



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA GENESIS,
CLASIFICACION, DIAGNOSTICO Y REHABILITACION
DE LOS SUELOS ENSALITRADOS**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

P R E S E N T A

CRISTINA MARTINEZ RUVALCABA

GUADALAJARA, JAL.

1990



BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

Sección

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Expediente

Número

Diciembre 7 de 1989

C. PROFESORES:

ING. ERNESTO ALONSO MIRAMONTES LAU, DIRECTOR
ING. JORGE PEDRO TOPETE ANGEL, ASESOR
ING. JUAN MANUEL SANCHEZ GOMEZ, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

" CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA GENESIS, CLASIFICACION, DIAGNOSTICO Y REHABILITACION DE LOS SUELOS ENSALITRADOS "

presentado por el (los) PASANTE (ES) CRISTINA MARTINEZ RUVALCABA

Han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"
EL SECRETARIO


ING. SALVADOR MENA MUNGUÍA

srd'

Al contestar este oficio cítese fecha y número



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección
Expediente
Número

Diciembre 7 de 1989

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)
CRISTINA MARTINEZ RUVALCABA

titulada:

" CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA GENESIS, CLASIFICACION, DIAGNOS
TICO Y REHABILITACION DE LOS SUELOS ENSALITRADOS ".

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

ING. ERNESTO ALONSO MIRAMONTES LAU

ASESOR

ASESOR

ING. JORGE PEDRO TOPE TE ANGEL

ING. JUAN MANUEL SANCHEZ GOMEZ

srd'

Al contestar este oficio, cítese fecha y número

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

A LOS INGENIEROS :

Ernesto A. Miramontes Lau
Jorge Pedro Topete Angel
Júan Manuel Sánchez Gómez

Por su valiosa colaboración en la dirección y revisión del presente trabajo.

Mi agradecimiento con infinito cariño y respeto a mis padres.

Sr. Bonifacio Martínez Martínez.
Sra. Evodia Ruvalcaba Roses

Quienes confiaron plenamente en mi formación, y que pueden estar satisfechos por el resultado obtenido.

A Mis Hermanos :

Quienes con su apoyo hicieron posible la terminación de mi carrera profesional.

Raul	José
Ramiro	Ma. del Refugio
Jorge	Olivia
Francisco	Leticia

A MIS FAMILIARES.

Que de una u otra forma me brindaron su apoyo moral.

C O N T E N I D O

I.-	INTRODUCCION	1
II.-	OBJETIVOS.....	5
III.-	ANTECEDENTES.....	4
IV.-	LA SALINIDAD EN LOS SUELOS.....	5
4.1.-	Definición de suelos ensalitrados.....	5
4.2.-	Origen de las sales, en suelos con problemas de salinidad.....	5
4.3.-	Formas de acumulación de las sales en el suelo.....	6
4.4.-	Tipos de sales.....	7
4.5.-	Distribución geografica de los suelos ensalitrados.....	12
V.-	PROCESOS DE FORMACION DE LOS SUELOS SALINOS Y SODICOS.....	17
5.1.-	Proceso solonchak.....	18
5.2.-	Proceso soloneta.....	21
5.3.-	Proceso solod.....	27
VI.-	CRITERIOS CLASIFICATORIOS DE SUELOS CON PROBLEMAS DE ENSALITRAMIENTO.....	32
6.1.-	Generalidades.....	32
6.2.-	Sistema genético.....	32
6.2.1.-	Tipo genético.....	32
6.2.2.-	Subtipo genético.....	32
6.2.3.-	Familia.....	33
6.2.4.-	Forma.....	33
6.3.-	Sistema ecológico.....	35
6.3.1.-	Clase (unidades mayores de clasificación).....	36
6.3.2.-	Subclase.....	37
6.3.3.-	Grupo.....	38
6.3.4.-	Subgrupo.....	38
6.3.4.-	Familia (unidades menores de clasificación).....	38
6.3.5.-	Serie.....	38
6.4.-	Sistema cuantitativo.....	40
6.4.1.-	Generalidades.....	40
VII.-	RECUPERACION DE SUELOS CON PROBLEMAS DE ENSALITRAMIENTO.....	45
7.1.-	Recuperación por metodos fisicos.....	45
7.1.1.-	Inversión del perfil.....	45
7.1.2.-	Acondicionamiento de la textura del suelo.....	45
7.1.3.-	Subsuelo.....	45
7.1.4.-	Labranza o barbecho profundo.....	45
7.1.5.-	Impermeabilizantes artificiales.....	46

7.2.- Recuperación por métodos químicos.....	47
7.2.1.- Tipos de mejoradores.....	47
7.2.2.- Elección del mejorador.....	51
7.2.3.- Eficiencia de los mejoradores.....	52
7.2.4.- Metodología para determinar la cantidad de mejorador por aplicar a un suelo con problemas de sodio.....	54
7.2.5.- Consideraciones sobre las dosis determinadas.....	54
7.2.6.- Metodología de aplicación de los mejoradores.....	56
7.2.7.- Efectos específicos de los mejoradores químicos.....	57
7.3.- Recuperación por métodos hidrotécnicos.....	57
7.3.1.- El lavado en la recuperación de suelos con problemas de sales.....	57
7.3.2.- Métodos de aplicación del agua de riego.....	57
7.3.3.- Selección del método.....	58
7.3.4.- Determinación de la lámina de sobre riego.....	58
7.3.5.- Factores que afectan la determinación de la lámina de lavado.....	65
7.3.6.- Como y cuando aplicar la lámina de lavado.....	65
7.3.7.- Eficiencia del lavado.....	67
7.3.8.- Efectos generales de las medidas hidrotécnicas sobre los suelos ensalitrados.....	67
7.4.- Recuperación por métodos biológicos.....	70
7.4.1.- Efectos de la vegetación sobre las propiedades del suelo.....	70
7.4.2.- Efecto de la adición de la materia orgánica al suelo sobre sus propiedades físicas y químicas.....	71
7.4.3.- Efectos de los cultivos y la materia orgánica sobre el régimen de humedad del suelo.....	72
VIII.- CONCLUSIONES.....	73
XI.- BIBLIOGRAFIA.....	75

INDICE DE CUADROS, TABLAS Y FIGURAS

CUADROS		PAGINA
1	Sales formadas por los iones más comunes existentes en el suelo.	12
2	División de los suelos según el tipo de salinización. (Egorov, V.V. 1981).	35
3	Definiciones resumidas de las categorías del Soil Taxonomy.	43
4	Esquema de clasificación de suelos ensalitrados. (Duchaufour 1984).	32
5	Esquema para clasificar suelos con problemas de sales en el Soil Taxonomy (USDA, 1974).	33
6	Efecto de la saturación con sodio y calcio sobre las propiedades físicas de la fracción coloidal del suelo.	45
7	Composición química media de la caliza agrícola.	
8	Solubilidad del carbonato de calcio a diferentes valores pH (De Sigmond).	50
9	Cantidad de mejorador requerido para suministrar una tonelada de calcio soluble.	51
10	Cantidades mejoradas requeridas por Ha/30 cm de profundidad para reducir el sodio intercambiable a 10% o menos en el complejo de intercambio del suelo.	53
11	Valores del coeficiente L.	55
12	Equivalencia del yeso, con respecto a otros mejoradores.	55
13	Efecto de la lámina de lavado sobre la disminución de las sales en el porcentaje.	57
14	Lámina de lavado (m ³) calculada en base al grado y tipo de salinidad y composición mecánica del suelo por lavarse.	62
15	Cantidad de agua requerida para abatir el contenido salino de la solución del suelo al 1 y 5%, en función de la calidad del agua.	66
16	Efecto del lavado sobre las propiedades de un suelo salino/sódico.	68
TABLAS		
1	Adsorción de sodio por un suelo chernozem.	23
2	Efecto de varias cantidades de agua en los suelos. (después de Gedroiz).	24
3	Bases intercambiables (m.e./100gr) en suelos salinos de Fresno California.	26
4	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ extraídos de varios suelos con una solución de KOH al 5%. (después de Prasalov y Antipov-Karataev).	31
FIGURAS		
1	Las categorías del sistema completo.	36
2	Estructura del sistema Soil Taxonomy (USDA 1975).	42
3	Esquema dimensional para clasificar suelos con problemas de sales (USDA 1960).	43
4	Relación entre los horizontes de diagnóstico y el esquema de clasificación.	43
5	Representación de dos clases de una población así como de sus suelos modales A y B (núcleos centrales 9.	44

I.- INTRODUCCION

Los suelos agrícolas en su origen, contienen sales; al igual que las aguas. Las sales son utilizadas por las plantas y animales como medio de alimento a un cuando su uso sea selectivo y/o preferente; sin embargo la presencia de dichas sales puede perjudicar a plantas y animales cuando su acumulación y/o la forma en que se encuentran excede ciertos límites tolerables.

Estos excesos se ven representados en daños que reportan una disminución en la producción de cosechas, así como en plantas y animales microscópicos, no compensando los gastos de producción.

En la República Mexicana, los problemas de ensalitramiento de los suelos, así como de las aguas, han adquirido una magnitud considerable, ya que através del tiempo áreas eminentemente agrícolas libres de sales han perdido su productividad debido a la acumulación de éstas por su mal manejo en la producción de cosechas.

Cuando se inició el riego de grandes extensiones, el ensalitramiento sus causas y efectos no eran comprendidos en su totalidad por lo que al problema se le dio poca importancia. Aún en la actualidad, cuando ya se tienen avances de las investigaciones agrícolas y respuestas a algunas incógnitas pasadas el problema sigue presente y creciendo en magnitud superficial, pues en la actualidad más de 8'000 000 de Has., comprendiendo tierras de temporal e irrigación tienen problemas de ensalitramiento en diversa magnitud.

Los motivos por los cuales se llevó acabo éste trabajo fue el interés propio por el problema de la salinidad de los suelos, así como también la falta de información y documentos existentes los cuales resolvieran dudas respecto al problema de una manera conjunta. Por lo anteriormente expuesto, el objetivo fundamental de éste trabajo es el siguiente: Destacar de manera relevante todos los criterios más actualizados sobre la Génesis, Clasificación, Diagnóstico y Rehabilitación de suelos ensalitrados en la República Mexicana. Para lo cual se crea un documento que oriente a estudiantes y especialistas en la materia como texto de consulta para conocer los procesos de ensalitramiento y/o sus tecnologías de rehabilitación.

La necesidad de aumentar la producción de alimentos, utilizando la forma adecuada, las inversiones requeridas para ello, hace indispensable un manejo adecuado del suelo y sus recursos disponibles para su rehabilitación o conservación. Para esto se señalan algunas de las metodologías existentes que son las siguientes :

Los métodos físicos; su recuperación y manejo involucra un conjunto de medidas mecánicas bien diferenciadas y aplicadas al problema particular del suelo.

Los métodos químicos; se basan en la adición de sustancias y/o compuestos químicos al suelo llamados correctores o mejoradores, su propósito es proveer de calcio soluble a suelos con problemas de sodio y neutralizar su pH.

La metodología de aplicación esta íntimamente ligada a la naturaleza de cada mejorador, ya que incluye además de su aplicación física, colocación, profundidad y fraccionamiento de la dosis aplicada.

Los métodos hidrotécnicos; comprenden el lavado y el drenaje. El lavado es la eliminación de sales en la zona radicular por medio de agua aplicada al suelo, en cantidad suficiente para ello. El drenaje artificial controla la profundidad del nivel freático.

Las metodologías para determinar una lámina de sobre riego son :
-Métodos de laboratorio, entre estas se encuentran las curvas de lavado de Van der Molen.

Cuando se aplica una determinada lámina de lavado, usa una simulación de condiciones de suelo-agua aplicandose a perfiles afectados por sales.

-Ecuaciones empíricas, son ecuaciones para condiciones tanto de drenaje abierto como subterráneo.

Los métodos biológicos basados en la adición de materia orgánica al suelo y/o el establecimiento de plantas, para aprovechar los beneficios de ambos en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La importancia de este trabajo radica en la exposición de la bibliografía más actualizada, así como un conjunto de conceptos y definiciones presentados de una manera clara y firme así como una satisfacción personal de documentación para quienes les interese el tema.

Este documento queda abierto a la crítica constructiva de quienes lo consulten, para mejorar o actualizar su información.

II.- OBJETIVOS

Destacar de manera relevante los criterios más actualizados sobre la génesis, clasificación, diagnóstico y rehabilitación de suelos ensalitrados de la República Mexicana.

Creando un documento que oriente a estudiantes y especialistas en la materia; como texto de consulta para conocer los procesos de ensalitramiento y/o sus tecnologías de rehabilitación.

III.- ANTECEDENTES

Con el transcurso del tiempo, áreas completamente agrícolas de todos los continentes, han perdido su productividad, debido a la acumulación de sales en el suelo, provocada por el mal uso y manejo de aguas, suelos y plantas en ellos.

La necesidad de aumentar la producción de alimentos en los distritos de riego, con los recursos disponibles, hace indispensable la rehabilitación o recuperación de áreas cuyo problema reside en el ensalitramiento de sus suelos.

Esta rehabilitación o recuperación requiere del conocimiento de una serie compleja de metodologías, técnicas y científicas de varios países. El problema de la salinidad de los suelos bajo riego y las medidas para combatirla han preocupado a numerosos investigadores de suelos, expertos en irrigación así como agrónomos en general, el interés se ha enfocado a los siguientes puntos:

- a).- Por la extensión de los procesos de ensalitramiento en los suelos bajo riego y las fuertes pérdidas infligidas por los mismos a la economía nacional.
- b).- Por las dificultades que se han experimentado en la lucha contra el problema.

Es claramente evidente que un sistema de medidas correctivas para combatir la salinidad, no puede ser el mismo para todos los casos de salinización. Estas dependerán no solamente de las condiciones naturales y peculiares del territorio irrigado, sino también de la fase de desarrollo del problema. Una lucha satisfactoria contra la salinidad, solo se lleva a cabo mediante una combinación de medidas agrotécnicas de control de agua, e hidrotécnicas mediante el drenaje artificial.

Los elementos suelo agua y sal tienen una finalidad especial y no puede ser sustituida por otra. Considerados en conjunto estos elementos conducen hacia el mismo objetivo, la creación de condiciones determinantes para una fertilidad adecuada y estable en las tierras de riego con el menor gasto posible de tiempo, trabajo así como también de recursos materiales.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

IV.- LA SALINIDAD EN LOS SUELOS

4.1.- Definición de suelos ensalitrados: El término suelos ensalitrados se emplea genericamente para designar a todo aquel cuerpo de suelo que manifiesta características y propiedades físico-químicas específicas debido a la presencia de sales solubles (en la solución del suelo) y/o por la predominancia del ión sodio en el complejo de intercambio, que rebasa los parámetros especificados en el PSI y CE.

4.2.- Origen de las sales en suelos con problemas de ensalitramiento.

Los minerales primarios de la corteza terrestre son la fuente principal de las sales en los suelos, las cuales están formadas fundamentalmente por elementos que son comunes en los silicatos del suelo. En orden de importancia le siguen los océanos, donde se generan las llamadas sales ciclicas.

Para entender el porque de la composición química de los suelos y las sales que estos contienen, es importante conocer como es la mineralogía de los diferentes tipos de rocas. Las rocas ígneas pueden variar en composición, de feldespáticas a máficas y son el resultado del enfriamiento del magma.

La ocurrencia de estas se relaciona a la localización durante su formación y enfriamiento; cuando el enfriamiento ocurrió lentamente, dio como resultado rocas plutónicas de grano grueso, cuando el enfriamiento fue rápido a partir de emisiones volcánicas se formaron rocas extrusivas de grano fino.

Los basaltos, lavas y cenizas volcánicas, con la acción de las aguas naturales y del ácido carbónico, se destruyen con la disposición de grandes cantidades de SiO_2 , Al_2O_3 , HCO_3 y CO_3 libres.

En suelos alcalinos los CO_3 y HCO_3 de metales alcalinos, pueden existir en forma pura o mezclada con cloruros y sulfatos.

Las rocas volcánicas varían en su textura de masivas a cenizas; dependiendo del grado de fracturación que ocurrió por expansión gaseosa o por enfriamiento en agua; por lo que presentan diferente grado de intemperismo durante los procesos de formación de los suelos, en la formación de minerales secundarios y en la composición iónica de las soluciones acuosas en contacto con ellos, éstas pueden tener hasta 50 ppm de sales por efecto de intemperismo, la actividad de los volcanes puede liberar cantidades considerables de Cl , SO_4 , H_2S y E .

Las rocas sedimentarias de origen marino más comunes son pizarras, areniscas y calizas, los granos derivados de ellas tienen una superficie específica de media a baja, además están menos consolidadas que las rocas ígneas por lo que pueden liberar por efecto de intemperismo de 50 a 200 ppm de sales (la velocidad de liberación de los iones para formar sales aumenta conforme los minerales del suelo son más fuertemente intemperizados).

Las sales cíclicas del tipo Cl y SO_4 , provenientes del océano, son transportadas por el viento conjuntamente con partículas de polvo y cristales de hielo, como un aerosol que sirve como núcleo de condensación para la formación de gotas de lluvia; conjuntamente con los cambios en salinidad total de la atmósfera, en tiempo y espacio, ocurriendo cambios en la composición.

En la naturaleza se observan fenómenos semejantes: las aguas de manantiales, aguas frías y lagos, que son alimentados con flujos de regiones en donde se han desarrollado depósitos volcánicos nuevos; con cantidades elevadas de carbonatos y bicarbonatos de los metales alcalinos y sílice soluble. Los suelos que manifiestan reacción alcalina, son suelos que en la fracción mineral contienen sodio en menor o mayor grado.

Los elementos fundamentales cuyos compuestos condicionan la aparición de sales tales como CO_3 , SO_4 , HCO_3 y Cl en los suelos son:

Ca, Mg, Na, K, Cl, S, C, N, B, I, y además microcantidades de Cu, Zn y Br.

4.3.- Formas de acumulación de las sales en el suelo.

Los procesos de acumulación de sales en el suelo dependen en mayor o menor grado de la evaporación, tomando en consideración el balance hídrico PP-ETP; dichos procesos evolucionan en tiempo y espacio, de tal forma que alcanzan un estado de desarrollo determinado el cual da paso a otra fase evolutiva dentro del proceso general de formación del suelo, logrando así un equilibrio con su medio.

La evaporación de aguas geológicas saladas, agua de mar, afloramiento de mantos subterráneos y uso de aguas de riego con concentraciones de sales de 3 a 5 gr/l (3000 a 5000 ppm), ligada geomorfológicamente con las áreas bajas, a las partes de planicies que se inundan, a los deltas, terrazas bajas de los ríos así como a lo largo de las costas.

De acuerdo a la geografía y a la geoquímica, los procesos de formación de suelos salinos pueden agruparse en los siguientes ciclos de acumulación de sales.

Ciclos continentales.

Estos manifiestan intemperismo y formación de suelos en territorios que se han formado en rocas volcánicas o que esta relacionada con la redistribución de sales que se han acumulado en los espesores de las rocas sedimentarias que contienen sales solubles.

Ciclos marinos.

Están relacionados con la acumulación de sales, fundamentalmente de cloruros de sodio, en las partes bajas del continente que limitan con el mar y en las orillas de pequeños golfos.

Conforme las masas de aire marítimo se mueven continente adentro la disminución de la concentración de sales es exponencial.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

Ciclos de delta.

Que existen en gran cantidad y que son de importancia para el hombre, ya que desde tiempos muy antiguos los deltas de los ríos se utilizan en el riego. Estos ciclos se caracterizan por una combinación de procesos que involucran movimiento, redistribución y acumulación de sales que son traídas desde el continente con los ríos y con el flujo de aguas freáticas o por el mar en diferentes ocasiones. También puede ser por depósitos antiguos de origen marino con aguas o sales remanentes insitu, de tiempos geológicos anteriores cuando los sedimentos se encontraban bajo el mar y emergieron debido a movimientos telúricos, cuyas sales son liberadas por el agua superficial o subterránea en forma natural.

Ciclos artesianos.

Se deben a la evaporación de aguas subterráneas que surgen a la superficie a través de fracturas tectónicas y estructuras geológicas destruidas.

Ciclos antropogénicos.

Se presentan como resultado de los errores del hombre en su actividad productiva por desconocimiento de las leyes de acumulación de sales. Uno de estos errores puede ser la perforación de pozos en zonas áridas los que extraen aguas saladas o salobres para usarse en la irrigación y la alimentación de acuíferos salados por el mal uso del agua de riego, haciendo que las aguas saladas participen en los procesos de evapotranspiración, acumulando las sales en la parte superior del suelo.

4.4. Tipos de Sales.

Con el objeto de conocer la dinámica causal de los procesos fundamentales de la pedogénesis, involucrados en la evolución de estos suelos, como un medio para la creación de técnicas de control y rehabilitación, se describen a continuación las sales solubles más importantes en los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos; según lo señala Ortega, E M. (1983), son las siguientes :

Sales del ácido carbónico (CARBONATOS).

Se encuentran ampliamente distribuidas en los suelos y aguas freáticas de los desiertos, semidesiertos y estepas, inclusive en las estepas boscosas; ocurriendo separadamente o asociados con sales solubles. Las propiedades más importantes de los carbonatos son :

- 1.- Se disuelven con relativa facilidad en agua que tiene en solución dióxido de carbono.
- 2.- Cuando están presentes en cantidades tan pequeñas como de 1% pueden dominar el curso de desarrollo del suelo, debido a que son capaces de elevar el pH por encima de la neutralidad y sostener un alto nivel de actividad biológica.
- 3.- Los carbonatos de calcio son las primeras sustancias que se empiezan a acumular a medida que el clima se vuelve árido.
- 4.- Tanto el calcio como el magnesio son nutrientes esenciales para las plantas.
- 5.- A muchos suelos arables, se les añade con regularidad carbonatos, para elevar el pH a valores adecuados para un desarrollo óptimo de las plantas.

En resumen se puede decir, que el efecto de éstas sales, en grado considerable depende de su composición, cantidad de sales que se acumulan en los suelos, grado de solubilidad y toxicidad para las plantas, así como también de su efecto en el régimen hídrico de las plantas.

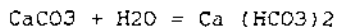
Su presencia en suelos salinos es casi nula por lo que el pH toma valores menores al 8.5. Los carbonatos de metales alcalinotérreos que se encuentran en cantidades notables en el suelo, constan de calcita, dolomita y posiblemente magnesita.

Estos carbonatos tienen influencia en la textura del suelo cuando están presentes en cantidades considerables, ya que sus partículas tienen tamaños semejantes a los del limo. Se ha llegado a pensar que la presencia de partículas muy finas de carbonatos de metales alcalinotérreos, mejora la condición física de los suelos, pero también estas se presentan en forma de caliche como agentes cementantes en capas endurecidas que pueden impedir el movimiento del agua y el desarrollo de los sistemas radiculares; estos carbonatos son constituyentes importantes de los suelos sódicos, porque representan una fuente potencial de calcio y magnesio solubles que remplazan al sodio intercambiable.

En aguas ricas en iones bicarbonato existe la tendencia del calcio y el magnesio a precipitarse en forma de carbonatos a medida que la solución del suelo se vuelve más concentrada.

Carbonato de calcio (CaCO_3).

Es una sal poco soluble (0.0131 gr/l), pero que en presencia de ácido carbónico aumenta considerablemente su solubilidad, gracias a la formación de bicarbonato de calcio en la siguiente reacción:



Debido a su baja solubilidad es prácticamente no tóxico para la mayoría de las plantas, cuando las aguas freáticas calcáreas se mueven o se aproximan a la superficie o se exponen a la evaporación y transpiración, grandes cantidades de carbonato de calcio pasan a los horizontes del suelo, llegando a veces a constituir hasta el 80% del total del horizonte.

Carbonato de magnesio (MgCO_3).

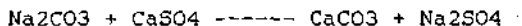
Tiene mayor solubilidad que el anterior (0.100 gr/l), en presencia de ácido carbónico, gracias a la formación de bicarbonatos; sin embargo, rara vez existe acumulación de éste debido a la adsorción de magnesio por las arcillas. Su solubilidad llega a ser hasta de (10 meq/l), siendo en carbonato de magnesio una sal de base fuerte y ácido débil, le da valores a la solución del suelo de pH 9-10 en el proceso de hidrólisis.

Carbonato de sodio (Na_2CO_3).

Estas sales se encuentran ampliamente en la naturaleza, con frecuencia en suelos y aguas freáticas en distintas modificaciones; en los suelos el carbonato de sodio se cristaliza con diferentes cantidades de agua.

La soda es un compuesto de elevada solubilidad (178 gr/l a 20°C), su hidrolización provoca una alta alcalinidad del medio, con pH de 10 a 12 , por lo tanto es altamente tóxica para las plantas, en los suelos en cantidades de 0.05-0.1 %, ocasiona la disgregación de la arcilla con pérdida de estructura del suelo, disminución de la permeabilidad, etc.

No son frecuentes los grandes depósitos, porque en los suelos desérticos abunda el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) con el que reacciona:



Siendo el sulfato de sodio el de mayor fitotoxicidad.

El bicarbonato de sodio es menos alcalino por, lo tanto es menos tóxico, debido a que el ácido carbónico neutraliza en parte su efecto, los carbonatos y bicarbonatos no son lavados fácilmente por la estación de lluvias; su contenido en los suelos puede llegar hasta el 5%, durante la evaporación de las aguas freáticas que contienen carbonatos y bicarbonatos de sodio de la solución del suelo, se precipitan y se acumulan en el suelo cristales de una sal doble.

Carbonato de potasio (K_2CO_3).

Aún cuando son raras las altas concentraciones de potasio en los suelos, se ha informado de efectos tóxicos por esta causa. Hay evidencias que indican que la toxicidad causada por exceso de potasio, puede reducirse como en el caso del magnesio si se equilibra; altas concentraciones de potasio pueden también inducir deficiencias de magnesio, la solubilidad de esta sal llega a ser de (526.00 gr/l a 20°C).

Sales del ácido sulfúrico (SULFATOS).

Estas sales se encuentran en grandes o pequeñas cantidades en casi todos los suelos y aguas freáticas de las estepas y desiertos, el valor agronómico y de mejoramiento de los sulfatos cambia notoriamente en función del catión acompañante.

Para un cierto número de cultivos, se ha notado una sensibilidad específica de las plantas a concentraciones altas de sulfatos y al parecer tal sensibilidad se encuentra relacionada con la tendencia de las altas concentraciones de sulfatos a limitar la absorción de calcio por lo que se incrementa la absorción de sodio y potasio; lo anterior provoca una alteración del balance catiónico óptimo dentro de la planta.

Sulfato de calcio (CaSO_4).

Es una sal desde el punto vista fisiológico no es nocivo para las plantas por su baja solubilidad (1.9-2.04 gr/l).

En ciertos suelos el yeso proviene de ciertos depósitos sedimentarios de los cuales se originado el suelo; mientras que en otros suelos se forma a base de la precipitación del calcio y sulfato durante el proceso de la salinización.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

A consecuencia del lavado el yeso se encuentra a cierta profundidad en el primer caso, en tanto que el segundo es casi siempre más abundante en las capas superficiales del suelo. El contenido de yeso en los suelos sódicos es de importancia porque determina la necesidad de aplicar mejoradores químicos a dichos suelos para su recuperación. De igual manera cuando el yeso es muy abundante en el suelo, se puede usar aguas salobres para el riego, al lado del sodio en disolución, el ión calcio sustituirá al sodio del complejo por intercambio.

Sulfato de magnesio ($MgSO_4$).

El sulfato de magnesio es un componente típico de los suelos salinos, existiendo también en aguas freáticas y lagos salinizados. Debido a su alta solubilidad (252 gr/l), es una de las sales más perjudiciales para las plantas, nunca se acumula en forma pura en los suelos sino en combinación con otras sales muy solubles.

Sulfato de sodio (Na_2SO_4).

Al igual que el anterior se encuentra en suelos salinos, aguas freáticas salinas y lagos, su toxicidad es menor, su solubilidad varía mucho con la temperatura, en estación cálida debido a la evaporación del suelo sube por capilaridad a la superficie junto con las demás sales solubles. Cuando baja la temperatura disminuye su solubilidad y precipita en forma de mirabilita ($Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$), que no es lavada por las lluvias a diferencia de otras, por lo tanto la capa superficial de 5 a 10 cm, tiene una estructura muy suelta, hofa con granos simples estando las partículas del suelo floculadas en granos de μ tamaños de las arenas.

Sulfato de potasio $K_2(SO_4)$.

No se acumula en los suelos en grandes cantidades, su solubilidad llega a (100.00 gr/l).

Sales del ácido clorhídrico (CLORUROS).

Los cloruros conjuntamente con los sulfatos son los compuestos más importantes que originan la formación de suelos salinos, todos los cloruros se caracterizan por su alta solubilidad y debido a esto son fuertemente tóxicos para las plantas.

Cloruro de calcio ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$).

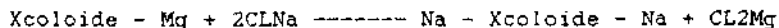
Esta sal existe muy raras veces en el suelo, es una sal altamente soluble y pura (su pureza excede del 95%, su solubilidad esta en función de la temperatura (427 gr/l a 20 °C). Al reaccionar con el carbonato y el sulfato de sodio, facilmente pasa a ser sulfato de calcio y carbonato de calcio, precipitandose de la solución.

La aparición del cloruro de calcio es característico de suelos de grado máximo de salinización del orden de 400 a 500 gr/l.

Es conocida también como una sal efímera en los horizontes superiores del suelo, como resultado de las reacciones de intercambio de las soluciones ascendentes del cloruro de sodio con el calcio intercambiable.

Cloruro de magnesio (MgCL₂).

Se encuentra con mayor frecuencia en suelos salinos, aguas freáticas salinas y lagos salinos, en comparación con el cloruro de calcio. Su acumulación ocurre solamente en grados máximos de salinización debido a su alta solubilidad (353 gr/l), presenta alta toxicidad por lo que es una de las sales más nocivas para las plantas. En ocasiones se forma como parte de la reacción entre soluciones que contienen cloruro de sodio con el complejo de cambio conteniendo magnesio.



Esta sal es muy higroscópica al igual que el cloruro de calcio, al absorber el vapor de agua de la atmósfera se disuelven los cristales de estas sales, formando una solución salina muy concentrada.

Los suelos con este tipo de sales se les denomina solonchak húmedos, conservan superficialmente la humedad mucho más tiempo después de la lluvia, presentando un color más oscuro que el de los suelos vecinos, sin embargo; son suelos sin alcalinidad, con buena estructura debido a la pequeña proporción de sodio respecto al calcio y magnesio.

Cloruro de sodio (NaCl).

Esta es una de las sales de mayor presencia y componente constante de los suelos salinos. Su toxicidad para las plantas es alta, así como su solubilidad que es (264-318 gr/l), y que no varía con la temperatura. Para contenidos de cloruros de sodio alrededor de 0.1% las plantas se desarrollan anormalmente, de 2 a 5 % los suelos se vuelven inproductivos; el lavado de cloruro de sodio es relativamente fácil en suelos con yeso, que es el caso común, en ausencia de yeso es más difícil, pues el sodio puede tomar forma intercambiable.

Cloruro de potasio (KCL).

De acuerdo a sus propiedades químicas es análogo al cloruro de sodio, su frecuencia esta relacionada en la forma en que se encuentre el potasio en el suelo ya sea en forma soluble o intercambiable. Su frecuencia no es muy grande en ellos, esto se explica por el consumo de potasio por las plantas y organismos, así como la absorción de éste por las arcillas.

Para contenidos altos de cloruro de potasio en los suelos, su toxicidad es tan alta como la del cloruro de sodio.

A continuación se señalan las diferentes clases de sales de una manera concentrada en el siguiente cuadro.

CUADRO No 1

SALES FORMADAS POR LOS IONES MAS COMUNES EXISTENTES EN EL SUELO

Aniones Cationes	CO3	HCO3	SO4	CL	NO3
Ca	CaCO3	Ca(HCO3)	CaSO4	CaCL2	Ca(NO3)2
Mg	MgCO3	Mg(HCO3)	MgSO4	MgCL2	Mg(NO3)2
K	K(CO3)2	KHCO3	K2SO4	KCL	KNO3
Na	Na(CO3)2	NaHCO3	Na2SO4	NaCL	NaNO3

Los productos de solubilidad de las sales están calculadas en base a el agua libre de CO2, pero en el suelo las concentraciones de CO2 son 20 o 30 veces superiores a las de la atmósfera, lo que obliga a calcular nuevos productos de solubilidad en base a condiciones reales del suelo.

4.5.- Distribución Geográfica de los Suelos Ensalitrados.
 Cuando el ión sodio se encuentra en forma abundante en el suelo, le confiere a éste características especiales, las cuales han obligado a los científicos del mundo a definirlos como una clase especial de suelos. Los suelos con problemas de sales y/o sodio se encuentran mezclados e intercalados a lo largo de extensas fajas, o más frecuentemente en manchones intrusivos por ciertas características topográficas.

Las mayores áreas de suelos afectados por salinidad, se localizan en el país, al norte del trópico de cancer, debido a la escasa precipitación que les es insuficiente para arrastrar las sales fuera del perfil.

En las zonas de mayor precipitación se presentan en áreas con drenaje restringido, o en los pisos de antiguas lagunas, actualmente secas, que por la constante evaporación del agua, fueron capaces de concentrar cantidades elevadas de sales.

Existen núcleos importantes de estos suelos a lo largo de las zonas costeras afectadas por el agua de mar.

Muchos investigadores han señalado que el ión sodio puede existir en dos formas fundamentales, cuyas propiedades difieren grandemente una de la otra, pero que en sí mismas se encuentran ligadas estrechamente; las formas a las que nos referimos son las siguientes:

a).- En forma de sal neutra, generalmente cloruro de sodio o sulfato de sodio y

b).- En forma intercambiable, ligado al complejo de cambio o absorbente.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

Quando se tiene un medio ambiente caracterizado por un clima tropical, el ion sodio, en cualesquiera de sus formas, es expulsado del perfil del suelo por translocación o lixiviación con el agua de drenaje, por lo tanto el ion sodio solamente puede quedarse en el perfil del suelo en medios ambientes en donde predominan los factores salinizantes (evaporación y transpiración) frente a los de lavado, las aguas freáticas iran paulatinamente salinizandose. Por esta razon la mayor parte de las áreas salinas están situadas en regiones de climas áridos y semiáridos.

En consecuencia los suelos salinos, salino-sódicos y sódicos, los encontramos distribuidos en ciertos tipos de paisajes cuyo rasgo principal es la presencia de condiciones climáticas diferentes a las señaladas; por lo que hace necesario dar a conocer la definición de paisaje.

Paisaje : se define como la asociación de objetivos y fenómenos naturales e intercondicionados, que se presentan frente a nosotros bajo la forma de complejos geográficos de diferente rango taxonómico, formados históricamente y que se desarrolla permanentemente; en donde las propiedades hacen resaltar su importancia y son :Integridad, Homogeneidad, Heterogeneidad, Continuidad y Discreción, Funcionamiento, Estructura, Desarrollo y Evolución del complejo geográfico.

De tal forma que a la luz de las teorías funcionales, la génesis de los suelos salinos, sódicos, salino-sódicos, esta ligada geográfica y geoquímicamente a condiciones particulares, las cuales se enumeran a continuación:

1.- Una condición de naturaleza climática.

La génesis de estos suelos esta relacionada a regiones caracterizadas por un clima árido y semiárido.

Esto significa que en la evolución del suelo influye el clima y la vegetación como principales factores activos de formación; ya que en la diferenciación de la envoltura geográfica, la tienen las propiedades químicas y físicas de las rocas madres. A los diversos tipos de rocas, se asocian diferentes tipos de relieve, de suelo y de vegetación.

El cual constituye dentro del sistema genético de clasificación de suelos al tipo zonal, que se caracteriza por su procedencia de formaciones geológicas aunque muy diferentes, pero que han estado sometidos a climas semejantes.

Sobre estas formaciones han actuado condiciones climáticas muy semejantes como temperatura, precipitación etc., ya que aparecen perfiles bastante homogéneos y en las formaciones recientes, suelen apreciarse las características de la roca original. Estos suelos ya evolucionados, presentan perfiles genéticos desarrollados, en los cuales se nota la influencia del clima y de la vegetación.

2.- Una condición estacional.

Se refiere a que en la formación de estos suelos, se hace necesaria la presencia de una fuente de sales y de un agente de transporte, así como de un medio ambiente que impida la evacuación de éstas. La formación de estos suelos bajo tal condición, se encuentra ligada a un factor particular, por ejemplo: el relieve el cual establece una relación climatogénicamente restringida según las bases de la pedología genética.

Esta condición de formación de suelos como anormal, fué corregida posteriormente por Sibirtsev, N (1900) definiendola como suelos de tipo intrazonal.

Los fenómenos intrazonales son aquellos rasgos zonales, que se repiten dentro de una zona (por ejemplo los complejos naturales de pantanos, saladares etc.) desarrollandose en el fondo de los fenómenos zonales, como resultado de la influencia de las condiciones locales particulares (relieve, humedecimiento, composición y propiedades de las rocas madres etc.).

Por consiguiente la intrazonalidad esta relacionada con la diferenciación interzonal como resultado de la manifestación local de los factores azonales.

La intrazonalidad es condicionada por la existencia de una multitud de agrupamientos de suelo y vegetación determinados por las formas del mesorelieve y otras condiciones geomorfológicas, siendo repetibles en las diversas fajas y zonas.

3.- Una condición extrazonal y extraintrazonal.

Se trata de una naturaleza en la cual no intervienen ninguno de los factores formadores del suelo, de ahí la condición señalada.

Estamos hablando de suelos ensalitrados de regiones caracterizadas por climas húmedos, pero situados en paisajes costeros, en donde la fuente de sodio es una capa de agua salada poco profunda de origen marino.

También dentro de esta condición, se agrupan aquellos suelos caracterizados por procesos zonales o intrazonales de formación, los cuales genéticamente evolucionaron en otra dirección, fuera de las clases salinas, sódicas y salino-sódicas; pero que por estar sujetos a un régimen de uso muy intensivo bajo condiciones de irrigación se ha salinizado.

En donde también se hace alusión a un proceso de salinización, denominandose a estos suelos de tipo zonal; ya que son aquellos que carecen de diferenciación de horizontes, los niveles del perfil resultante del desarrollo del suelo no son los aparentes. Muchos suelos desarrollados en depósitos recientes, aluviales, aluviales y coluviales pertenecen a este grupo.

Sus características se determinan no por el clima, o en cualquier suelo particular por sus procesos formativos, si no más bien por la naturaleza de su material de origen. La causa principal de esta salinización esta relacionada fuertemente a condiciones naturales desfavorables, las cuales permiten que otros factores ejerzan su influencia negativa con especial intensidad; estos factores pueden sumarse en :

Las diferencias geomorfológicas, las diferencias en la correlación entre la superficie topográfica y el nivel de las aguas subterráneas, las diferencias en el carácter del drenaje de la superficie, particularmente en condiciones de relieve llano y de humedecimiento atmosférico excesivo, así como niveles altos de evapotranspiración potencial.

A este proceso de formación de suelos lo agrupamos dentro de la causalidad inducida; ésta por si misma, no puede entrar en contradicción funcional con la naturaleza en su conjunto, debido a que sus características no se refieren a los procesos que intervienen en la formación de suelos zonales y los intrazonales, y por el contrario el material madre es el factor más importante en la determinación de su morfología.

Estos suelos son muy resistentes; esto se debe a condiciones del material madre o a pendientes acentuadas del terreno que impiden la formación normal del suelo, encontrándose en cualquier región climática. Desde el punto de vista sobre la distribución de estas clases de suelos sobre la superficie terrestre se tiene que :

Las zonas geográficas se definen como grandes partes de las fajas geográficas que se caracterizan por el predominio de un determinado tipo de paisaje zonal. Estas no solo se distinguen por condiciones de radiación, sino en particular de humedecimiento y la correlación de calor y humedad. En líneas generales puede observarse que la distribución real de los tipos de paisajes zonales son el resultado de la influencia sumaria de las principales regularidades de la diferenciación físico-geográfica :

ZONALIDAD INTRAZONALIDAD AZONALIDAD

La zonabilidad climática encuentra su reflejo en todos los restantes fenómenos geográficos, en los procesos de escurrimiento y el régimen hidrológico en el empantanamiento y la formación de las cortezas de intemperismo de suelos y en el mundo orgánico e inclusive en el océano.

El relieve y las rocas madres también se subordinan a la zonabilidad; hay ocasiones en que estas se han formado en otras condiciones zonales, siguiendo por lo tanto relictos en la zona dada, de ello se desprende que el estudio de la zonabilidad exige la utilización del enfoque histórico-paleogeográfico.

La zonalidad geográfica debe concebirse como un cambio regular de complejos naturales zonales (fajas y zonas) complicados, que se distinguen con claridad.

La manifestación más completa del tipo zonal del paisaje se encuentra en condiciones de clima, relieve y manto freático subyacente medio.

Sí el clima, el relieve y manto freático se desvían significativamente de las condiciones medias, se forman entonces paisajes que en uno u otro grado se diferencian del tipo zonal.

La zonalidad y azonalidad son regularidades físico-geográficas universales, ambas se subordinan a todos los componentes y complejos naturales. Estas regularidades tienen causas y esencias diferentes y no dependen una de la otra, aunque se manifiestan en forma conjunta. En la naturaleza en cualquier parte de la superficie terrestre las peculiaridades zonales y azonales se asocian de manera dialéctica.

De tal manera que los conceptos de azonalidad e intrazonalidad no tienen límites rígidos. Todos o casi todos los llamados fenómenos azonales llevan la huella de la zonalidad, experimentan su influencia y son por consiguiente intrazonales. Al mismo tiempo ellos no pueden liberarse de la influencia de la zonalidad y de la diferenciación meridional.

Los paisajes de los planos de inundación se han considerado como azonales, en fin de cuenta ello se subordina a la zonalidad, lo mismo sucede con los complejos naturales de los pantanos y de los territorios carsificados.

Al estudiar la distribución de cualquier fenómeno físico-geográfico, hay que utilizar el análisis conjunto de los factores azonales.

Su correlación es complicada; a veces ambas se unen y se refuerzan y en otras ocasiones tienen un carácter contradictorio.

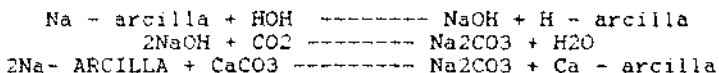
BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

V.- PROCESOS DE FORMACION DE LOS SUELOS SALINO/SODICOS.

En la evolución de los suelos salinos, se han reconocido tres estados y cada uno representa un proceso formador bien definido que se traduce en un tipo de suelo. Estos estados son los que dan lugar a la formación de los suelos salinos (SOLONCHAK O SALITROSOS), alcalinos (SOLONETZ O TEQUESQUITOSOS), y alcalinos degradados (SOLOD), el proceso general de estos fenómenos es el siguiente :

1.- La hidrólisis de las rocas calci-sódicas produce como elementos solubles entre otros, cloruro y sulfato de sodio, que el agua que los transporta en solución, deposita en el suelo al evaporarse. Durante la temporada de lluvias, el agua se infiltra a través del perfil; pero en las zonas con mal drenaje, en donde el manto freático se mantiene cerca de la superficie, en el período de secas, se establece un movimiento ascendente, por la tensión superficial de esta agua cargada de sales, hacia las partes más secas, que son los horizontes superiores del perfil y al evaporarse, van dejando el suelo cada vez más cargado de sales, cuyos cationes saturan la arcilla formandose el complejo coloidal sodio-suelo. La presencia de un exceso de estas sales (cloruros y sulfatos de sodio) principalmente en el perfil y la saturación ya mencionada del complejo coloidal, por sus cationes, forman los suelos SALINOS o SALITROSOS, y el fenómeno que los origina se denomina salinización.

2.- Mientras el suelo mantiene un exceso de salitre, conserva las características de estos suelos; pero tan pronto como esta cantidad desciende lo suficiente, tiene lugar la hidrólisis de las arcillas sódicas con la formación directa de hidróxido de sodio y en algunos casos de carbonato de sodio, bajo la acción de bióxido de carbono y del carbonato de calcio, conforme a las reacciones siguientes :



Este fenómeno se conoce por solonización, y da lugar a la formación de los suelos SOLONETZ (alcalinos).

3.- En ausencia del CaCO_3 , la degradación de la arcilla-hidrógeno formada según las reacciones antes indicadas, da lugar a la formación de ácido silícico y sesqueóxidos. Los sesqueóxidos son arrastrados fuera del perfil y, por consecuencia, se forma un horizonte de infiltración lixiviado, relativamente rico en sílice; este proceso en sus resultados, es similar a la podzolización, pero es de mayores efectos destructivos

El horizonte A de los suelos afectados por el proceso pueden contener hasta el 12 % de sílice de origen secundario. La formación de estos suelos degradados a partir de los solonetz recibe el nombre de solotización.

El origen de los suelos salinos ha sido explicado sobre las bases de clima, formas topográficas y condiciones de drenaje de una capa impermeable del subsuelo.

En 1912, Gedroiz presentó sus investigaciones clásicas sobre las propiedades coloidales de los suelos, en relación a cationes intercambiables y la implicación de estas reacciones en los procesos de formación de los suelos, con especial énfasis sobre la génesis de los suelos salinos.

La teoría del intercambio de bases es la piedra angular de las investigaciones sobre el origen de los suelos de álcali.

Gerasimov e Ivanova piensan que bajo condiciones áridas, las depresiones y valles reciben agua superficial salinizada, principalmente carbonatos y sulfatos de Ca y Mg que se originan en el proceso de intemperismo. Las depresiones reciben aguas de manantiales y subterráneos que llegan a estar salinizados primeramente con sales de cloruros y sulfato.

Las fuentes de origen de las sales, aparte de un origen directo del océano, han sido relacionados a rocas sedimentarias, depósitos marinos antiguos, a las sales consecuentes del intemperismo.

Estas sales se concentran en los horizontes superficiales del suelo, para ser removidas más tarde por corrientes de agua o por el viento hacia las depresiones, junto con los residuos de las plantas, ahí se acumulan las sales para formar suelos solonchaks.

5.1.7 Proceso Solonchak.

Solonchak de la palabra rusa sol= sal, connotativa de suelos que tienen un elevado contenido de sales.

Sí la salinización esta asociada con suelos que no hayan constituido uno cualquiera de los tipos zonales de las series de eluviación, el suelo se conoce como "solonchak primario".

Sus formas se caracterizan porque no presentan diferenciación de horizontes, bajo contenido de materia orgánica en su constitución del perfil, carece de una buena definición estructural, éste tipo de solonchak prevalece en el semidesierto.

En esta faja climática, las sales de los solochaks estan raramente sujetas a percolación debido a la escasez de la precipitación; a este tipo se le da el nombre algunas veces de "solonchak seco".

El contenido de sal es más alto en la superficie disminuyendo con la profundidad, y consiste fundamentalmente de cloruros de sodio y calcio.

Sí el proceso de salinización no ocasiona el ascenso de las sales hasta la superficie del suelo, pero permanecen en algún punto del perfil del suelo, (donde la tensión capilar a dejado de actuar), el suelo se le conoce como "solonchak interno o escondido".

Durante el periodo de sequía las sales afloran y se precipitan en la superficie en manchones blancos, por lo que se les da el nombre de álcali blanco, que en cierta forma es impropio, ya que estas sales son neutras y el suelo presenta en general reacción neutra o solo ligeramente alcalina.

Los coloides de estos suelos permanecen floculados, ya que estas sales no tienen acción dispersante, y que mantiene un equilibrio dinámico entre el sodio de la solución salina del suelo y el sodio que pueda tener la arcilla, no permitiendo que éstas se hidrolicen.

Las plantas no tolerantes mueren en estos suelos, debido a que dada la concentración salina, el equilibrio osmótico a través de las membranas de las células, se establece con un movimiento hacia fuera de líquido intracelular.

Si un solonchak ha sido desalinizado, como en el caso de los solonetz y solodi y las sales aparecen nuevamente en el perfil, el suelo se conoce como " solonchak secundario o degradado ".

Entre las clasificaciones de solonchaks según el modo de salinización con referencia a los tipos zonales, existe una clasificación de tipos solonchaks de acuerdo a la clase o clases de sales que prevalecen en el suelo. Para el tipo continental de salinización, Kovda presentó el siguiente esquema de tipos solonchak, basado sobre la clase de sales dominantes y su fuente de origen:

1.-Solonchak con cloruros y nitratos, algunas ocasiones con boratos, asociados con deltas de ríos, planos aluviales bajos.

2.-Solonchak con cloruros y sulfatos, asociado con ríos primarios y terrazas lacustres.

3.-Solonchak con mezcla de cloruros, sulfatos y carbonatos de sodio, asociados con cuencas continentales cerradas.

4.-Solonchak con sulfatos y cloruros, asociado con cuencas parcialmente drenadas, márgenes de lagos y terrazas de ríos primarios pobremente drenados.

5.-Solonchak con sulfatos y yeso, asociado con lagos y terrazas de río relativamente bien drenadas.

6.-Solonchak con sulfatos y carbonato de sodio, asociado con cuencas secundarias, sobre terrazas de ríos terciarios bien drenados, valles y márgenes de lagos abiertos periódicamente de estas regiones.

7.-Solonchak con carbonato de sodio, asociado con formas geomorfológicas similares a las del punto seis, con un grado de erosión mucho más bajo.

8.-Solonchak costero con sulfatos y cloruros, asociado con terrazas y deltas marinos.

9.-Solonchak de lagunas con cloruros, sulfatos y yeso, asociado con fondos de lagunas y bahías que han emergido del océano.

10.-Solonchak salinizado con carbonatos de calcio, cloruros y sulfatos, asociado con depósitos litorales.

Los primeros siete tipos se reconocen como pertenecientes al grupo Continental de Salinización.

De estos, los tres primeros están en el estado de Salinización Progresiva, los tipos seis y siete también Salinización Progresiva.

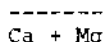
Los tipos ocho, nueve y diez son del grupo marino de salinización, donde la Salinización Progresiva se esta llevando a cabo.

Se ha llegado a la conclusión de que los nitratos se acumulan como un resultado del proceso de nitrificación en rocas organogénicas, así como la nitrificación en los suelos y también los nitratos procedentes de las lluvias. En ocasiones se encuentran fosfatos solubles en las sales de la solución de los solonchaks. Los carbonatos insolubles, y bicarbonatos solubles de calcio y poco frecuentes las sales similares de magnesio, se asocian con solonchaks.

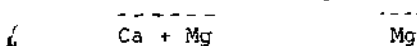
En los solonchaks de los suelos zonales Chernozem, Chstnut, café y grises, los carbonatos de calcio y magnesio no son solamente el resultado de la lluvia, sino también del proceso de salinización, éstos compuestos son de ahí, distribuidos a través de todo el perfil en lugar de que se atribuyan en solo algunos puntos.

Ivanova y Rosanov (63) , presentan una serie de relaciones de geoquímica asociados con tipos diferentes o subdivisiones de solonchak de estepa o de pradera, los siguientes tipos son reconocidos:

Una relación de $Na + K = 4$, representa un solonchak de Na



Una relación de $Na + K = 1$ a 4 y de Ca representa un solonchak de Na



Una relación de $Na + K = 1$ a 4 ; y de Ca representa un solonchak de Na y Ca.



Una relación de $Na + K = 1$; y de Ca representa un solonchak de Ca.



Una relación de $Na + K = 1$; y de Ca representa un solonchak de Mg.



Un índice excelente del estado de salinización es el valor del pH. Cuando el pH no se encuentra arriba de 8.2-8.4 , el solonchak como una regla no tiene Na_2CO_3 y el suelo probablemente se encuentra de un estado de salinización progresiva, solamente con la presencia de Na_2CO_3 el pH se eleva y tales suelos se encuentran en estado de desalinización.

Mamaeva (90), discute la formación de concreciones de sal en suelos salinos, él puntualiza que del análisis de las concreciones puede derivarse el origen, la evolución y el tipo de suelos salinos de que provienen.

Movimiento capilar de las sales en los suelos solonchak. Briggs y Lapham (18), en sus estudios de capilaridad, utilizaron suelos de la Isla James y Carolina del Norte, con una composición salina aproximada a aquella de los suelos álcali, principalmente NaCl, Na₂SO₄ y Na₂CO₃; encontraron que "las sales disueltas en general no aumentan el ascenso capilar del suelo; las sales neutras en solución diluida no tienen influencia sobre el grado de acción capilar, las soluciones concentradas o saturadas de todas las sales disminuyen materialmente la actividad capilar."

El aumento de la densidad de las soluciones concentradas parece ser responsable del ascenso lento de la capilaridad. "El Na₂CO₃ difiere de las sales neutras, en que el ascenso capilar viene siendo considerablemente más grande que para soluciones neutras de igual concentración." Esto puede deberse en parte a la saponificación de trazos de sustancias grasas sobre la superficie de las partículas del suelo.

Kossovich (38), reporta precisamente lo contrario de Briggs y Lapham: las sales neutras aumentan la capilaridad y el Na₂CO₃ lo disminuye.

Dimo (30), en sus investigaciones sobre el origen y la formación de suelos salinos, puntualizo que un solonchak seco fuertemente salinizado, permite un ascenso capilar muy restringido; ya que en un periodo de 30 días el levantamiento capilar, fue de 5 cm. solamente.

Dimo también reporta que: "los carbonatos alcalinotérreos poseen la más grande movilidad capilar, seguido por los sulfatos y finalmente por el NaCl que viene siendo el más bajo".

Tulaikov (150), señala que el ascenso capilar en arena y migajones arenosos del tipo de suelos salinizados, es más alto que en los suelos de texturas finas. Por lo anterior debiera esperarse una salinización mucho mayor en suelos de textura gruesa que en los de textura fina.

5.2.- Proceso Solonetz.

Cuando se inicia la remoción de sales solubles (desalinización), del solonchak, los cationes que prevalecen para entonces en el complejo de intercambio no sufren alteración. Después de la completa remoción de las sales solubles, sobreviene la hidrólisis que en combinación con los ácidos producidos en el proceso de humificación conducen a un remplazamiento de algunas bases por hidrógeno.

Antes de llegar a este punto, el suelo es, técnicamente hablando, un solonetz, con las bases en el complejo intactas; como las sales de sodio se presentan generalmente en los solonchak y el complejo de intercambio contiene algunos iones de sodio adsorvido, los solonetz han sido asociados a un suelo saturado de sodio, el cual cuando ha sido liberado de las sales solubles, al menos del horizonte A, adquiere propiedades morfológicas, químicas y formas físicas específicas.

Un solonchak saturado con calcio, aún después de la remoción completa de las sales solubles, no mostrara las propiedades de un solonetz; se ha reportado que un solonetz saturado con Mg adquiere propiedades similares a las de un solonchak de Na libre de sus sales solubles; teóricamente puede hablarse de un solonetz saturado con Mg.

De acuerdo a Prasolov, Antipov-Karataev (106-107), Ivanova (62), así como Pankov y Shavrygin (102), el contenido de Mg en algunos suelos solonetz es tan alto como de un 40 a 67 % de la capacidad de intercambio.

Antipov-Karataev (106), en sus discusiones sobre las propiedades coloidales de los suelos han discutido el problema del Mg con relación a los solonetz. El concluye que en combinación con el sodio en el complejo de intercambio, el Mg actúa adicionalmente hacia la solonetzización.

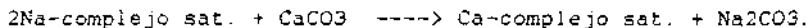
En uno de sus últimos apuntes Antipov-Karataev, en colaboración con Sedletskii (7), no atribuyo demasiado efecto solonético al ión Mg.

Por sí mismo el ión Mg no trae consigo propiedades solonéticas, de acuerdo con Sushko (144).

En el trabajo de Joffe y Zimmerman (66) la actividad complementaria del Mg en presencia del sodio no tiene efecto.

Con el complejo saturado con Na, tiene lugar una serie de reacciones, una vez que el exceso de sales solubles a sido llevada hacia las partes profundas del perfil o hacia el interior del horizonte C.

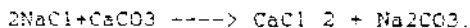
Si los carbonatos alcalinotérreos están presentes, como generalmente es el caso, se llevara a efecto un intercambio entre el CaCO₃ débilmente ionizado y el complejo saturado de Na, de acuerdo a las siguiente ecuación :



En la presencia de Ca(HCO₃)₂, se forma NaHCO₃, este tipo de reacción es posible solamente después de que el exceso de sales solubles de Na se han elevado; por otra parte, la preponderancia de un gran número de iones Na en solución previene la entrada de iones Ca en el complejo.

Después de que se ha alcanzado una cierta concentración de Na₂CO₃, no se llevara a efecto ningún otro intercambio, ya que habrá un intercambio entre el Na del Na₂CO₃ y el Na en el complejo. Solamente que haya una remoción del producto de reacción de Na₂CO₃, podrá haber de nuevo un intercambio.

La explicación clásica de Hilgard sobre la formación de suelos alcali negro fue que las sales de alcali reaccionaban con el CaCO₃.



A la luz de las teorías de Gedroiz (1912), se tiene que el Na del complejo de intercambio reacciona con agua dando NaOH. Este en cambio reacciona con el CO₂ del aire del suelo y forma Na₂CO₃ libre, se presenta un cambio o caso poco usual en suelos salinos, en el cual el Ca intercambiable puede formar CaCO₃.

Complejo-Ca+Na₂CO₃ ----> Complejo-Na+CaCO₃

Para probar sus teorías Gedroiz condujo una serie de ingeniosos experimentos que son clásicos de la literatura de Química de suelos. Tabla No. 1

Gedroiz experimentó con porciones de 10grs de suelo Chernozem con 80cc. de una solución de Na₂CO₃ de varias concentraciones.

En la interpretación de Gedroiz, no es hasta que el suelo ha sido saturado con Na y no, hasta que todo el Ca en el complejo ha sido remplazado, podrá el Na₂CO₃, (El cual puede formarse por la interacción de Na con forme este es liberado del complejo de intercambio), interactuar para formar CaCO₃.

Después de que el suelo ha sido saturado con Na, se lleva a efecto un intercambio entre el calcio del CaCO₃ y el Na adsorbido y no entre el Na adsorbido y el Na de las sales de Na.

T A B L A No. 1

Adsorción de Na por un suelo Chernozem

Concentración de Na ₂ CO ₃ agregado	concentración Na ₂ CO ₃ encontrado después de mezclarlo	Na adsorbido por el suelo	
		en términos de % de suelo	en términos de % de Na ₂ CO ₃ adsorbido
Normal	Normal	%	%
0.10	0.056	0.82	44
0.08	0.040	0.66	50
0.06	0.029	0.57	52
0.04	0.020	0.37	50
0.02	0.009	0.20	55
0.01	0.004	0.11	60

Para consolidar su teoría sobre la formación de Na₂CO₃ en suelos salinos y no salinos.

TABLA No. 2

En el caso de suelos salinos ricos en sales solubles, el efecto de la solubilidad es más grande que el de la descomposición.

Con una disminución en la cantidad de agua tomada por unidad de suelo, la concentración del extracto es inversamente proporcional a la cantidad de agua, la cantidad de sustancias extractadas por unidad de peso del suelo (100gr) permanece casi invariable.

Si la solubilidad de las sales dificilmente solubles, es la reaccion que prevalece, el suelo se comporta en una forma opuesta a la del suelo que contiene una gran concentracion de sales solubles. La concentracion de sustancias en el extracto permanece constante en varias relaciones de suelo-agua, pero la cantidad de sustancias extractadas de peso de suelo es directamente proporcional a la cantidad de agua tomada.

Ahora examinemos como la alcalinidad cambia en un extrato de agua de solonetz con el cambio de la relacion suelo-agua.

El suelo usado fue un solonetz con carbonatos libre de cloruros y sulfatos solubles. Los datos muestran que el efecto de el agua sobre los solonetz difiere de su efecto sobre los suelos que contienen sales solubles o insolubles, esto aproxima el efecto de descomposicion en suelos no salinos.

Las cantidades de Na extratadas del suelo, en forma de Na_2CO_3 y Humatos de Na (extratos de agua), aumenta con el exceso del agua por unidad de suelo, pero la concentracion de estos compuestos en el agua disminuye y jamas la cantidad ni el factor de concentracion es directamente proporcional a la cantidad de agua.

TABLA No. 2

Efecto de varias cantidades de agua en los suelos
(Despues de Gedroiz)

Relacion suelo-agua	Suelo Chernozem no salino		Solochak de Na y Ca	
	Por c.c. de extracto	Por 100grs. de suelo	Por c.c. de extracto	Por 100 grs. de suelo
	Sustancias minerales totales extraidas del suelo con agua en grs.		cantidades totales de sales minerales solubles en agua extraidas del suelo, en grs.	
1:20	0.0020	0.0400	0.185	3.599
1:10	0.0037	0.0370	0.370	3.697
1: 8	0.0043	0.0344	0.463	3.700
1: 6	0.0049	0.0294	0.612	3.679
1: 5	0.0056	0.0280	0.737	3.685
1: 4	0.0067	0.0268	0.918	3.670
1: 3	0.0080	0.0240	1.234	3.702
1: 2	0.0106	0.0204	1.846	3.692
1: 1	0.0189	0.0189	3.701	3.701

Para sumarizar, la reaccion involucrada en la formacion de Na_2CO_3 en suelos salinos que contienen CaCO_3 es entre el ion Na del complejo y el carbonato residual del CaCO_3 ligeramente ionizado y del Ca (HCO_3)² altamente ionizado (la presencia del ultimo depende del CO_2 contenido en el aire del suelo). en ausencia de sales solubles del alcali.

Debido a la saturación del complejo con Na y a la presencia de Na_2CO_3 libre, los solonetz llegan a ser fuertemente dispersados y las partículas finas se mueven hacia el horizonte B que será cementado y compactado, dando lugar a las formas columnares típicas.

En suelos salinos carentes de carbonatos de Ca y Mg la formación de Na_2CO_3 se lleva a efecto por el intercambio de iones H disociados del H_2O , con el Na en el complejo. Bajo tales condiciones, el contenido de Na_2CO_3 es bajo, el complejo está algo insaturado y todavía el extracto de agua del suelo indica una gran alcalinidad. Una contribución interesante sobre los efectos de la irrigación como medida de mejoramiento en los suelos salinizados, es la presentada por Rozov (118-119); donde muestra que con las prácticas de irrigación es posible producir todas las formas morfológicas de un perfil solonetz, sin tener el complejo completamente saturado con Na. Existe aún, posibilidad de un horizonte B, típico solonético (morfológicamente), con el Ca o Mg en el complejo de intercambio y sin Na.

Rozmakhov (117), Establece que con el cambio del contenido de sal, en el curso de la salinización y de desalinización, se experimenta un cambio en el micro relieve, drenaje y volumen del suelo. Es muy probable que el fenómeno notado por Rozmakhov esté asociado con la estructura vesicular del horizonte superficial en este tipo de suelos.

Morfología de los Solonetz.-

Cuatro grupos de solonetz normales han sido reconocidos por Vilenskii:

- 1.- Solonetz terreno prismático con cloruros y sulfatos y solonetz prismático, asociado con la zona de los suelos cafés.
- 2.- Solonetz columnar de cloruros y sulfatos, asociado con la zona de los suelos chesnut.
- 3.- Solonetz columnar con Na_2CO_3 en la zona de los chernozem.
- 4.- Solonetz con estructura de nuez en la zona de transición entre los de bosque y los estepa.

Todos estos se asemejan uno a otro con una regularidad definida, conforme cambian las condiciones climáticas desde la estepa árida hasta la estepa de bosque.

Diferenciación clara entre los horizontes; la profundidad del horizonte A varía de 0 a 30 cm., y más usualmente está estratificado, con la estructura laminada, muy porosa y aún alveolar; las placas individuales son más oscuras en la parte baja que en la superficie. En el solonetz prismático el color predominante del horizonte A es gris o gris amarillento. En el solonetz columnar, el horizonte A se divide en tres sub-horizontes: A1, A2, A3. Los dos últimos son siempre de color grisáceo claro, compactado y cuando se barbecha da un polvo parecido al material que cubre el horizonte B de un podzol. El color del horizonte A es gris oscuro en este grupo y negro en el grupo columnar con Na_2CO_3 .

En el solonetz columnar con cloruros y sulfatos, el horizonte B se subdivide en B1 y B2, las unidades columnares tienen superficies planas en la base y redondeadas hacia arriba; éstas tienen de 8 a 13 cm. de largo y de 4 a 5 cm. de espesor, de color café o café castaño, cuyas superficies parecen estar cubiertas por una capa de barniz brillante.

Las columnas están separadas por grietas verticales, usualmente rellenas con material pulverulento del horizonte a A2 y la transición entre A y B es muy marcada. En los solonetz columnares con Na₂CO₃, el horizonte B se subdivide en B1, B2, B3. El B1, consiste de columnas que varían de 10 a 15 cm. de espesor de color negro y unidades estructurales como nueces, B3 es transicional con respecto a C, de color café moteado de estructura terronosa angular con venas de CaCO₃, que están espesados en el horizonte C por concreciones y manchones.

Antipov-Karataev y Dedletskii atribuyen la compactación del horizonte B en los solonetz principalmente a la peptización (la destrucción de los agregados del suelo al estado de partículas primarias); seguida por una dispersión parcial con un fraccionamiento de las partículas primarias y en los estados más avanzados del desarrollo del solonetz, el estado del solonetz interviene como un factor.

TABLA No. 3
Bases intercambiables (meq/100grs.) en suelos salinos de Fresno California.

Parcela No	Prof. en pulgs.	K	Na	Ca+Mg	% de Na total
4	0-12	0	3.70	1.10	75
	12-24	0	3.42	1.52	69
	24-36	0	2.29	2.53	49
	36-48	0	2.01	3.22	38
10	0-12	0.28	2.69	2.60	48
	12-24	0.12	3.07	2.40	55
	24-36	0.04	2.81	3.20	46
	36-48	0.07	2.50	3.38	42
11	0-12	0.49	3.44	1.12	68
	12-24	0.05	3.24	2.10	60
	24-36	0	1.71	4.38	28
	36-48	0	1.18	5.18	19
17	0-12	0.46	3.14	1.38	63
	12-24	0.21	2.64	2.35	51
	24-36	0.10	2.12	2.99	41
	36-48	0	2.29	2.81	45

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

Continuación de la tabla No. 3

19	0-12	0.36	3.31	2.07	58
	12-24	0.09	2.85	2.93	49
	24-36	0.08	2.72	3.39	44
	36-48	0.10	2.82	3.78	42
45	0-12	0.30	3.09	2.54	52
	12-24	0.12	2.84	3.10	47
	24-36	0.0	2.05	4.65	31
	36-48	0.03	2.16	4.34	33

La dispersión es impedida por los electrolitos que causan una baja presión osmótica en las miselas coloidales, como fue mostrado por Mattson (91).

Aleksandrova (3), reporta que del 59 al 64% del total de la materia orgánica en los solonchak esta humificada. En la capa superficial de un solonchak, hay de 15 a 16 % de ácido húmico y de 16 a 21 % de ácido fúlvico, la parte inferior del perfil solonchak contiene muy poca materia orgánica; conforme el solonchak es desalinizado el solonetz empieza a perder materia orgánica.

En un solonetz columnar hubo 13.2% de ácido húmico con un aumento de ácido fúlvico, la relación C:N en el ácido húmico de los solonetz varía de 12 a 17 %.

Su capacidad de intercambio (calculada en cenizas libres de ácido húmico) a pH 8.0 fue de 441 a 524 meq/100gr, conforme a la cantidad de sodio encontrada en los solonetz, los datos de Arany y Kelly (128), muestran un mínimo de 19 % y un máximo de 75 % de cationes intercambiables, dependiendo de la posición en el perfil.

Ivanov(62), Prasolov, Antipov-Karataev(107), Pankov y Shavrygin (102); muestran que las propiedades de los solonetz empiezan entre 5 y 10 % de sodio en complejo de intercambio, de 15 a 20 % se presenta un solonetz típico.

5.3.- Proceso Solodi.

El tercer estado en la evolución de suelos salinos es la degradación del complejo de intercambio, que causa algunos cambios distintivos en las propiedades del perfil, el suelo formado como un resultado de las reacciones que acompañan la degradación, es conocido con el nombre de Solodi y el proceso involucrado, como Solodización.

Morfología.- El horizonte A1 es de color oscuro, con bajo contenido de materia orgánica. Cuando esta seco, la superficie muestra una estructura granular muy inestable, los granulos forman lodo en contacto con el agua, los manchones mohosos se encuentran ocasionalmente en el horizonte A1, pero más frecuentemente en B1, el horizonte A2 es gris claro a gris cenizo y con estructura de placas. Debido a su color este se parece al A2 blanquecino de los podzoles; pero diferente en su proceso de formación genética.

El horizonte B es compacto mientras el redondeamiento de la parte superior de la estructura columnar desaparece con la solodización, las columnas generalmente permanecen con la apariencia de unidades terrconosas, ocurren frecuentemente los granos de ortstein y venas.

Como una regla de los solodi, están asociados con áreas de los solonetz y tipos solonchal-solonéticos, examinando un complejo de suelos salinos (por esto debe comprenderse una área donde 2 de los 3 estados en la evolución de los solonetz a los diferentes subtipos sean localizados), el tipo climatogénico normal debería observarse mediante estudios morfológicos comparativos.

Proceso de formación.- La evolución de los estados en el proceso salino de formación de suelos, se asocia con las condiciones hidrológicas de la zona, entre más agua sea aprovechada para un lavado y percolación debido a un cambio en el clima, o cuando la misma precipitación llega a ser más efectiva debido a un cambio en el movimiento ascendente de la sal o aun mejoramiento en el drenaje; el último estado en el proceso salino de formación del suelo se relaciona al intercambio de Na por H.

En los procesos de salinización y alcalinización, las reacciones hidrolíticas son en gran medida responsables para el cambio de solonetz a solodi. La especificidad de la hidrólisis en el medio de un solonetz privado de sus sales solubles es : primero, alta alcalinidad resultante del remplazamiento de CO_3 y HCO_3 , y seguidamente, en la reactividad de los constituyentes debido al aumento en superficie activa como resultado de la dispersión de los coloides.

Como una consecuencia de la dispersión, se lleva a efecto un cambio en las fases del sistema coloidal; cuando la percolación se impide, se traduce en un estado de inundación mediante el cual la fase sólida del suelo llega a ser dispersada y la solución del suelo viene a ser el medio dispersante, lo que generalmente es a la inversa.

Bajo estas circunstancias, relativamente grandes cantidades de constituyentes orgánicos y minerales entran en solución. En podzol, lateritas, chernozem y otros tipos de suelos zonales normales, los constituyentes solubles en agua no exceden de 0.01 %, mientras que para el solonetz degradado puede dar 0.8% de constituyentes solubles en agua. Gedroit puntualiza que la solubilidad de la materia orgánica de un solonetz puede ser 35 veces más grande que la de un chernozem.

En los estados de desalinización, el factor biosfera de la formación de suelos(la cubierta vegetal), no participa en alto grado. En ausencia de la vegetación, no hay fuente de bases alcalinotérreas y otras bases para entrar en circulación, éste momento específico es típico en la formación de un solodi, sin abastecimiento externo de las bases mencionadas (a través de la humificación de varias generaciones de plantas) el horizonte A llega a ser ácido.

Durante la estación húmeda, las reacciones de reducción conducen al movimiento de fierro en estado ferroso, la condición dispersada causa un movimiento de partículas finas dentro del horizonte B.

Ponomarev y Sedletskii (105) señalan que en los solonetz las partículas del orden de 0.002 a 0.0002 mm., y más pequeñas en tamaño, son removidas del horizonte A y acumuladas en el horizonte B, tal movimiento es más pronunciado a través de la solodización. En un suelo chernozem con la estructura estable, las partículas de 0.002mm., están ampliamente distribuidas en el perfil, con un máximo ligeramente superior en la parte alta del horizonte A, a una menor cantidad en la parte más baja y de nuevo una elevación del contenido en el horizonte B.

Con la completa destrucción de la estructura y el paso de los coloides a su composición ultramecánica, algunos de los silicatos son hidrolizados de tal manera, que la sílice amorfa es separada. De acuerdo a Gedroiz, esta sílice puede ser extractada con una solución caliente de KHO al 5% . Esta sílice da al horizonte A2 del solodi su apariencia blanquecina, similar a la de un podzol; químicamente el solodi también se asemeja a los podzols. El horizonte A2 es pobre en bases divalentes, sin embargo, en el caso de los solodi, las pérdidas de éstas bases son el resultado del remplazamiento de sodio por ellas, mientras que en los podzols las bases son rempazadas por H.

Cuando los iones sodio que quedan fuera del complejo de intercambio y el pH de horizonte A baja a 6.0 o aún más la reacción del horizonte B también llega a ser menos alcalina, en éste estado el horizonte A es un medio adecuado para el crecimiento de las plantas y la flora nativa aparece, las raíces penetran más profundamente dentro del perfil y después de un número de años el factor biosfera provoca la circulación de las bases, el suelos llega a ser normal, tomando gradualmente las formas de un tipo climatogénico.

Gedroiz diferencia 2 tipos de solodización :

- 1.- En solonetz, prácticamente libre de carbonatos ; es decir, sin efervescencia en la superficie y poco o nada de CaCO_3 .
- 2.- En solonetz que contienen carbonatos en donde la efervescencia es aparente desde la superficie y el CaCO_3 es abundante en el perfil.

Ivanova observo un corte de 24 mts., de longitud, en el cual el elemento topografía era el factor decisivo para convertir los solonetz en solodi.

En la formación del solodi, el Mg es liberado del horizonte superficial y acumulado en horizontes inferiores, en el horizonte A, la capacidad de intercambio de bases, disminuye debido a la destrucción de las llamadas sustancias zeolíticas y a la liberación de la materia orgánica.

Prasalov y Antipov-Karataev (10) determinaron el SiO_2 Y Al_2O_3 amorfos, en un número de suelos normales y en un complejo de suelos, café y café castaño esto se demuestra en la Tabla No 4.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

RAEANOV (116) puntualizo que el CaCO_3 y el MgCO_3 no proviene al deterioro del complejo de intercambio y la formación del solodi. Basilevich asegura que con el avance de la solodización, el Ca se pierde más rápidamente del horizonte A2 que el Mg y se acumula en el horizonte B, el atribuye la acumulación de SiO_2 en el horizonte A2, como un resultado del movimiento ascendente de las sales de origen diatomíticas.

La acumulación de SiO_2 amorfo en el horizonte A2 no es considerado por Basilevich como un índice real de solodización, dado que el movimiento ascendente del álcali puede causar la separación del SiO_2 .

El contenido de Mg en los grupos respectivos, puede también servir como un índice del estado de solodización, siendo más alto en los estados iniciales y disminuyendo según avanza el estado de un verdadero solodi.

En una evolución final el solodi toma la apariencia de un suelo climatogénico prevalectante en el área.

Akimtsev (2), reporto pruebas extensivas sobre la formación solodi en suelos café castaños claros y oscuros del semidesierto. Este expreso que un suelo gris salino hacia la solodización, puede llegar a ser un café castaño subsecuentemente un chernozem y finalmente inclusive un suelo forestal.

Parque lógico asumir esta circunstancia en virtud de que la solodización es posible por el aumento en la precipitación, la cual es asociada con un cambio en el clima que determina el tipo de suelo. En suelos grises o café bajo irrigación (el factor humano participando en la formación de suelo), puede predecirse un cambio en el tipo de suelo, si los suelos son solodi.

TABLA No. 4

SiO₂ y Al₂O₃ extraídos de varios suelos con una solución de KHO al 5%.
(Después de Prasaiov y Antipov-Karataev)

Horizonte	Profundidad cm.	% de peso seco		Exceso sobre la relación Al ₂ :2SiO ₂ grs.		Exceso sobre la relación Al ₂ O ₃ :6SiO ₂ grs.	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Solonetz							
A1	0-5	1.9016	0.3196	1.5220	-----	0.7298	-----
B1	7-15	1.6160	0.5269	0.9926	-----	-----	0.0720
B2	20-30	1.0098	0.1895	0.7871	-----	0.3379	-----
Suelo chesnut claro Solonético							
A1	0-9	2.5428	0.3057	2.1854	-----	1.4624	-----
A2	12-20	1.4031	0.3435	0.9979	-----	0.1843	-----
B1	22-32	1.1516	0.4318	0.6405	-----	-----	0.0011
B2	35-45	1.0027	0.3287	0.6136	-----	-----	0.0458
C	55-65	0.8240	0.2657	0.5088	-----	-----	0.0330
Suelo café Solonético							
A1	0-10	2.7753	0.2369	2.4955	-----	1.9706	-----
B1	15-25	1.2556	0.5580	0.5891	-----	-----	0.2045
B2	30-40	0.4356	0.2702	0.1191	-----	-----	0.1476
Suelo café (normal)							
A1	0-10	3.2079	0.1389	2.0424	-----	1.7157	-----
B1	16-28	1.3029	0.2656	0.9875	-----	0.3610	-----
B2	45-52	1.1582	0.0708	1.0749	-----	0.9062	-----

VI.- CRITERIOS CLASIFICATORIOS DE SUELOS CON PROBLEMAS DE SALES.

6.1.- Generalidades.- En la actualidad existen varios criterios para caracterizar los tipos de suelos con predominancia del ión sodio, tanto en su forma soluble como de cambio; los cuales varían según el enfoque estructural del sistema de referencia; así como de los objetivos pretendidos en la caracterización. Sin embargo, la clasificación debe tener ante todo, un objetivo práctico, de tal manera que sirva lo mejor posible a los técnicos encargados de manejar el suelo, desde un punto de vista agronómico.

6.2.- Sistema Genético.
Roscov, N.E., Ivanova V.N. (1958), establecieron un enfoque evolutivo-genético para clasificar estos tipos de suelos, el cual está estructurado jerárquicamente de la siguiente forma:

6.2.1.- Tipo genético.- grupo mayor de suelos desarrollados a partir de un simple tipo de condiciones bioclimáticas e hidrológicas, caracterizadas por una clara manifestación de los procesos básicos de formación del suelo, posiblemente en combinación con otros procesos pedológicos secundarios. Los puntos característicos del tipo de suelo se definen por:

- 1.- El mismo tipo de acumulaciones de materia orgánica, su proporción y carácter distributivo.
- 2.- El mismo tipo de procesos de descomposición de sustancias minerales, así como de la síntesis de nuevos minerales y productos organo-minerales.
- 3.- Similitud en la translocación del material del suelo.
- 4.- Mismo tipo de estructura en el perfil del suelo.
- 5.- Misma dirección de medidas para mantener e incrementar la productividad del suelo.

6.2.2.- Subtipo genético.

Grupo de suelos dentro del rango del tipo de suelos, diferenciado cualitativamente, mediante la manifestación de uno de los procesos formadores del suelo superpuesto, así como en la intensidad con que ellos reflejan el principal proceso pedogenético. Las medidas para mantener e incrementar la fertilidad del suelo, son más uniformes para un subtipo de suelos que para el tipo.

Para diferenciar un subtipo de suelo, los cambios regionales así como los subzonales, en sus condiciones ambientales están dadas mediante un listado. Las condiciones zonales en este enfoque son determinadas por la latitud y longitud (principalmente por la temperatura); las condiciones regionales están determinadas por el tipo de clima continental o marítimo.

6.2.3.- Familia.

En un grupo de suelos dentro del subtipo con peculiaridades culitativas dependientes de las condiciones locales, por ejemplo, el material parental (incluyendo la química del agua subterránea). Historia pretérita de desarrollo del suelo (huellas y/o restos de etapas previas) etc.

6.2.4.- Forma.

Los suelos agrupados dentro de familias, difieren en el grado de desarrollo del proceso pedogenético (grado de podzolización, cantidad de humus e intensidad del horizonte húmico, grado de salinización, etc).

Los autores de este criterio recomiendan además, el estudio y discusión de de los métodos de reconocimiento de los tipos de suelo y su descripción, así como de las bases para su futura estandarización. Desde el principio de los trabajos, Rosov, (1950), publicó un documento de interés sobre el asunto, en el cual destaca la necesidad de basar la clasificación genética de suelos sobre un reconocimiento propio (diagnóstico de los diferentes tipos de suelos). Este diagnóstico deberá apoyarse sobre un amplio manejo de los métodos de análisis físico y químico, así como de observaciones de campo, además, recomienda en lo posible, un enfoque cuantitativo para poder definir las unidades taxonómicas de suelo, las cuales deberán ser presentadas en forma de curvas, ilustrando los cambios en diferentes propiedades dentro del perfil del suelo.

*
Ivanova, E. (1958), considera que cada tipo de suelo o unidad taxonómica inferior debería tener su propio "pasaporte", es decir, un documento que contenga los siguientes conceptos :

- 1.- La columna morfológica , ilustrando esquemáticamente la estructura morfológica del perfil del suelo mediante el empleo de símbolos.
- 2.- Una descripción morfológica del perfil ilustrado gráficamente en la columna morfológica.
- 3.- Gráficas que ilustran la distribución de las características importantes del perfil del suelo, por ejemplo, fracción arcillosa, humus carbonatos, sales totales, bases intercambiables pH, etc.
- 4.- Gráficas de la composición mecánica del suelo.
- 5.- Gráficas de la humedad y algunas otras propiedades físicas del suelo.
- 6.- Gráficas que representan la distribución radical de las plantas y/o cultivos establecidos.
- 7.- Gráfica representativa de la distribución de los principales tipos de materia orgánica.
- 8.- Gráficas que presentan de una manera esquemática los puntos principales o características de agua y del régimen de calor etc.

Rode A. (1958), establece que estos "pasaportes" del suelo representan la parte más importante para la preparación de un Sistema de Clasificación de Suelos. Por último, defiende la postura del establecimiento de colecciones de suelos cuya función sea la similar a la del herbario en taxonomía de plantas.

En este sistema, encarna una combinación de los criterios tradicionales de clasificación en la Unión Soviética (propiedades Genéticas de los suelos, procesos y condiciones de la pedogénesis y factores pedogenéticos).

Desde el punto de vista geográfico ambiental, establece la División Zonal e Intrazonal, los cuales se subdividen en tipos de acuerdo a las características regionales y zonales de su pedogénesis como resultado fundamental de las condiciones bioclimáticas.

Desde el punto de vista factorial, la clase de suelos se relaciona verticalmente de acuerdo a las principales complejos de factores pedogenéticos y sus diferencias causales, agrupándolos en función de sus diferencias en la salinidad, así como el carácter y grado de influencia de los procesos de intemperismo, incluyendo el biológico.

Desde el punto de vista evolutivo, este esquema manifiesta las principales conexiones genético-evolutivas entre las clases de suelos lo cual nos permite a la vez, si es aplicado correctamente el sistema, considera a cada tipo de suelo, como una fase genético histórica.

Kovda, V.A. (1967), tomando en consideración las ideas de Prasolov, (1934), introduce en los niveles inferiores del sistema, los caracteres cuantitativos diferenciadores de la salinización, desalinización y alcalinización, perfeccionando así el sistema o esquema para la definición y manejo de estos tipos de suelos; los criterios de éste investigador que se basan exclusivamente en la clase y origen de la sal predominante, fueron modificados posteriormente por Egorov, V. (1982), en base a las sugerencias de Ivanova, para definir las unidades taxonómicas inferiores, éste criterio se describe en el cuadro No. 2.

CUADRO No. 2

División de los suelos según el tipo de salinización.
(Egorov , V.V. , 1981)

Tipo de salinización	Relación del contenido de aniones en meq/100 gr suelo		
	CL	HCO ₃	HCO ₃
	SO ₄	CL	SO ₄
De cloruro y de sulfato y cloruro.	1.0	-----	-----
De cloruro y de sulfato	0.2-1.0	-----	-----
De sulfato	0.2	-----	-----
Sódico y de cloruro	1.0	1.0	1.0
Sódico y de sulfato	1.0	1.0	1.0
De cloruro sódico	1.0	1.0	1.0
De sulfato sódico	1.0	1.0	1.0
De sulfato o de cloruro	-----	-----	-----
Hydrocarbonatos			

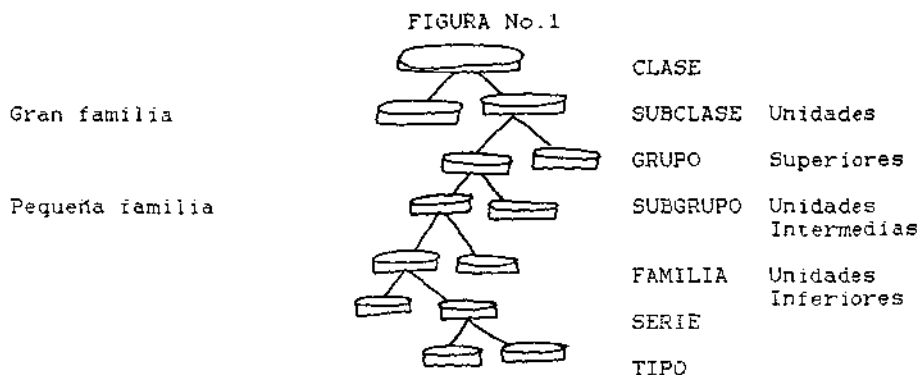
6.3.- Sistema ecológico.

Duchaufour, P., (1976), a su sistema de clasificación, el cual representa a la Escuela Francesa, lo caracteriza como un esquema morfológico y genético, constituido por seis categorías o niveles de clases, (figura No 1.). Este sistema considerado como general, solamente esta definido hasta el nivel de subgrupo, correspondiente a los cartográficos prácticos de la complementación del sistema.

Jamagne, J., (1972), al establecer los criterios clasificatorios de las unidades inferiores, sigue una metodología en la cual utiliza tanto criterios morfológicos como morfoestructurales, mezclandolos de una manera más o menos secuencial, de tal forma que la serie y la familia de suelos como unidades cartográficas y de manejo, se asemejan más a la asociación de suelos que a la serie y familia en si mismas definidas en términos de una abstracción morfológica.

Lo anterior trae como consecuencia que al definir estas unidades de campo, con fines de manejo, en regiones donde los eventos geológicos y los procesos geomorfológicos sean simples, se caiga en una subjetividad muy alta y, por lo tanto en una imprecisión elevada en la caracterización.

Las categorías del sistema completo se caracterizan de la siguiente manera:



UNIDADES MAYORES DE CLASIFICACION
(Aubert, G. y Duchaufour, P.1956)

6.3.1.- Clase.

Al nivel más elevado de generalización, los cuales son agrupados en clases, en una misma clase, los suelos tienen ciertos caracteres comunes, que son los siguientes:

1.- Un cierto grado de desarrollo del perfil ó de evolución del suelo; los materiales que no han sufrido ninguna evolución, constituyen la clase de Suelos Minerales Brutos, suelos en donde la evolución se ha desarrollado ligeramente ;constituyen la Clase de suelos poco Evolucionados.

Los otros suelos poseen además un horizonte en el que el material primitivo ésta alterado y se ha modificado su naturaleza química.

2.- Una forma de alteración de los minerales, en relación con las características generales de las condiciones físico-químicas que rigen la parte superior del suelo, caracterizado por la naturaleza de los sexquióxidos liberados y que se mantienen individualizados, o constituyen a complejos característicos.

La importancia relativa de esta liberación, así como la dominación de ciertos tipos de arcillas, se traducen en diferentes tipos de alteración.

Además ellos se expresan en el perfil por los colores, por las propiedades físicas (estructura) de ciertos horizontes, por las propiedades químicas (saturación del complejo).

En ciertas Clases (suelos hidromorfos, suelos sodicos), las relaciones entre el clima y el suelo estan modificadas de hecho por la existencia de un proceso dominante y los criterios de cambio son una traduccion indirecta del complejo de caracteres pedoclimaticos.

6.3.3.- Grupo.

Los grupos estan definidos: por la caracterizacion morfologica del perfil correspondiente al proceso de evolucion de los suelos: por la diferenciacion de ciertos horizontes, por la lixiviacion de cal y de los elementos coloidales, etc.

A veces dos grupos vecinos pueden estar caracterizados por el mismo proceso pedologico general; sin embargo pueden ser diferenciados por una fuerte variacion en la intensidad del proceso correspondiente y dar como resultado dos perfiles completamente distintos. Tal es el caso de los Grupos Podzolicos en los cuales la diferenciacion está dada por el humus poco transformado y los hidroxidos; o como en el caso de los Grupos Castaños, Pardos etc., dentro de la Clase de suelos Isohumicos.

6.3.4.- Subgrupo.

Los grupos comprenden en general muchos subgrupos en los cuales los caracteres esenciales del perfil son los mismos, pero se diferencian por las contrastantes intensidades que presentan de una categoria a otra, o por los procesos fundamentales de la evolucion de un grupo o por la manifestacion de un proceso secundario, que se traduce en la presencia de ciertos elementos nuevos en el perfil (concreciones, duripanes, manchas de hidromorfia, alargamientos de la estructura etc.).

UNIDADES MENORES DE CLASIFICACION DE SUELOS

(Jamagne, J., 1972)

En los estudios detallados para dividir los Subgrupos se utilizan los conceptos de Familia, Tipo y Fase de Suelo.

6.3.5.- Familia.

Dentro de un mismo Subgrupo, todas las series formadas a partir de un mismo material petrografico constituye una Familia reciproca. se pueden dividir los suelos de un mismo Subgrupo de acuerdo con el material de origen.

Una clasificacion en la cual se encuentran cartografiados los materiales parentales pueden servir de base para la clasificacion de Familias.

Despues de muchas tentativas, la mejor manera de agrupacion dentro de una region determinada, es de acuerdo a las rasas locales de las rocas. Estos son en general los caracteres mas importantes para los suelos; y la referencia a un sistema convencional debiera introducirse con mucha precision.

6.3.6.- Serie.

Es una unidad (cartografica y de clasificacion) en donde las características edáficas son suficientemente homogéneas, porque las variaciones tipológicas no pueden influenciar notablemente el desarrollo de plantas espontáneas y cultivadas.

3.- Una composición y distribución típica de la materia orgánica capaz de influenciar la evolución del suelo y la diferenciación de los horizontes del perfil. Por ejemplo: concentración en horizontes superiores o distribución en todo el perfil, humus cálcico evolucionado, humus evolucionado del tipo mull. apto para favorecer la migración de los coloides minerales; humus grueso del tipo mor. capaz de degradar el complejo mineral del suelo.

4.- Ciertos factores fundamentales de la evolución de suelo que se consideran predominantes. Como la presencia de agua (hidromorfía) o de las sales muy solubles (halomorfía). Estos dos tipos de procesos difieren de otros por que no son verdaderamente transitorios como se ha dicho algunas veces, sino que son mucho más rápidos. sin embargo, estos pueden ser tan intensos que modificar enteramente la forma de evolución del suelo y su perfil.

En estos casos, son considerados como la característica fundamental de la Clase de Suelo, y cada vez que ellos tengan un menor intensidad de expresión no podrán definir a los Grupos sino más bien a subgrupos, Series o Fases de Suelos.

6.3.2.- Subclase.

En medida de lo posible, la diferenciación de las subclases efectúa sobre los criterios resultantes de las condiciones de pedoclima. En efecto, los suelos pueden adquirir ciertas características mayores por las diversas combinaciones de las variables de los factores climáticos. Por ejemplo la evolución de los suelos puede estar caracterizada por un clima muy frío o por un clima seco y cálido.

En los climas o suelos en los cuales la materia orgánica proviene principalmente de las raíces, su acumulación, en diferentes espesores puede producirse en diferentes climas, sean fríos templados o cálidos y por la posición de la estación seca durante el año, lo cual constituye un factor esencial en la naturaleza del suelo. Por otra parte la ausencia de las relaciones con el clima se toman en cuenta como criterio al nivel de Subclase: este es el caso de los Suelos Minerales Brutos y de los Suelos poco Evolucionados.

Considerando la noción de pedoclima, en un contexto en el cual entran no solamente las nociones de temperatura y de mayor a menor humedad del suelo (ligada o no al clima local), sino además la noción de la concentración de soluciones del suelo en ciertos iones, que estén asociados a los cationes comunes de sodio o de calcio. El ion hidrógeno, de esta forma, interviene a este nivel de una manera indirecta como intermediario en el medio reductor u oxidante.

De otra forma se establece que el ambiente físico-químico se utiliza para definir la Subclase. Siendo los elementos principales, la temperatura, la humedad, el estado reductor u oxidante y la concentración de las soluciones del suelo en tal o cual catión. todos estos factores contribuyen en las variaciones anuales, estacionales y muchas veces diarias.

La definición de una Serie debería estar apoyada sobre los criterios de homogeneidad estadística de las características del suelo en dicha Serie. Sin embargo por los pocos estudios sobre este genero, provoco la elaboracion de una definicion tal y como sigue :

Una Serie de suelos, es el conjunto de suelos se que presentan sobre el mismo material original de composicion litologica definida, donde las posiciones en el paisaje son comparables y posee el mismo tipo de perfil (Miramontes. L., 1985).

Los perfiles de suelos de una Serie están agrupados no solamente por la sucesion, el aspecto y la constitucion general de los diversos horizontes, sino tambien por el orden de tamaño y espesor de cada una de las capas, esta orden de espesor esta designado en funcion de la influencia posible de la presencia de un cambio en las propiedades generales de los suelos. Las Series están dominadas de acuerdo al lugar o a estas características.

Apartir de 1956, Duchaufour siguiendo las tendencias de la Escuela Francesa iniciada por Nikiforoff, C. (1930), Demolon, A. (1942), Aubert, G. (1956); aunque modificandola poco a poco, da a la clasificacion una orientacion netamente ecologica. Para Duchaufour, el suelo no puede realmente ser definido fuera del medio ambiente en el cual se ha formado ya que el suelo integra todos los factores ecologicos; clima, vegetacion, material mineral; que segun Segalen, P. (1980), el estado de equilibrio no se alcanza inmediatamente, sino mediante una evolucion rapida o lenta, simple o compleja, pero que siempre esta condicionada por el conjunto de factores del medio.

De este modo, se establece que las características del suelo están relacionadas entre si y dan origen al perfil, del suelo, en el cual cada horizonte esta ligado a los otros por ligas o uniones geneticas.

En este esquema el criterio de clasificacion para la clase de suelos saisodicos parece seguirla misma linea conceptual de Kubiena, W. (1953), la cual manifiesta un criterio de sucesion morfologica; ya que los suelos saisodicos agrupan en una misma categoria a todos aquellos suelos que contienen sales solubles y aquellos suelos en los que no se observan pero que tienen un complejo absorbente dominado por el sodio.

El criterio y caracterizacion de los suelos sal-sodicos dentro del esquema de Duchaufour, P. (1981) se presenta en el cuadro No 4. En este esquema el nivel mas superior trata de ser genetico, ya que se incluye en ella la evolucion, asi como los factores que condicionan dicha evolucion; en los niveles intermedios se caracteriza por su morfologia, y en los inferiores no se sigue un criterio concreto y especifico.

Como puede observarse en el cuadro No 4, a pesar de su claridad y ordenamiento sistemático, presenta ciertas dificultades prácticas sobre todo, en las definiciones insuficientes, evoluciones y con resultados de dichas evoluciones, así como también con las características morfológicas que deberían tomarse en consideración.

Por otra parte al considerarse que los factores del medio así como los tipos de evolución establecen una relación de causa efecto, lo cual es verdad; para este caso (suelos sal-sódicos), parece ser que no se aplicaba regla para su diferenciación interclase y extraclasses, lo cual hace que esta clase de suelos sea inconsistente y que se cometan errores con cierta facilidad si se desconocen las bases fundamentales y principios del sistema en cuestión.

Una de las grandes ventajas de este sistema es la abundante bibliografía disponible sobre los procesos de formación y sus etapas evolutivas, lo que permite que pueda aplicarse al sistema de referencia con cierta facilidad, y sobre todo, adecuarlo según las necesidades metodológicas y objetivos buscados de trabajos específicos de caracterización de suelos sal-sódicos.

En términos generales, podemos manifestar que dentro del presente sistema, la clase de suelo sal-sódico es incompleta y por lo tanto factible de adecuarse.

5.4.- Sistema Cuantitativo.

La comprensión y conocimiento del suelo fundamentada en una base morfológica como integradora del conjunto de características y propiedades diferenciadoras, con el propósito de definir las con precisión en niveles jerárquicos o taxonómicos, se encuentra expresado claramente en el Soil Taxonomy (USDA 1974), cuyos objetivos comprenden entre otros ser la herramienta para la realización de levantamiento de suelos y su interpretación con fines prácticos ordenar el conocimiento de la ciencia del suelo para transferir e intercambiar dicho conocimiento de un lugar a otro (Miramontes, L.E., Topete, A.P., y Copado S.F. 1986).

Numerosos investigadores han recalcado el hecho de que el Soil Taxonomy, ofrece categorías definidas en términos de las propiedades de los suelos y no en base puramente genética, lo cual implica al sistema una dinámica tal que permite superar los obstáculos propios de los sistemas genéticos y ecológicos (Leeper, C.W. 1958; Simonson, F.W. 1962; Gilman, M. 1962; Kellogg, CH. 1961). Ya que como lo manifestó Smith, R. (1960), es obvio que los suelos cuya genética es desconocida o no está perfectamente bien definida no podrán agruparse en sistemas taxonómicos con base genética, para todos los suelos, sin excepción alguna, encontraran cabida en un sistema taxonómico cuyas definiciones estén elaboradas en términos de propiedades del suelo.

Los criterios fundamentales del Soil Taxonomy lo constituyen los conceptos de entidades básicas del suelo, los horizontes de diagnóstico y la nomenclatura de suelos, así como un sustrato claro del avance de la ciencia en las Estados Unidos de Norte América.

Respecto a las entidades básicas, el pedon constituye un elemento de utilidad para relacionar cuerpos de suelos mapeados con las clases de suelos de un sistema general de clasificación, además de la entidad que se estudia en el campo cuando se describen perfiles de suelos y la que se muestra para análisis de laboratorio (Clinné, 1949; 1960; Knox, 1965; Simonson, S. 1962; Jenny, H. 1958; USDA 1975).

Los horizontes de diagnóstico constituyen la pieza maestra del presente sistema, ya que por sí mismos, permiten definir las categorías de suelos en función de sus propiedades, y no a través de procesos o condiciones del medio. De este modo se tiene que la definición de una categoría se basa en un epitome y no en un prototipo como sucede en las clasificaciones genéticas y ecológicas.

La nomenclatura por su parte es totalmente nueva, para los distintos niveles de la clasificación (figura 2 y cuadro No. 5), los nombres son literalmente formados, especialmente del Griego y Latín. Cada palabra se reduce a una sílaba característica la cual denota un significado morfológico de la clase requerida, lo cual le confiere al sistema un importante elemento de combinación particularmente eficaz.

El sistema fue elaborado en categorías (figura No. 2) definidas en términos de sus propiedades medibles de agrupación con genes similar (cuadro No. 6), de tal forma que constituyen unidades coherentes y de fácil retención con el fin de :

- a).- Identificar los individuos objeto de la investigación.
- b).- Organizar la información de la investigación de tal forma que puedan describir relaciones entre la población.
- c).- Formular generalizaciones acerca de la población a partir de estas generalizaciones.
- d).- Aplicar estas generalizaciones en casos específicos que no han sido estudiados directamente.

Los suelos con problemas de sales son definidos en términos de la presencia del horizonte natríco y salíco (figura No. 4); los cuales se caracterizan por manifestar un mecanismo general de formación pluvial, y en particular, los horizontes E natrícos proceden edogenéticamente de un Leasivage asociado a la desalinización. El horizonte E salíco, por su parte, es el resultado del proceso de leasivage y de la salinización (Miramontes, L.E.A., 1987).

Adiferencia de las aproximaciones genéticas y ecológicas, el Soil Taxonomy no reconoce una clase de suelos ensalitrados por sí misma si no que supeedita el proceso elemental a un proceso general, el cual diferencia a varias clases de suelos, de tal forma que el criterio excluyente de clase, está fundamentado en los conceptos creados por el Laboratorio de Salinidad del USDA; el cual no presenta de una manera amplia, basada en solo dos criterios de diferenciación (USSELDA, 1960).

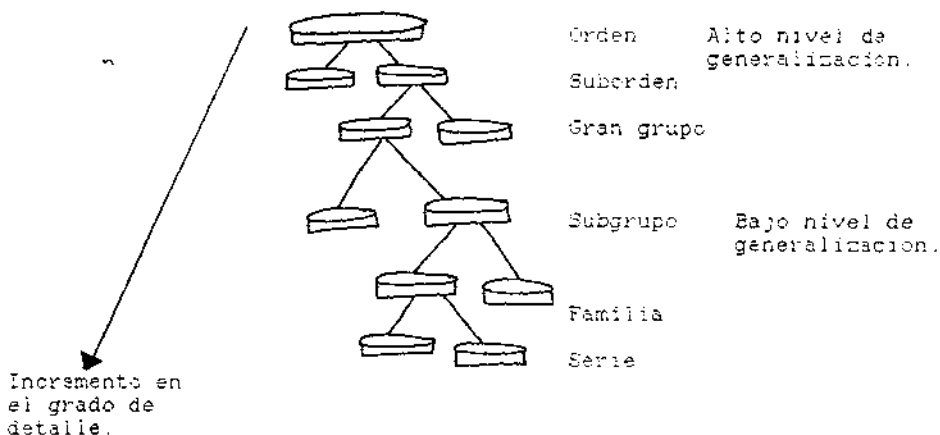
1.- El contenido de sales solubles del suelo, medidas en base a la conductividad eléctrica del extracto de saturación de la pasta saturada de una muestra.

2.- El porcentaje de sodio intercambiable, se obtiene por el porcentaje relativo de sodio absorbido en el complejo de intercambio de la masa de alteración del suelo.

Estableciendo así un esquema de clasificación dimensional, el cual se presenta en la figura 3 y 4.

El esquema dimensional manifiesta ciertas limitaciones que contradicen las bases conceptuales del sistema, ya que por un lado, se ha manifestado que el suelo es un continuo tridimensional (Cline, M. 1949), en el cual los límites son graduales (figura No 5) por lo tanto, un límite intracalse no determina una separación concreta entre tipos de suelos, y por otro lado, los límites de la clasificación están perfectamente bien definidos entre las diferentes clases de suelo.

FIGURA No 3
ESTRUCTURA DEL SISTEMA SOIL TAXONOMY (USDA, 1975)



Si las propiedades morfológicas son la base del Sistema en cuestión, se tiene que el PSI es algo arbitrario, ya que no existen diferencias o cambios drásticos a medida que se incrementa el valor del sodio intercambiable.

Por lo tanto las limitaciones anteriormente señaladas, se ven reflejadas en el sistema clasificatorio, para suelos con problemas de enacidamiento, concretamente.

La clasificación de suelos con problemas de sales en el Soil Taxonomy queda reducido en el cuadro No 5.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

CUADRO No. 3

Definiciones resumidas de las categorías del Soil Taxonomy *

CLASE	DEFINICIÓN
Orden	Presencia de horizontes de diagnóstico.
Suborden	Características ligadas a la humedad.
Gran grupo	Proces pedogenéticos secundarios que dejen huella en horizontes secundarios.
Subgrupo	Variaciones en la dirección e intensidad de los procesos secundarios.
Familia	Características importantes para el crecimiento de las plantas.
Serie	En base a la graduación de la textura del horizonte superficial.

* Tomado del book, S. W., F. Hole, R. Macrahen, 1972.

FIGURA No. 3

Esquema dimensional para clasificar suelos con problemas de sales.
(USDA, 1960)

15 PSI	Suelos Sódicos	Suelos Salino-Sódico
	Suelos Normales	Suelos Salinos

CE X 10 (mmhos/cm)

FIGURA No. 4

Relación entre los horizontes de diagnóstico y el esquema de clasificación.

15 PSI	Horizontes de diagnóstico E natrico	
	Cualquier otro hte. de diagnóstico	Horizonte secundario salino

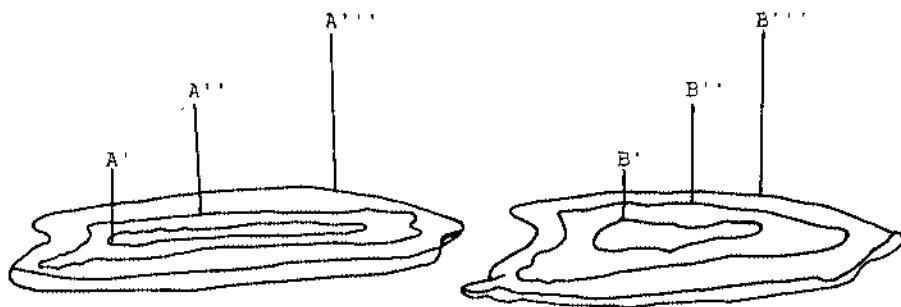
CE X 10 (mmhos/cm).

ESQUEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS ENSALINADOS
SEGUN DUCHAUFOUR, P (1984) . *

CLASE	SUBCLASE	GRUPO	SUBGRUPO
			Suelos alcalinos con complejo calcico. (solonchak calcico: no sodización ni alcalinización).
		Suelos salinos sin sulfatos-reducción por fil AC.	Suelo salino con complejo sódico. (solonchak sódico: sodización y alcalinización moderada).
	SOLOCHAK		Suelo salino reducido (con sulfato de hierro: perfil ACr).
		Suelos salinos con sulfato reducción por fil AC.	Suelo salino oxidado con manchas de herrumbre y sulfatos. perfil ACnCr).
			Autropico Calcico
			Muy Acido
			Suelo alcalino salado
SUELOS SALSODICOS		Suelos alcalinos degradados (solod) perfil ABtc.	Suelo alcalino nada o poco salado.
			Solonetz primario
	ALCALINOS CON ALCALIS	Suelos alcalinos lavados (solonetz) perfil AB ₂ C .	Solonetz secundario
		Suelos alcalinos perfil (B) estructural	Solonetz de Estepa Solonetz de Estepa Solonetz huafiero con capa de agua-oxido. Solod

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO	MEMOTECNIA			
ALFISOL	ACUICO	NATRICO	TIPICO	NATRACUALF TIPICO			
			ALBICO	NATRACUALF ALBICO			
			ALBICO GLOSICO	NATRACUALF ALBICO GLOSICO			
			GLOSICO	NATRACUALF GLOSICO			
			MOLICO	NATRACUALF MOLICO			
			BORREAL	NATRICO	NATRICO	NO SE HAN RECONOCIDO	NATRIBORREAL
						TIPICO	NATRIUDALF TIPICO
						GLOSICO	NATRIUDALF GLOSICO
						VERTICO	NATRIUDALF VERTICO
			USTICO	NATRICO	NATRICO	TIPICO	NATRIUSTALF TIPICO
ACUICO	NATRIUSTALF ACUICO						
PETROCALSICO	NATRIUSTALF PETROCALSICO						
SOLORTHICO	NATRIUSTALF SOLORTHICO						
XERICO	ARGILICO	DURICO	NATRICO	DUFIXERALF NATRICO			
			HAPLICO	HAPLOXERALF NATRICO			
			NATRICO	HAPLOXERALF TIPICO			
		NATRICO	NATRICO	NATRICO	ACUICO	HAPLOXERALF ACUICO	
					NATRICO	PALEPERALF NATRICO	
					TIPICO	NATRARGID TIPICO	
					ACUICO	NATRARGID ACUICO	
					BOROLICO	NATRARGID BOROLICO	
					BOROLICO GLOSICO	NATRARGID BOROLICO GLOSICO	
					DURICO	NATRARGID DURICO	
DURI-XEROLICO	NATRARGID DURI-XEROLICO						
ARIDISOL	ARGILICO	NATRICO	GLOSICO-USTOLICO	NATRARGID GLOSICO USTOLICO			
			HAPLICO	NATRARGID HAPLICO			
			HAPLO-XEROLICO	NATRARGID HAPLO-XEROLICO			
			HAPLO-USTOLICO	NATRARGID HAPLO-USTOLICO			
			LITICO	NATRARGID LITICO			
			LITICO XEROLICO	NATRARGID LITICO XEROLICO			
			USTICO	NATRARGID USTICO			
			TIPICO	NADURARGID TIPICO			
			ACUICO HAPLICO	NADURARGID ACUICO HAPLICO			
			HAPLO-XEROLICO	NADURARGID HAPLO-XEROLICO			
INCEPTISOL	ORTHICO	SALICO	TIPICO	SALORTHID TIPICO			
			ACUICO	SALORTHID ACUICO			
MOLISOL	ACUICO	NATRICO	TIPICO	MALACUEP TIPICO			
			AERICO	MALACUEP AERICO			
			MOLICO	MALACUEP MOLICO			
			VERTICO	MALACUEP VERTICO			
			TIPICO	NATRIACUOL TIPICO			
			TIPICO	NATRIACUOL TIPICO			
			NATRICO	DURACUOL NATRICO			
			TIPICO	NATRIBOROL TIPICO			
			ARIDICO	NATRIBOROL ARIDICO			
			GLOSICO	NATRIBOROL GLOSICO			
USTICO	CRUICO	NATRICO	GLOSICO UNICO	NATRIBOROL GLOSICO UNICO			
			UNICO	NATRIBOROL UNICO			
			LEPTICO	NATRIBOROL LEPTICO			
			NATRICO	CRIBOROL NATRICO			
XERICO	NATRICO	NATRICO	TIPICO	NATRIUSTOL TIPICO			
			ARIDICO	NATRIUSTOL ARIDICO			
			GLOSICO	NATRIUSTOL GLOSICO			
			LEPTICO	NATRIUSTOL LEPTICO			
XERICO	NATRICO	NATRICO	TIPICO	NATRIYEROL TIPICO			
			ACUICO	NATRIYEROL ACUICO			
			ACUICO DURICO	NATRIYEROL ACUICO DURICO			
			DURICO	NATRIYEROL DURICO			
			ARIDICO	NATRIYEROL ARIDICO			

FIGURA No. 5
Representación de dos clases de una población así como de suelos
modales A y B (nucleos centrales).



Aparentemente la similitud entre A''' y B''' pueden ser mayor que el de estos individuos y sus respectivos nucleos centrales A Y B. Sin embargo A''' está dentro de los límites de variación de las características diferenciadoras de la clase A (individuo modal A); igualmente sucede con B'''.

VII .- RECUPERACION DE SUELOS CON PROBLEMAS DE ENSALITRAMIENTO.

7.1.- Recuperación por métodos físicos.
Su recuperación involucra un conjunto de medidas mecánicas bien diferenciadas, siendo las más usuales las siguientes :

7.1.1.- Inversión del perfil.
Objetivo: conservar la capa superficial deseable, mientras se invierte el sustrato y el subsuelo.
Generalidades: Se basa en arropar una capa de suelo de características indeseables con material de mejor calidad, procedente de una capa más profunda.
Adoptado a suelos sódicos, donde se tienen buenas propiedades físicas en la superficie, pero la parte superior del subsuelo es indeseable. No es recomendable económicamente, dado el equipo requerido para desplazar la capa superficial y luego reemplazarla.

7.1.2.- Acondicionamiento de la textura del suelo.
Objetivo: consiste en incrementar directamente la permeabilidad del suelo, basándose en la mezcla de material fino y grueso de capas de texturas diferentes.
Generalidades : esta medida es solo efectiva en la capa arable y con mayor influencia sobre suelos francos, esta adición puede ser incorporada por el barbecho, tratando así de modificar la estructura o en colchones como medida protectora para suelos con niveles freáticos elevados y/o aguas subterráneas salinas.

Este método es muy práctico para suelos superficiales que dificultan el lavado; su costo se deriva de la lejanía de la fuente de arena y su transporte.

7.1.3.- Subsoleo.
Objetivo: considerado como un medio para mejorar los suelos con problemas de sales.
Generalidades: esta medida consiste en abrir canales con arado de subsuelo para mejorar su permeabilidad, y el efecto benéfico persiste solo por un ciclo de cultivo, ya que el subsuelo se rompe momentáneamente y el agua lo vuelve al estado original, a menos que se rompa una capa dura en el horizonte B o capa de carbonato de calcio (CaCO_3), en tal caso los beneficios se prolongan por varios años.

En suelos salino-sódicos arcillosos, el subsoleo anterior al lavado removió al rededor del contenido salino de los primeros 60 cm., durante 3 años, (420) no siendo benéfico del todo por sí solo si no se acompaña con la labranza del suelo, también previo riego con mejoradores como auxiliares ya que esta es solo una medida que mejora las propiedades físicas.

7.1.4.- Labranza o barbecho profundo.
Objetivo: es poner ese yeso o sulfato de calcio en la superficie del suelo y ahastecer de calcio soluble dicha capa, facilitando el desplazamiento del sodio adsorbido por el calcio.

Generalidades: se refiere a un barbecho cuya profundidad varia , es una medida para suelos muy estratificados de diferentes permeabilidades, o que tiene capas impermeables entre capas permeables, asi como en suelos sodicos que contienen cantidades apreciables de yeso o carbonato de calcio a una determinada profundidad del perfil.

La labranza profunda al alterar los horizontes aluviales y transportar el yeso o carbonato de calcio a la superficie, incrementa el contenido de humedad de las capas mas profundas, y la mayor penetración de las raices mejora los procesos bioquimicos del suelo, es decir, acondiciona el suelo de tal forma que facilita la desalinizacion y remosion del sodio dando como resultado un mejoramiento en su estructura y permeabilidad.

7.1.5.- Impermeabilizantes Artificiales.

Objetivo: Disminuir las perdidas de agua por filtracion y aumentar asi la reserva de agua para las plantas, atenuando la presión osmotica de la solución del suelo.

Generalidades: Consiste en colorear capas o peliculas de plastico a una determinada profundidad del suelo, evitando la evaporacion de las capas mas profundas y de aguas subterráneas e impedir la acumulacion de sales en la capa superior a la pelicula de plastico.

Su aplicación practica en suelos salinos sin , riego aunque debe considerarse el gasto que ello ocasiona. Se incorpora como practica más de la recuperacion de suelos ensalitrados cuando la principal fuente de sales es el agua del manto freático.

En el cuadro No 6 se aprecia que a mayor grado de saturacion con sodio, corresponde una mayor dispersion del suelo, que se incrementa especialmente; todo lo contrario puede decirse del ion calcio por lo que es utilizado para desplazar el exceso de sodio adsorbido en el complejo coloidal del suelo; pero el grado de dispersion no disminuye en la misma proporcion en que el sodio es desplazado por el calcio, sino hasta que el porcentaje de sodio intercambiable (SEI) alcanza valores menores al 30% y el grado de dispersion disminuye considerablemente.

CUADRO No. 6 EFECTO DE LA SATURACION CON SODIO Y CALCIO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA FRACCION COLOIDAL DEL SUELO

Grado de saturacion con		Volumen por grano del material después de imbibicion de agua (cm3)	Dispersion (%)	Migracion electrica volt/seg/cm
Na (%)	Ca (%)			
0	100	1.0	2	1.7
5	95	2.0	3	1.9
10	90	2.0	0	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

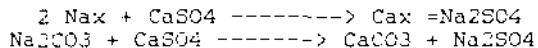
7.2.- Recuperación por Métodos Químicos.

Los métodos químicos se basan en la adición de sustancias y/o compuestos químicos al suelo llamados MEJORADORES o CORRECTORES cuyo fin es proveer de calcio en forma soluble a los suelos con problemas de sodio y neutralizar su pH, reaccionar con el Na₂CO₃ libre y reemplazar al sodio adsorbido en las partículas de la fracción coloidal.

7.2.1.- Tipos de mejoradores.

Sales Cálcicas Solubles.

Yeso (Ca SO₄ . 2 H₂O); mineral que en forma pura contiene 23.2% de Ca; 18.06% de S; y 20.9% de H₂O, es uno de los más usados por su bajo costo. Su aplicación en el suelo sódico implica las siguientes reacciones:



Para evitar su reversibilidad debe lixiviararse el Na₂SO₄.

La única desventaja que presenta el yeso es su baja solubilidad en agua, requiriendo gran cantidad de ella para su efectividad.

La rapidez de reacción con el sodio intercambiable queda limitada por su solubilidad.

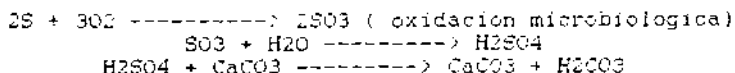
Es de esperarse que a mayor pureza y finura, el calcio del yeso sea más frecuente y efectivo al reemplazar al sodio intercambiable.

Cloruro de Calcio (CaCl₂ . 2 H₂O) es una sal altamente soluble y su pureza excede del 95%, muy eficaz como mejorador, con el inconveniente de su costo elevado que impide su uso a nivel de campo.

Tipos de sales cálcicas solubles: CaO, Ca(OH)₂, Ca(NO₃)₂; pero de poca utilidad o uso común.

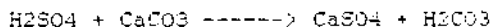
Acidos y Formadores de Acidos.

Azufre (S) usualmente se aplica en su forma elemental, con una pureza que varia del 50 al 99% o mas y es insoluble en agua. Su aplicacion requiere que el suelo contenga al menos 1% de CaCO₃ para efectuarse las siguientes reacciones:



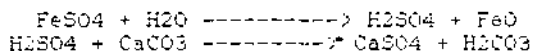
Para el uso de este mejorador se requiere que el contenido de CaCO₃ en el suelo sea suficiente para formar CaSO₄, cuando el azufre se oxida y reacciona, forma H₂SO₄, CaSO₄ y Na₂SO₄, menos perjudiciales para las plantas y disminuye la alcalinidad del suelo.

Acido Sulfúrico (H₂SO₄), es un mejorador químico, liquido con una pureza aproximada del 93%, altamente corrosivo, por lo que no se recomienda su uso en agua de riego.

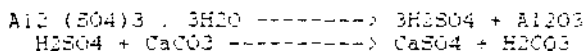


Los inconvenientes para su uso son : el costo relativamente elevado, la severidad con que ataca las particulas del suelo, su manejo debe ser por un operador experimentado y equipo especial de aplicacion.

Sulfatos de Hierro y Aluminio (FeSO₄ . 7H₂O y Al₂(SO₄)₃ . 3H₂O). El sulfato ferroso es soluble en agua, solido y granular, con alto grado de pureza y su reaccion se incrementa en suelos humedos; contiene 12% de azufre, cuando reacciona forma yeso y óxidos de hierro, actuando como agentes cementantes del suelo y fuente de hierro para las plantas, las reacciones son las siguientes :



Es un excelente mejorador, pero su costo es elevado. El sulfato de aluminio, es mas efectivo que el sulfato de hierro par remplazar al sodio adsorbido. Las reacciones correspondientes en presencia de agua y carbonato de calcio son :



Los inconvenientes para su uso son : el costo elevado y su efecto toxico residual del aluminio sobre las plantas.

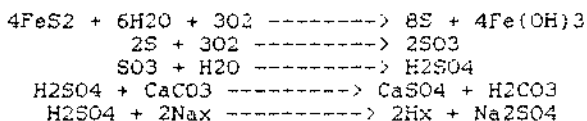
Polisulfuro de Calcio (CaS₂), es un liquido de color cafe de reaccion fuertemente alcalina, contiene de 13 a 24 % de azufre y 6 % de calcio, es conveniente su aplicacion con el agua de riego pues no es corrosivo y su reaccion en el suelo es la siguiente :



reaccionar el H₂SO₄ con el CaCO₃ del suelo de forman dos moléculas CaSO₄ , su oxidación es tan lenta como la del azufre.

Vinasa, residuo de destileria del alcohol con un pH que varia de a 5.0 , por lo cual se utiliza para neutralizar la alcalinidad del suelo y solubilizar el CaCO₃ en los suelos sódicos.

La pirita (FeS₂), compuesto azufrado, su finalidad es formar H₂SO₄ que reaccione con el CaCO₃ del suelo y movilizar así el calcio reaccionar directamente con el sodio adsorbido que se muestra en las siguientes reacciones :



Compuestos Cálcicos de baja solubilidad.

La caliza (CaCO₃) y la dolomita (CaCO₃.Mg CO₃), compuestos muy semejantes e importantes ; la caliza obtenida de depósitos marinos, poco soluble, por lo que su uso queda restringido a dos propiedades del suelo : el contenido de CaCO₃ y al valor del pH . su composición química promedio se muestra en el cuadro No 7.

Respecto a la primera, es requisito que el suelo éste libre de CaCO₃ para que la caliza pueda ser utilizada como mejorador ; en cuanto a la segunda su uso queda determinado por el pH del suelo. En suelos sódicos son muy alcalinos por tal motivo, la aplicación de caliza de estos suelos es virtualmente inútil, para proporcionar una rápida recuperación.

Para presentarse las condiciones adecuadas para su utilización se llevan a cabo las siguientes reacciones en el suelo ;



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

Otros tipos de mejoradores o acondicionadores para suelos con problemas de sodio.

Para considerar que los mencionados mejoradores requieren de tiempo considerable para construir una buena estructura, se ha ideado el uso de varios acondicionadores y mejoradores, entre otros se mencionan los siguientes:

C R D - 186 o "Krillium", acondicionador del suelo vendido a nivel comercial. 186 es un polímero del carboxilato de calcio, 189 es una sal de sodio los cuales al ser asperjados y mezclados en el suelo facilitan la agregación, incrementando la permeabilidad en suelos sódicos.

Carbon activado, preparado con cationes sobre su superficie, cuando al carbon se le agrega H^+ disminuye la alcalinidad del suelo y la de la solución.

El carbon Ca^{++} ha dado buenos resultados en el desplazamiento del sodio adsorbido en el complejo de intercambio del suelo.

Aunque se han hecho pruebas en laboratorios con excelentes resultados, éste compuesto esta todavía en proceso de estudio para su utilización máxima en el campo.

El flotal, este compuesto es una mezcla acidificante del material orgánico y óxidos hidratados de hierro, del cual en el laboratorio se tienen resultados promisorios para uso en suelos sodicos.

CUADRO No. 7
Composición química media de la caliza agrícola.

Constituyentes de la caliza agrícola	Contenido
Carbonato de calcio ($CaCO_3$)*	75.4 %
Carbonato de magnesio ($MgCO_3$)	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
Molibdeno (Mo)	1.1 ppm
Boro (B)	1.0 ppm

*La caliza se identifica como $CaCO_3$, debido a que este es el constituyente de mayor proporción.

CUADRO No. 8
Solubilidad del carbonato de calcio ($CaCO_3$) a diferentes valores de pH (De Sigmond , citado en 131).

pH	meq/l de $CaCO_3$ solubilizado
6.21	19.3
6.50	14.4
7.12	7.1
7.81	2.7
8.60	1.1
9.20	0.82
10.12	0.36

7.2.2.- Elección del mejorador.

Factor económico.- Se debe considerar el costo de un mejorador en función de la pureza y cantidad neta aportada.

Factor tiempo.- Se debe considerar la rapidez con que los diferentes materiales recuperan un suelo independientemente de su costo comercial y, en base a ello y al tiempo deseado de recuperación, realizar el balance para elegir el material más adecuado.

Factor suelo.- Dos propiedades que definen el uso de determinado mejorador son:

El valor del pH.

El contenido de carbonatos alcalinotérreos.

Suelos con carbonatos alcalinotérreos, con problemas de sodio se recomienda la aplicación de sales cálcicas solubles, ácidos y formadores de ácidos, excepto compuestos de baja solubilidad.

Suelos con carbonatos alcalinotérreos y con un pH mayor de 7.5, se recomienda la aplicación preferentemente de sales cálcicas solubles, como la caliza y el yeso respectivamente, ya que los ácidos y formadores de ácidos acidificarán innecesariamente más, un medio que ya es propicio para las sales propuestas.

La aplicación de ácidos y formadores de ácidos solo disminuye el pH.

CUADRO No.9

Cantidad de mejorador requerida para suministrar una tonelada de calcio soluble.

Mejorador	Pureza * en %	Ton. de mejorador requeridas para suministrar una ton. de calcio soluble.
Yeso (CaSO ₄ .2H ₂ O)	100	4.30
Azufre (S)	100	0.80
Cloruro de calcio (CaCl ₂ .2H ₂ O)	100	3.70
Caliza (CaCO ₃)	100	2.50
Acido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	95	2.60
Sulfato de hierro(FeSO ₄ .7H ₂ O)	100	6.95
Sulfato de aluminio.	100	5.55
((Al ₂ SO ₄) ₃ . 18 H ₂ O)		
Polisulfuro de calcio (CaS ₅)	24**	3.250

* Cuando la pureza sea diferente a la expresada, deberán seguirse los dos pasos siguientes: Dividir el porcentaje de pureza del material en el cuadro, entre la pureza real del material, y después multiplicar el cociente obtenido por el número de toneladas que indica el cuadro para el material elegido.

** Porcentaje de la pureza en base al contenido de azufre.

Como mejor ilustración del uso del cuadro anterior, basta decir que para suministrar una tonelada de calcio soluble se necesita aplicar 4.3 toneladas de yeso al suelo o 2.6 toneladas de ácido sulfúrico; de ahí que lo que debe compararse son los costos de los materiales en igualdad de aportaciones.

Disponibilidad local del mejorador.- el requisito deseado es, que en la recuperación se tiene que optar por la adquisición del mejorador que localmente exista.

7.2.3.- Eficiencia de los mejoradores.

El yeso es el mejorador más comúnmente empleado porque satisface todas las necesidades o requisitos deseados, le sigue el azufre y luego el ácido sulfúrico.

7.2.4.- Metodología para determinar la cantidad de mejorador por aplicar a un suelo con problemas de sodio.

Se utilizan dos métodos los cuales se describen a continuación: sodio intercambiable.- el cual se basa en el conocimiento de las siguientes características del suelo.

- CIC (Capacidad de intercambio cationico)
- SI (Sodio intercambiable)
- PSI (Porcentaje de sodio intercambiable)
- Dap (Densidad aparente del suelo)
- Contenido de Na_2CO_3 en la solución del suelo (si lo hay)

La capacidad de intercambio cationico (CIC) .- se determina por el método del acetato de amonio, no obteniéndose siempre el total de los cationes adsorbidos en el suelo original. Por lo tanto con suelos fuertemente alcalinos, el porcentaje de sodio adsorbido, basado en la CIC es determinada erróneamente.

Otro método más sencillo es utilizar los datos ya calculados del cuadro No. 10, ya que solo basta conocer los meq. de sodio /100 grs. de suelo por desplazar; considerando un 100 % de pureza del mejorador.

La limitación de este cuadro es que sus valores solo son válidos para un determinado valor de la densidad aparente del suelo.

Método de requerimiento de yeso.- es un ensayo rápido para valorar los suelos con problemas de sodio, basado en la adición al suelo, de una solución saturada de yeso a una muestra de suelo problema, en donde la pérdida de calcio o la diferencia en la concentración es la medida directa del yeso necesario para reemplazar al sodio del complejo de intercambio, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R = (CA + CM)^2$$

R - requerimiento de yeso en meq / 100 grs. de suelo.
 CA - concentración de calcio de la solución agregada en meq / l.
 CM - concentración de calcio + magnesio del filtrado en meq / l.

Si un miliequivalente de yeso desplaza a un miliequivalente de sodio, la cantidad de miliequivalentes de yeso será igual a los miliequivalentes de sodio por desplazar en 100 grs. de suelo; este método presenta varias ventajas :

CUADRO No. 10

Cantidades requeridas por Ha / 30 cm. de profundidad para reducir el sodio intercambiable a 10 % o menos en el complejo de intercambio del suelo.

	Toneidades requeridas de los mejoradores por Ha/ 30 cm. de profundidad.					
	Yeso	Azufre	FeSO4 7 H2O	CaCO3**	CaCL2 2 H2O	CaS5
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	17.790	15.600
7	23.450	4.360	37.905	13.650	20.055	18.200
8	26.800	4.980	43.320	15.600	22.920	20.800
9	30.200	5.600	48.735	17.550	25.785	23.400
10	33.400	6.230	54.150	19.500	28.650	26.000

- Bajo el supuesto cien por ciento de pureza de los materiales.

** CaCO3 requerido para reaccionar con el FeSO4, si el suelo tiene CaCO3 libre.

** Con 23 a 24 % de azufre y 6 % de calcio.

-Solo se requiere de un análisis que es rápido.
-El requerimiento de yeso tiene la ventaja de cuantificar automáticamente los carbonatos de sodio libres en la solución.
-Este procedimiento automáticamente toma en consideración al yeso existente en el perfil.

La desventaja es que esta metodología cuantifica todo el sodio desplazado por el calcio, sin establecer límites para disminuir el PSI a un nivel específico.

7.2.5.- Consideraciones sobre las dosis determinadas.

La abundancia de experiencias, obliga a explicar hasta que punto es eficiente aplicar el requerimiento del mejorador en su 100 % y compararlo con sobre dosis o con fracciones de las dosis calculadas.

Dado que no es práctico extrapolar datos y si experiencias, sería recomendable que en México se experimentara la eficiencia relativa de dosis menores de la normal, lo que facilitaría el uso de mejoradores a mayor escala de la actual desde el punto de vista del costo de la recuperación.

7.2.6.- Metodología de aplicación de los mejoradores.

Este problema está intimamente ligado a la naturaleza de cada mejorador, ya que incluye además de su aplicación física, colocación, profundidad y fraccionamiento de la dosis aplicable.

Aplicación : yesos, cloruro de calcio, ácido sulfúrico, sulfato de hierro, sulfato de aluminio, azufre y caliza.
Todos éstos mejoradores se aplican al suelo directamente, a excepción del ácido sulfúrico que es corrosivo.

En lo concerniente a la colocación, profundidad y el fraccionamiento se tienen los siguientes datos experimentales; existen varias maneras de aplicar los mejoradores entre otras están las siguientes :

a.- Aplicaciones superficiales : al voleo, en cajetes, en surcos / en el agua de riego.

b.- Aplicaciones incorporadas a la capa arable del suelo.

c.- Aplicaciones a profundidades específicas (por ejemplo directas al horizonte sódico).

Otro tipo de aplicación efectiva, se realiza en soluciones diluidas en el agua de riego, en cuanto a la profundidad de aplicación se han usado varias técnicas de aplicación de donde se obtienen resultados significativos, por esta razón se ha propuesto la siguiente regla general .

Cantidades mayores de 3 ton/ha deben mezclarse, a mayor cantidad de mezcla.

Cantidades menores de 3 ton/ha la aplicación es en la superficie.

En lo relativo a la aplicación fraccionada del mejorador, se tiene la experiencia de que aplicado en etapas e incorporándolo se obtuvo mayor desplazamiento de sodio, que cuando se aplico en una sola vez.

CUADRO No. 11

Valores del coeficiente L.

Densidad aparente	Profundidad de recuperación en centímetros				
	0-15cm.	0-20cm.	0-25cm.	0-30cm.	0-60cm.
1.1	16.5	22.5	27.5	33.5	66.0
1.2	18.0	24.0	30.0	36.0	72.0
1.3	19.5	26.0	32.5	39.0	78.0
1.4	21.0	28.0	35.5	42.0	82.0
1.5	22.5	30.0	37.5	45.0	90.0
1.6	24.0	32.0	40.5	48.0	96.0
1.7	25.5	34.0	42.5	51.0	102.0
1.8	27.0	36.0	45.5	54.0	108.0
1.9	28.5	38.0	47.5	57.0	114.0
2.0	30.5	40.0	50.0	60.0	120.0

CUADRO No.12

Equivalencia del yeso, con respecto a otros mejoradores.

Mejoradores	Equivalencia
Yeso - ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	1.0
Cloruro de calcio - $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.85
Caliza - CaCO_3	0.58
Sulfato de hierro - $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.62
Sulfato de aluminio - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	1.29
Azufre (S)	0.19
Acido sulfúrico - H_2SO_4	0.57

* Tomando el cien por ciento de los materiales.

7.2.7.- Efectos específicos de los mejoradores químicos.

- Efectos sobre la infiltración, permeabilidad y percolación del agua en el suelo.
- Sobre la disponibilidad de agua para las plantas.
- Sobre la agregación y estructura del suelo.
- Sobre la microflora del suelo.

Consideraciones : Cuando se planea la recuperación de una área salinizada deben tomarse en cuenta los siguientes puntos.

1.- Identificación del problema, mediante análisis químico así como definirlo salino-sódico, o sódico no salino.

2.- Localizar la fuente u origen del problema y tomar las medidas para combatirla.

3.- Hacer pequeñas pruebas de avance en el campo, laboratorio y/o invernadero antes de decidir el uso de los métodos químicos.

4.- Para la aplicación del método químico, se consideran los siguientes pasos generales :

Nivelar el terreno para facilitar el manejo del agua de riego.

Regar el terreno si está muy seco; para facilitar la labor de incorporación del mejorador, así como también mantener una humedad favorable para la solubilidad del corrector.

Para elevar la eficiencia en los costos, se recomienda su aplicación en zonas o áreas visiblemente afectadas y no en toda el área.

Tomar en consideración el PSI del suelo, ya que cuando este es mayor del 25 al 90 % o más del calcio del mejorador, desplaza al sodio intercambiable durante la lixiviación, y que, a valores de PSI menores de 10 %, menos del 50 % de calcio desplaza al sodio intercambiable.

No olvidar que la eficiencia del mejorador depende en gran medida de la cantidad de agua y el método de lavado utilizado; de ahí que los métodos hidroténicos se reflejen en la eficiencia de los métodos químicos, pues ambos son complementarios en la recuperación de suelos con problemas de sodio.

7.3.- Recuperación por Metodos Hidroténicos.

Estos comprenden el lavado y el drenaje. El lavado es un metodo específico por excelencia para suelos salinos y como caso especial para suelos sodicos ricos en carbonato de calcio o sulfato de calcio. En los suelos con problemas de ensalitramiento el drenaje artificial controla la profundidad del nivel freático, la importancia del drenaje reside en que el lavado pierde su efectividad si las sales no son removidas del área afectada; actuando con mejores resultados el mejorador.

7.3.1.- El lavado en la recuperacion de suelos con problemas de ensalitramiento.

El lavado consiste en la eliminacion de sales de la zona radicular por medio de agua aplicada al suelo, en cantidad suficiente para ello. Este método tiene primordial importancia ya que el agua aplicada genera disminuyendo su efecto sobre los suelos y las plantas.

En el caso de los suelos sodicos ricos en CaCO_3 o CaSO_4 al agregarles agua se solubilizan estas sales llevando calcio en la solución y reemplazando al sodio intercambiable.

7.3.2.- Metodos de aplicación del agua de riego.

Por inundación : total o parcial.

Presurizados : aspersion y goteo.

Ascenso capilar: (subirrigación).

Debe quedar bien claro que existen dos clases de lavado.

Lavado profilático : Necesario para desalinizar suelos muy salinos, hasta un nivel aceptable para los cultivos.

Lavado de control :

Proceso continuo de adición en cada riego de un exceso de agua, más alla de un uso consuntivo, lámina de riego o fracción de lavado.

CUADRO No.13

Efecto de la lámina de lavado sobre la disminución de sales en el porcentaje.

Lámina total	Disminución del total de sales (%)
20cm.	33
40cm.	49
60cm.	61.3
80cm.	66.7

Método por inundación parcial.- Solo se aplica para lavados de control, en áreas de baja salinidad, ya que el contenido de las sales en suelos forman dos movimientos.

Hacia abajo, en el fondo del surco.

Hacia arriba en el borde o cabecera del surco, dando una acumulación de sales en los bordos.

Método por goteo.- Es un método más adecuado para el riego que para el lavado, podría solo aplicarse a lavados de control, ya que solo elimina las sales hasta donde llega el " llamado bulbo de mojado " .

Método por aspersión .- Excelente método de lavado, genera un mojado intermitente, con uniforme penetración, lava a bajas intensidades y a bajos contenidos de humedad, requiere de menos agua y se puede utilizar en áreas irregulares, utilizable en ambos tipos de lavados profiláctico y de control. La desventaja es su costo y la necesidad de energía ya que el agua requiere de impulso.

Método por subirrigación : Funciona según los principios de capilaridad y difusión, no se recomienda como método de riego para terrenos ensalitrados ni mucho menos para lavados .

Método por inundación total : Efectivo en problemas de salinidad áreas, por excelencia para lavados profilácticos. Eficiente para áreas planas utilizando bordes de 0.45 ~ 1.20cm., donde pueden ser arriegos o cajetes adecuados para evitar un mojado heterogéneo.

7.3.3.- Selección del método .

Como en consideración los siguientes puntos:

- Cultivo por establecer (en surcos o de cobertura) .
- Topografía del área por recuperar.
- Cantidad y calidad del agua disponible.
- Textura del suelo.
- Velocidad de infiltración.
- Condiciones climatológicas.
- Condiciones de drenaje.
- Costos.
- Localización y condiciones de ensalitramiento del suelo.

Se ha sugerido al método por inundación total como el más recomendable para lavados profilácticos y para lavados de control en cultivos de cobertura. Respecto a las restantes, solo el de aspersión sería recomendable.

7.3.4.- Determinación de la lámina de lavado.

a.- Para suelos salinos, existen tres tipos de metodologías para emplear .

- 1.- Métodos de laboratorio.
- 2.- Métodos analógicos.
- 3.- Ecuaciones empíricas.

Método de laboratorio.- entre estos se encuentra el llamado "Curvas de Lavado de Van der Molen", que es el movimiento y adsorción de sales; el cual utiliza cilindros de 50 a 70 cm., de longitud, los cuales se llenan de suelos problema, adicionando una lámina constante de 10 cm., expresando los resultados en una gráfica, la cual relaciona la conductividad eléctrica (CE), y la lámina total drenada a diferentes profundidades del suelo. Las curvas solo son válidas para el suelo y las condiciones salinas bajo las cuales se estableció la relación.

$$LR = 100 \frac{Ddw}{Dlw} \cdot \frac{CE \ 1 \ w}{CE \ dw}$$

dw - lámina del agua drenada (cm.).

lw - lámina del agua aplicada (cm.).

lw - CE del agua aplicada (mmhos/ cm.).

dw - CE del agua drenada (mmhos/ cm.).

R - porcentaje de la lámina de riego que mantendrá cierta salinidad deseada en la zona de las raíces.

Prueba de laboratorio : se preparo el suelo-problema en una columna y se le aplicó una lámina de riego de 30 cm., con una CE x 0.3 = 1.4 mmhos/cm.

El agua percolada tuvo una CE x 10.3 = 4.2 mmhos/cm.

$$LR = CE_{lw} \times 100 \quad LR = 1.4 \times 100 = 33.3 \% \quad \text{o sea}$$

3.3 % de 30 cm., que es la tercera parte y equivale a 10 cm., por lo que la lámina total sería :

$$L_t = L_r + LR ; L_t = 30 + 10 = 40 \text{ cm.}$$

resultando una lámina de 40 cm., que asegura el riego y el lavado.

Métodos analógicos.- éste método se utiliza para predecir el destino de las sales cuando se aplique una determinada lámina de lavado. Esta metodología usa una simulación de las condiciones de suelo y agua, aplicandose a perfiles afectados por las sales.

Modelo típico de Bressier. Desarrolló un modelo para describir la distribución de las sales no adsorbidas en el perfil del suelo en respuesta a varias condiciones de riego.

Modelo basado en la Ley Conservación de Masas. los parámetros considerados son : suelo-agua, salinidad inicial, humedad en cada capa del suelo, así como la cantidad y calidad del agua aplicada.

Agua + sales en x capa - lavado y sales absorbidas por la planta.

Sales en el perfil

$$VC = VD - Sp = (C^*1 - C^*0) Ax \dots\dots(1) \text{ en donde}$$

- V = Lámina de riego aplicada (mm).
- C = Concentración salina del agua de riego (me/l).
- Ax = Grosor de la capa del suelo en cuestión (mm).
- Vd = Lámina que drena de la capa del suelo considerada (mm).
- Cd = Concentración promedio del agua de drenaje (meq/ l).
- Sp = Cantidad de sales absorbidas por las plantas por unidad área del suelo (meq/ m2).
- 0 = Contenido de humedad actual de la capa considerada (cm3/cm3).
- C*0= Concentración promedio inicial en la solución del suelo al contenido de 0 de humedad (meq/l).
- C*1= Concentración promedio de la solución del suelo al contenido de 0 después de la aplicación de un riego y antes del próximo riego (meq/l).
- E = Deficiencia de la humedad del suelo por encima de la capacidad de campo, de la capa en cuestión (mm.).

Esto es válido si la cantidad de agua drenada (Vd), es menor los veces que el contenido de la humedad de esa capa .

V* = 0 Ax de la ecuación (1), y representa la cantidad en la capa , considerada a un contenido de humedad (mm).

En la ecuación :

$$VC - (V-E) Co + C1 = \frac{(C1 - Co) V^*}{2} \dots\dots (2)$$

Si la (V-E) 2V*, entonces la ecuación (2) se transforma en :

$$VC - 2V^* Co + C1 - (V-E-2V^*) C1 = (C1 - Co) V^* \dots\dots(3)$$

quedando:

Donde (V-E-2V*) representa la cantidad de agua de drenaje que ha excedido en dos veces el contenido de humedad de la capa de suelo de suelo involucrada.

$$\text{Si } V < E ; \text{ entonces } (V-E) = 0$$

Tangi ; Donnen y Ferry , desarrollaron otros modelos, simulando suelos muy estratificados, conteniendo exceso de sales solubles y/o nro.

Concluyendo se puede decir que los métodos análogos para determinar lámina de lavado y predecir el movimiento de las sales, han dado buen resultado y su eficiencia depende de la reproducción del fenómeno en el modelo.

.- Ecuaciones empíricas. Las ecuaciones expuestas fueron ordenadas de acuerdo al criterio de aplicación, esto es ecuaciones para condiciones tanto de drenaje abierto como subterráneo, para la determinación de la lámina de lavado se ha generado gran cantidad de ecuaciones para las más diversas condiciones del suelo, en base a experiencias de primera mano, criterios empíricos y principios físicos.

ecuaciones para lavados profilácticos.

osov. $M = FC - m + n FC$ donde:

- = Cantidad de agua necesaria para eliminar el problema de ensalitramiento (m^3/Ha).
- C = Contenido de agua a capacidad de campo (m^3/Ha).
- = Reserva de agua en el suelo antes del lavado (m^3/Ha).
- = Coeficiente que varía entre 0.5 y 2.0 dependiendo de la salinidad y composición mecánica del suelo.

La mayor salinidad y la peor composición mecánica del suelo será el valor mayor de n , esto es 2.0.

Esta ecuación es para una recuperación radical en base a umedades del suelo, condiciones de salinidad y composición mecánica del suelo.

Volobuev . $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ donde :

- = Lámina de lavado (m^3 / ha).
- 1 = Cantidad de agua requerida que penetra en el suelo superior a la capacidad de campo * (m^3 / ha).
Esto es : $Q_1 = M-n$
- 2 = Capacidad de campo.
- = Reserva natural de humedad del suelo.
- 2 = Cantidad de agua requerida para llevar al suelo de la CC arriba de la capacidad total. (m^3 / ha), esto es :
 $Q_2 = P - M$
- 3 = Cantidad de agua que filtra através del suelo después de su completa saturación (m^3 / ha).

Kouda 1957 (131) , estableció la siguiente ecuación para determinar la lamina de lavado .

$Y = nL . n_2 . n_3 . 400 X + 100$ donde :

- Y = Lámina de lavado (mm).
- L = Promedio del contenido de sales en los dos metros del perfil (%).
- n1 = Coeficiente que depende de la composición mecánica del suelo.

arenoso $n_1 = 0.5$
 francos $n_1 = 1.0$
 arcillosos $n_1 = 2.0$

n2 = Profundidad del nivel freático entre :

1.5 - 2.0 m ---- $n_2 = 3$

2.0 - 5.0 m ----- n2 = 1.5

5.0 - 10.0 m ----- n2 = 2.0

n3 = Salinidad de las aguas subterráneas.

Debil o media - n3 = 1.0

Fuerte - n3 = 2.0

Muy fuerte - n3 = 3.0

Otra de las ecuaciones de Volobuev 1960 (408), expresa la relacion general de la cantidad de agua y el grado de salinizacion .

$$N = K \log \left(\frac{S_i}{S_o} \right) \quad a ; \text{ donde}$$

N = Dosis de lavado (m3 /ha).

K = Coeficiente de proporcionalidad, basada sobre una norma de riego 10,000 m3/ha .

Si = Contenido de sales en el suelo (% o ton./ha) de acuerdo al cultivo.

So = Contenido permisible de sales de acuerdo a la tolerancia del cultivo.

a = Parametro que depende de la salinidad del suelo y de la proporción de cloruros en esa sal.

CUADRO No.14

Lámina de lavado (m3) calculada en base al grado y tipo de salinidad y composición mecánica del suelo por lavarse.

Composición salina (% del residuo de sodio en la capa de 0-100cm)	Cloruro (Cl=40-60% del Res.Sol)	SO4 =Cl (Cl=25-35%) del Res.Sol	SO4 = Na + (Cl= 10-20%)	SO4 = Na+ Ca2 +
Si	So=0.3	S=0.3	So=0.4	So= 1.0
Suelos medio estratificada,	arcillosos	con	estructura	heterogénea
teniendo una	similar velocidad de extracción de sal.			
	a=0.92	a=1.02	a=1.12	a=1.48
0.2-0.5	4000	3000	1000	-----
0.5-1.0	6500	3500	4000	-----
1.0-2.0	4500	8500	7500	4500
2.0-3.0	11000	10000	9500	7000
3.0-4.0	12000	11500	11000	9000

Continuación del cuadro No. 14.

Suelos con composición mecánica ligera.

	a=0.62	a=0.72	a=0.82	a=1.18
0.2-0.5	2500	1500	1000	-----
0.5-1.0	4500	4000	3300	-----
1.0-2.0	6500	6000	5500	4000
2.0-3.0	7500	7000	6500	5500
3.0-4.0	8500	8000	7500	7000

Migajones o arcillas con baja velocidad de extracción de sal.

	a=1.22	a=1.32	a=1.42	a=1.78
0.2-0.5	5000	3000	1500	-----
0.5-1.0	8500	7000	5500	5500
1.0-2.0	12000	11000	10000	5500
2.0-3.0	14500	13000	12000	8500
3.0-4.0	15500	15000	14000	11000

Volobuev elaboro el cuadro No. 14 para determinar la lámina de lavado en base a su ecuación.

La anterior ecuación modificada queda de la siguiente manera:

$$N = a \log \left(\frac{S_i}{S_o} \right) \quad \text{donde :}$$

N = volumen de lavado a un metro de profundidad (m³ /ha).

S_i = contenido de sales en el metro de profundidad de suelo (% ton/ ha.).

S_o = contenido permisible de sales de acuerdo a la tolerancia del cultivo.

Ecuaciones para lavados de control.

Robinson y Kemper desarrollaron un método para remover las sales de la zona radical por lavado con agua en base al enunciado siguiente :

"El promedio de la concentración de sales en la zona radical no cambia apreciablemente si el volumen del agua de riego (D_i) y su concentración de sales (C_i) es igual al volumen de agua drenada del suelo (D_d) y la concentración salina (C_d) de esa agua "

$$D_i C_i = C_d D_d \quad \text{-----(1)}$$

$$D_i R = D_d = V.C. + -R \quad \text{-----(2)}$$

El conocimiento de la cantidad de agua de drenaje necesaria para remover las sales, es un requisito para reafirmar la cantidad de riego requerida en (1).

$$D_i = C_d D_d \frac{C_i}{C_1} \text{-----}(3)$$

La ecuación (2) se puede transformar en una ecuación explícita para los requerimientos de drenaje para remover las sales.

$$D_d = \frac{V \cdot C}{C_d / (1 - 1)} \text{-----}(4)$$

Con esta ecuación se busca determinar la cantidad de agua necesaria para los cultivos y mantener una baja salinidad através de la zona radical.

Al verificarse los requerimientos de lavado, estimado de la ecuación se necesita agregar un exceso de agua al (U.C.) y (R) estimados, la cantidad necesaria para limitar la salinidad en la zona radicular a concentraciones menores o iguales de 8 mmhos/cm., fué computada para uso consuntivo (U.C.), (R), y salinidad del agua de riego, bajo el supuesto de tener parcelas completamente homogéneas.

Reeve 1957 (305), expresa la relación entre la profundidad del agua aplicada, la profundidad del suelo y la concentración promedio de sales antes y después de la lixiviación o lavado.

Ejemplo: Se quiere reducir el contenido inicial de sal a un 20%, o sea 0.2, la lixiviación requerida será :

$$D_w/D_s = \frac{1}{5 C_f/C_i} + 0.15 \qquad D_w/D_s = \frac{1}{5(0.2)} + 0.15 = 1.15 D_w/D_s$$

$C_f/C_i = 0.2$ lixiviación requerida.

Por lo tanto para cada metro de profundidad de suelo se requiere una lámina de 1.15 mts., para reducir el contenido salino inicial hasta el 20% .

D_w = lámina de agua para lixiviación requerida.

D_s = profundidad del suelo lixiviado.

C_i = promedio del contenido inicial de sal en el suelo.

C_f = promedio del contenido final de sales en el suelo.

L = requerimiento de lavado de agua de riego.

En la práctica sucede que primero se determina la relación D_w/D_s a la C_i en laboratorio; para luego determinar C_f , según la derivación de la ecuación anterior.

Todas las ecuaciones similares descritas, para que sean válidas

suponen :

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

- Que las cosechas y las lluvias no remuevan las sales del suelo.
- Que no haya precipitación de sales en el suelo, como CaSO_4 , CaCO_3 y MgCO_3 .
- Que la aplicación del riego sea uniforme y el drenaje adecuado.

Aun con estas limitantes las ecuaciones descritas anteriormente son muy útiles y prácticas para mantener un balance de sales favorable.

7.3.5.- Factores que afectan la determinación de la lámina de lavado.

- 1.- Concentración salina del agua de riego, a mayor cantidad de sales en el agua de riego ; mayor será la dosis requerida de lavado , ver Cuadro No. 15 .
- 2.- Metodos de aplicación , varios trabajos han comprobado que si se mejora la eficiencia en el método de lavado, se ahorra agua.
- 3.- Efectos del clima , factor determinante sobre la lámina de lavado, por medio de sus componentes : precipitación temperatura y viento.

El primer y tercer componente deben tomarse en cuenta para modificar la lámina por aplicar ya que se ha observado que en una zona si se aplica la misma lámina de riego y el método de aplicación, pero donde la precipitación sea deficiente o diferente, se observa acumulación de sales en los años de menor cantidad de lluvia.

El efecto de la temperatura corresponderá a mayor evaporación, y por ende mayor movimiento capilar y salinización de la capa superficial lo que al final reducirá en una mayor concentración de sales por desplazar.

- 1.- Nivel de salinización que se desea mantener en el suelo.
- 2.- Cantidad límite de mejorador, cuando se trata de yeso, debe considerarse con cuanta agua se cuenta y cuanto yeso puede solubilizar, y esta cantidad será el límite máximo de mejorador por aplicar.

7.3.6.- Como y cuando aplicar la lamina de lavado.

Antes que nada deben buscarse los siguientes requisitos y normas para hacer mas eficiente la recuperacion.

- 1.- Mantener el nivel freático abajo del " nivel critico " para el cultivo y el tipo de suelo de que se trate por medio de drenaje artificial si es necesario.
- 2.- Reducir el contenido de sales fácilmente solubles en el suelo de 0.3 a 0.4 % así como las aguas freáticas.

.- Evitar se reanude la acumulación de sales en la zona radical mediante el sobre riego.
Existen dos modalidades en la aplicación del lavado, aplicación continua y aplicación alterna.

Aplicación continua.- consiste en almacenar grandes láminas de agua sobre la superficie en bordos o diques aplicando el total en una sola vez, por lo tanto un movimiento vertical severo hacia abajo de sales y agua haciendo posible la desalinización .

Aplicación alterna.- láminas pequeñas en forma periódica, de umedecimiento y secado, efectiva en relación agua-suelo-sales, cupando mayor tiempo de aplicación que la anterior.

CUADRO No. 15

Cantidad de agua requerida para abatir el contenido salino de la solución del suelo al 1 y 5 % , en función de la calidad del agua *

de sales en el agua de riego	Agua requerida para el uso consuntivo (cm)	Agua requerida para lavado y drenaje (cm).	Agua total requerida (cm).
0.10	60.9	6.8	67.8
0.20	60.9	15.2	76.1
0.25	60.9	20.3	81.2
0.30	60.9	26.2	87.0
0.40	60.9	40.6	101.5
0.50	60.9	60.9	121.8
0.00	60.9	0.00	60.0
0.10	60.9	15.2	76.1
0.15	60.9	26.2	87.0
0.20	60.9	40.6	101.5
0.30	60.9	91.4	152.3
0.40	60.9	243.8	304.7

* Tabla para dos cultivos de tolerancia semejante.

Quando aplicar la lamina de lavado.

Se sugiere que los lavados profilacticos se inicien en la época de sequía o cuando el nivel freático esta lo más profundo; cuando los lavados de control se aplican en el ciclo de cultivo con cada riego, no hay mayor problema para determinar cuando aplicarlo.

En el lavado profilactico el lavado comienza por la parte central de los espacios entre drenes donde la eliminación de sales es las lento, asegurando un lavado homogéneo .
Quando se presentan costras salinas en la superficie, es un horror tratar de lavarlas primero; porque hay un fuerte gradiente para que

BIOTECNICA ESCUELA DE AGRICULTURA

agua se mueva hacia abajo, pues hasta que no se satura el suelo el agua corre por la superficie arrastrando las sales.

Previo lavado debe barbecharse a 25-30 cm., de profundidad para incorporar las costras, otra solución al problema sería un riego previo al lavado.

7.3.7.- Eficiencia de lavado.

Factores que afectan la eficiencia del lavado son los siguientes :

Planes incorrectos de lavado, por ejemplo lavar en un momento no oportuno.

Inclinación inadecuada del terreno.

Fracaso al tratar de aplicar el agua sobre el campo con suficiente uniformidad y exactitud.

Errores cometidos en las evaluaciones de la salinidad del suelo y de las aguas subterráneas.

Muy poco lavado.

Sistema de drenaje técnicamente defectuoso.

Límites y alternativas de lavado.

Cuando un suelo presenta baja conductividad hidráulica, drenaje ineficiente, aguas de mala calidad, aunado a un elevado costo de instalación de drenaje, resulta prácticamente imposible cubrir satisfactoriamente los requisitos de lavado, para controlarlo y/o eliminar sales y sodio intercambiable.

7.3.8.- Efectos generales de las medidas hidrotécnicas sobre los suelos ensalitrados.

1.- Efectos sobre la desalinización.

Al desalinizar el suelo se está modificando favorablemente el desarrollo de las plantas superiores y la flora microbiana de este suelo, ya que la salinidad reduce la habilidad de las plantas para extraer el agua así como de los efectos tóxicos de algunas sales, afectando con ello todo su metabolismo.

2.- Efectos sobre la desodificación.

En algunos resultados se ha mostrado la eficiencia del lavado y drenaje, para facilitar la desodificación de tales suelos, aun con los altamente sódicos e impermeables; de esta manera se mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo cuyos procesos se aceleran cuando hay CO₂ disuelto en el agua.

3.- Efectos combinados.

En caso de suelos salino-sódicos que reciben un manejo especial, como método específico se utiliza el hidrotécnico.

Por ejemplo si son lavados excesivamente en presencia de pocos cationes o ninguno, ninguno se transforma en un suelo sódico no salino.

En cambio si existen estos cationes se transforman en un suelo salino no sódico, al cual le fueron disminuidos el PSI, pH y al mismo tiempo se le removieron los excesos de sales.

Por esta razón cuando se aplican grandes volúmenes de agua, a estos suelos es recomendable agregar un mejorador previo al lavado.

Recuperación por métodos químicos-hidroténicos(uso de aguas salinas como metodología para recuperar suelos sódicos).

Su fundamento y aplicación son una combinación de ambos, utiliza los principios propios de lavado así como la cantidad de cationes divalentes para desplazar al sodio intercambiable.

Al recuperar un suelo pensamos en mejoradores químicos acompañados de un lavado, en ocasiones lleva a fracasos o su aplicación resulta incooperable económicamente, la velocidad de infiltración a través de los suelos sódicos depende de la concentración de electrolitos de agua; el uso de aguas de baja concentración disminuye la permeabilidad por efecto de la dispersión de las partículas y el sellado de los poros del suelo haciendo poco factible la recuperación del suelo, siempre y cuando los electrolitos sean sales básicas.

Todo esto comprobado que las aguas de altas concentraciones de electrolíticas mejora las condiciones físicas del suelo.

CUADRO No. 16

Efecto del lavado sobre las propiedades de un suelo salino-sódico.

Profundidad (cm)	año	pH		CEX103		PSI %	
		sin lavado	con lavado	sin lavado	con lavado	sin lavado	con lavado
0.15	1952	11.0	11.0	8.66	8.84	50.39	51.17
	1957	9.1	8.7	0.45	0.20	6.85	3.80
15.45	1952	11.3	11.5	3.85	3.47	-----	-----
	1957	10.0	9.9	0.17	0.14	-----	-----
45.90	1952	11.4	11.4	3.13	3.19	-----	-----
	1957	10.0	9.9	1.40	1.08	-----	-----

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

Principios y fundamentos del método.

Los son primordialmente las bases por las cuales funciona este método:

1).- Acción de las sales como floculantes, provocando que las partículas se agrupen en agregados mayores, esto origina mayor porosidad y propicia mayor y más rápida admisión de agua.

2).- El desplazamiento de los iones de Na retenidos por los iones de Ca, donde se altera la concentración en el lavado.

Los principios y fundamentos de lo anterior son:

-Floculación.- explicado en las características físicas de los suelos salino y salino-sódicos.

Valencia de dilución.- en un sistema agua-suelo, en el cual los cationes adsorbidos se hallan en equilibrio con los cationes en solución, dicho equilibrio puede o no alterarse por la adición de agua al sistema dependiendo de la valencia de dilución de los cationes disueltos en ella.

Aplicación del método y resultados.

El método generalmente implica la aplicación de un mejorador químico, la concentración electrolítica resultante en la solución del suelo, es relativamente baja y los suelos sódicos siguen inchados y defloculados, por lo que la infiltración es tan baja que amenudo falla el programa de rehabilitación.

Como ya se asentó, la velocidad de movimiento del agua en el suelo se incrementa, sea el flujo saturado o insaturado, al incrementarse la concentración de agua aplicada.

11.- Experimentos realizados.

Los primeros investigadores que utilizaron las aguas salinas como método de recuperación para suelos sódicos fueron Reeve y Bower, en columnas; como resultado se obtuvo que en todos los tratamientos el PSI se disminuyó del 39 al 5%. Posteriormente Reeve y Doring al experimentar en el campo con un suelo muy sódico.

Las aguas de baja concentración salina y las saturadas con yeso no fueron efectivas en recuperar suelo-problema, provocando condiciones físicas adversas empeoradas con el agua de baja concentración salina.

Cha-Bower-Mc.Neal y Pratt ; modificaron el método y fue de la siguiente manera:

-Lograr un equilibrio parcial entre el suelo y el agua de cada dilución.

-Alcanzar un aumento en la relación equivalente de Ca + Mg de las sales totales en cada dilución.

Características deseables de las aguas salinas con fines de riego.

El nivel al cual el RAS del agua del suelo y el PSI. del suelo incrementan con aguas de riego de sodicidad depende de; el RAS del agua que entra y el grado al cual el volumen del agua que entró disminuye por la evapotranspiración, pues a mayor evapotranspiración corresponde un valor más elevado del RAS de la solución del suelo.

Depende también de la precipitación del CaCO_3 y ocasionalmente del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ con disminución del volumen de agua; de la dilución del Calcio, Magnesio y Sodio de los minerales del suelo, incluyendo los silicatos primarios y CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Otro problema no contemplado es cuando el agua de riego o del suelo se evapora o es transpirado, llegando así a presentarse sales de carbonato de Calcio y Magnesio que exceden sus límites de solubilidad y se precipitan en forma de cristales, quedando en la solución el sodio, mucho más soluble.

7.4.- Recuperación por métodos biológicos.

Basados en la adición de materia orgánica al suelo y/o el establecimiento de plantas, para aprovechar los beneficios de ambos en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

7.4.1.- Efectos de la vegetación sobre las propiedades del suelo.

Estos se deben principalmente a la acción mecánica de sus raíces, que modifican de manera directa las propiedades físicas e indirectamente las químicas y biológicas, a grosso modo incrementan la permeabilidad y conductividad hidráulica por efecto de las tubificaciones formadas.

a).- árboles, algunas especies forestales como el olmo, arce o maple tartaro, álamo y roble, son la prevención de la salinidad y la sodicidad secundaria, formación de estructuras granulares, disminución en el pH, aumento de Humus y mejoramiento de las condiciones de humedad del suelo.

Este método promete una recuperación lenta, se manifiesta de 10,30 o hasta 50 años después, por lo que se recomienda como una medida auxiliar y combinada con otros.

b).- Arbustos, el efecto de sus raíces es semejante al de los árboles con la diferencia en profundidad de su efecto. Los arbustos nativos de suelos ensalitados poseen dos hileras de raíces: la primera en el horizonte húnico y la segunda a poca profundidad. Con resultados favorables, aumento de dos a tres veces la porosidad, permeabilidad e infiltración.

c).- Cultivo y rotaciones, considerándose pastos, alfalfa, cultivos de abonos verdes, arroz y rotaciones con otros cultivos.

Los efectos físicos y químicos son parecidos a los anteriores; solo hay que destacar que el arroz y algunos zacates son los más socorridos como auxiliares en los métodos hidrotécnicos, ya que soportan periodos largos de inundación, lo que permite se efectúen lavados muy pesados.

7.4.2.- Efecto de la adición de materia orgánica al suelo sobre sus propiedades físicas y químicas.

Para una mejor comprensión, de acuerdo a su origen en residuos animales (incluyendo todos los estiércoles) y residuos vegetales (incluyendo abonos verdes y residuos de cosechas), dicha incorporación en la capa arable del suelo, involucra la descomposición y liberación de CO₂.

a.- Incorporación de residuos animales (estiércoles).

El estiércol más utilizado para acondicionar las propiedades de fertilidad de los suelos así como la física de ellos es el de bovinos.

Siendo una aplicación rutinaria en varios países del mundo, incluyendo a México.

En recuperación de suelos sódicos, su aplicación aun en forma líquida se ha revelado como buen auxiliar, con mejores resultados al combinarlo con los métodos químicos.

Un inconveniente como método de recuperación; es que se debe aplicar en cantidades mayores para que se manifieste su efecto solo en la capa arable.

b.- Incorporación de residuos vegetales (abonos verdes), considerando dos grandes grupos.

Incorporación de abonos verdes.- usualmente como medida post-recuperativa o como auxiliar de otros métodos.

Para la práctica se utilizan plantas tolerantes a la sodicidad, de preferencia plantas nativas como el Jantar o Dhaincha (Sesbania spp), por su alto contenido de calcio, capacidad amortiguadora y jugo ácido, notándose que este es sensible a los suelos salinos y sódicos en su etapa de germinación.

Incorporación de residuos de cosechas.- en primer lugar la caña de azúcar como paja, bagazo y cachaza, así como también la cascarilla de arroz y las pajas de gramineas en general.

Cuando se utiliza la paja y el bagazo, hay que desmenuzar y picarlos antes de aplicar eliminando materiales leñosos con una aplicación de nitrógeno para su pronta descomposición.

La cachaza es un residuo del ingenio, compuesto por fibras de caña, sacarosa, coloides coagulados, con ceras y albuminoides, fosfatos de cal (para neutralizar el jugo ácido de la caña), arena y tierra; dando como resultado un material negro esponjoso hidrófilo, amorfo y liviano con alto porcentaje de materia orgánica y calcio.

a ventaja de estos materiales es que son muy baratos y abundantes en las zonas cañeras así como también es su desventaja.

a cascarilla de arroz efectiva para disminuir el pH, grado de acidez, coeficiente de dispersión y sales solubles.
Por último las pajas de gramíneas y hojas de árboles como fuente de materia orgánica.

7.4.3.- Efectos de los cultivos y de la materia orgánica sobre el régimen de humedad de suelo.

El efecto principal es el ejercido sobre los siguientes puntos :

- efecto sobre la evaporación.
- efecto sobre la capilaridad.
- efecto sobre el nivel freático.

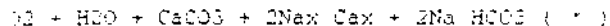
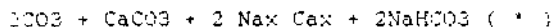
Llevados a cabo por la formación de un cojón de materia orgánica (mulch) en la superficie del suelo, con cultivos de cobertura, o simple incorporación de materia orgánica, ya sea de origen animal o vegetal en la capa arable.

Algunos estudios han demostrado que los suelos salinos a los que se les cubrió con un cojón de materia orgánica, controló el movimiento de sales durante la sequía, pero en la época de lluvias impidió el lavado; lo que sugiere que el "cojón" debe aplicarse en las secas y removerse en las lluvias.

Las plantas cultivadas sombrean el área (impidiendo la vaporación) y en la formación de la estructura granular que disminuye la capilaridad y con ello (la acumulación de sales en la superficie) y por la transpiración foliar que ayuda a mantener y/o disminuir el nivel freático de los suelos.

Efecto combinado del establecimiento de vegetación y adición de materia orgánica sobre el sodio adsorbido por el suelo.

Este efecto se lleva a cabo solo en presencia de CaCO_3 , el cual reacciona con el H_2CO_3 y el CO_2 producidos en la descomposición de la materia orgánica y la respiración de las raíces de las plantas según las reacciones siguientes :



EL CO_2 y el H_2CO_3 , generados participan e facilitan la dilución del CaCO_3 y el desplazamiento del sodio adsorbido en la fracción coloidal.

VIII.- CONCLUSIONES.

1.- Los procesos de salinización se tienen correctamente identificados, es preciso desterrar de la literatura el concepto clásico de que la salinización es un proceso ligado a regiones de climas áridos o xéricos.

2.- Los procesos fundamentales de la edafogénesis de los suelos salino, sódicos y salino-sódicos se deben tipificar como naturales e inducidos, los primeros ligados a factores específicos de formación de suelos y los segundos a un manejo inadecuado del agua de riego.

3.-El proceso fundamental edafogénético de la salinización independientemente del tipo de ocurrencia, lo constituye el cambio en el régimen hídrico del suelo.

4.-Los criterios cuantitativos tradicionales para la definición de suelos salino, sódicos y salino-sódicos (CE y PSI), ya no constituyen los elementos fundamentales.

5.-Las relaciones entre los diferentes clases de sales neutras y libres, junto con la CE y PSI, son el elemento que permiten una mejor y más precisa caracterización de los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos.

6.- La tipología de los suelos salinos y/o sódicos es muy compleja, ya que agrupan suelos de muy diferente génesis, de tal manera que, el criterio sistémico para clasificar estos suelos, debe ser un criterio eminentemente cuantitativo (objetivo).

7.- El criterio de la Fao/Unesco para la clasificación de los suelos y/o sódicos debe ser empleado exclusivamente con fines de reconocimiento, debido a la generalidad de los criterios empleados.

8.-El avance en las técnicas de la rehabilitación de los suelos ensalitrados es muy notorio, lo cual permite abordar casi cualquier problema.

9.- No se cuenta hasta la fecha con criterios de la rehabilitación natural, por lo cual deberá iniciarse trabajos sobre la rehabilitación biogénica de suelos salinos y/o sódicos.

10.- El lavado y la aplicación de métodos químicos son la base de todo proceso rehabilitatorio de suelos con problemas de ensalitramiento, por los costos y tiempo de aplicación.

11.- Los métodos químicos de rehabilitación están adquiriendo una mayor importancia ya que se cuenta con una cantidad mayor de productos y subproductos, reactivos de alta eficiencia y bajo costo.

12.- El muestreo de suelos con fines de definición y delimitación de los problemas de ensalitramiento parcelario debe de ser introducido como una de las acciones regulares de los sistemas de producción agrícola en áreas de riego.

13.-Se deben establecer métodos analíticos, físicos y químicos rápidos y precisos para la tipificación de las diferentes clases de sales en el suelo, ya que la cantidad de información necesaria en un distrito de riego es abrumadora.

XI .- BIBLIOGRAFIA.

- Aceves N.E. 1979 .- El Ensalitramiento de los Suelos bajo riego. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- Aceves N.L.A. 1981 .- Los Terrenos ensalitrados y los Métodos para su Recuperación .
Departamento de Suelos, Universidad Autonoma de Chapingo, México.
- I.P. Aidarov; A.I. Golovanov; M.G. Mamaev. 1985.- El Riego.
Editorial Mir Moscú, Rusia.
- Duchaufour. y B. Souchier. 1984 .- Edafología, Edafogénesis y Clasificación.
Masson e hijos. París , Francia.
- Fassbender, H.W. 1982.- Química de Suelos con Énfasis en suelos de América Latina.
IICA . San Jose Costa Rica.
- Fitz Patrick E.A. 1980.- Suelos. su Formación. Clasificación y Distribución.
C.E.C.E.A. , México.
- Gutierrez C.J. 1978 .- Efectos del Sodio en los Suelos y uso de Aguas salinas en la Recuperación de suelos con problemas de sodio.
Tesis profesional. Facultad de Agronomía . Universidad de Guadalajara, Jalisco.
- L.A. Richards 1982.- Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos.
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America.
Editorial Limusa, México.
- Ministerio de Agricultura 1974 . Métodos de análisis de Suelos y Aguas.
Madrid, España.
- Ortega E.M. 1983.- Algunos Aspectos Teóricos de carácter Geoquímico, Físico-Químico, involucrados en la genesis de los suelos de salinidad sódica.
Apuntes del curso de Salinidad. Centro de Hidrociencias.
Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.

Ortiz Villanueva, B., C.A. Ortiz Solorio . 1984.- Edafología.
Chapingo. México. Universidad Autónoma de Chapingo.

Peña Rodríguez F. 1968.- Plan Lerma, Asistencia Técnica.
Apuntes sobre Clasificación de Suelos., Tratado de Pedología.
Guadajaajara Jalisco.

Pizarro F. 1978.- Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos.
Editorial Agrícola Española, S.A. , Madrid , España.

S.A.R.H. , Boletín 1972-1974.- La Salinidad de los Suelos: su Origen,
Clasificación y Tracendencia. Prevención y Rehabilitación.
México.

S.R.H. Universidad Autónoma de Chapingo. 1966 .- Estudio de los
Suelos de la República Mexicana.
Mexico.

S.R.H. , Memorandum Técnico 351 . 1976.- Salinidad de los Suelos y
Calidad del Agua de Riego.
México.

S.R.H. , Memorandum Técnico 323. 1973.- La Salinidad y el Mejoramiento
de los Suelos.
México, D.F.

S.A.R.H. 1980 .- Desarrollo de Distritos de Riego.
México.

DE BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA