



FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



ALTERNATIVAS DE CULTIVOS FORRAJEROS PARA EL APROVECHAMIENTO  
DE SUELOS SALINOS Y/O SODICOS EN EL POBLADO DE OZUMBILLA  
MUNICIPIO DE TECAMAC, ESTADO DE MEXICO.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO AGRICOLA**  
**P R E S E N T A :**  
**MIGUEL ANGEL CORTIZO RODRIGUEZ**

ASESOR: ING. EDGAR ORNELAS DIAZ

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO 1995



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

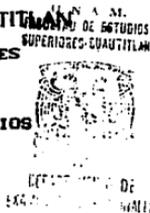
Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

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

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:  
" Alternativas de cultivos forrajeros para el aprovechamiento de suelos salinos y/o sódicos en el poblado de Ozumbilla Municipio de Tecamac, Estado de México "

que presenta el pasante: Miguel Angel Cortizo Rodriguez  
con número de cuentas: 8708476-2 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Agrícola ; en colaboración con :

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 19 de enero de 1995

PRESIDENTE	Dr. Edvino Josafat Vega Rojas	
VOCAL	Ing. Vicente Silva Carrillo	
SECRETARIO	Ing. Edgar Ornelas Díaz	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Raúl Espinoza Sánchez	
SEGUNDO SUPLENTE	Biol. Elva Martínez Holguín	

## DEDICATORIA

A mis padres: Sra. Gloria Rodríguez de Cortizo y Sr. Miguel Angel Cortizo Rivera, quienes me han enseñado lo más valioso que puede dársele a un hijo: Amor.

Que sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme, que la ilusión de sus vidas ha sido convertirme en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos, tan sólo les digo que los quiero mucho, por esto y más gracias.

A mis hermanos, que han contribuido de una u otra manera a ser la persona que ahora soy; con profundo respeto, cariño y agradecimiento.

A mi novia, que junto a ella he conocido el amor y cariño; también he aprendido a madurar y tener decisión que sólo con la experiencia se aprende, la paciencia que a mostrado hacia mi incondicionalmente; todo esto con nada se paga, gracias Marisol García Gress. Y quiero que siempre estés orgullosa de mí; toda la vida.

A mi amigo Fabio F. García Gress que siempre me ha brindado su amistad sin nada a cambio, que he tenido su apoyo en las buenas y en las malas gracias ;amigo!.

Y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a mi formación, en especial a Dios que me ha dado la fuerza para continuar y no dejar vencerme por la adversidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al Ing. Edgar Ornelas Díaz por apoyarme y brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, y por guiarme en el desarrollo del mismo de manera acertada.**

**A las instituciones educativas y profesores de las mismas que han contribuido en mi formación profesional en especial a la Universidad Nacional Autónoma de México.**

**A los H. Miembros del Jurado: Dr. Edvino Josafat Vega Rojas, Ing. Vicente Silva Carrillo, Ing. Edgar Ornelas Díaz, Ing. Raúl Espinoza Sánchez y Biol. Elva Martínez Holguín por su valioso tiempo empleado en la revisión de este trabajo y por las observaciones que tuvieron a bien hacerle en favor del mismo.**

**Al Ing. Hugo D'Aponte Olaya por su incondicional cariño demostrado a lo largo de toda mi vida y que no podré retribuir de manera alguna. Motivo, de un anhelo siempre creciente de superación.**

## INDICE.

	Pag.
Indice de tablas y figuras.....	i
Indice de cuadros y mapas.....	ii
Indice de croquis.....	iii
<b>I.- Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>II.- Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>III.- Revisión Bibliográfica.....</b>	<b>4</b>
3.1. Origen y naturaleza de los suelos salinos y sódicos.....	4
3.2. Clasificación y características de los suelos salinos y sódicos.....	5
3.3. Acumulación de sales en el suelo.....	8
3.4. Acumulación de sodio intercambiable en los suelos.....	10
3.5. Principales grupos de suelos afectados por sales en México.....	11
3.5.1. Distribución en México.....	11
3.5.2. Clasificación F.A.O.....	12
3.6. Efectos de la salinidad sobre las plantas y el suelo.....	15
3.6.1. Relación entre el suelo y las plantas.....	18
3.7. Crecimiento Vegetal.....	20
3.7.1. Aspectos generales.....	20
3.7.2. Toxicidad de sales.....	21
3.7.3. Tolerancia relativa a las sales.....	22
3.7.4. Factores que modifican el efecto del sodio intercambiable en los suelos.....	22
3.7.5. Efectos específicos de los iones.....	25
3.7.5.1. Sodio.....	26
3.7.6. Productividad bajo régimen salino.....	27
3.8. Prácticas agrícolas contra la salinidad.....	30
3.9. Calidad de aguas para riego.....	33
3.9.1. Características que determinan la calidad.....	33
3.9.2. Peligro del sodio.....	36
3.9.3. Clasificación de aguas para riego.....	36
3.9.4. Salinidad.....	39
3.9.5. Sodicidad.....	39
3.9.5.1. Exceso de sodio.....	39
3.9.6. Alcalinidad.....	42
3.10. Cultivos forrajeros resistentes a la salinidad.....	43
3.11. Cultivos forrajeros resistentes al sodio.....	43
3.12. Cuidado de suelos salinos y alcalinos.....	46
3.13. Manejo y mejoramiento de suelos salinos y sódicos.....	48
3.14. Introducción y manejo de cultivos forrajeros resistentes a la sodicidad.....	50

<b>IV.- Metodología.....</b>	<b>55</b>
4.1. Area de estudio.....	55
4.1.1. Localización.....	55
4.1.2. Tipos de suelos.....	57
4.1.3. Climatología.....	60
4.1.4. Hidrografía.....	61
4.1.5. Orografía.....	62
4.1.6. Agricultura y Ganadería.....	63
4.2. Muestreo de suelos.....	63
4.3. Delimitación del área afectada.....	64
4.4. Diagnóstico del problema.....	65
<b>V.- Resultados.....</b>	<b>66</b>
5.1. Determinaciones físicas.....	66
5.2. Determinaciones químicas.....	66
5.3. Clasificación de suelos.....	66
<b>VI.- Discusión.....</b>	<b>68</b>
<b>VII.- Conclusiones.....</b>	<b>74</b>
<b>VIII.- Abreviaturas.....</b>	<b>76</b>
<b>IX.- Glosario de Términos.....</b>	<b>78</b>
<b>Símbolos químicos y nombres comunes.....</b>	<b>84</b>
<b>X.- Bibliografía.....</b>	<b>85</b>

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<b>TABLA</b>	<b>Pág.</b>
1.1 Solubilidad aproximada de varios compuestos encontrados en suelos afectados por sales.....	9
1.2 Efecto de la variación en la relación de Na/(Ca+Mg) soluble en la solución del suelo sobre el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).....	10
2.1 Tolerancia relativa de los cultivos a la salinidad.....	28
2.2 Cultivos forrajeros resistentes a la salinidad.....	43

## FIGURAS

1 Lavado de sales acumuladas en la zona radicular.....	32
2 Método de siembra en un suelo irrigado para minimizar el efecto de las sales.....	49

## INDICE DE CUADROS Y MAPAS

<b>CUADRO</b>		<b>Pág.</b>
1	Disminución de la producción en varios cultivos según los niveles de salinidad del suelo.....	16
2	Cultivos afectados por altos PSI.....	17
3	Determinaciones físicas del suelo.....	66
4	Determinaciones químicas del suelo.....	66
5	Clasificación de los suelos.....	67

## MAPA

1	Localización del poblado.....	56
2	Tipos de suelos.....	59
3	Clima.....	60
4	Hidrografía.....	61
5	Orografía.....	62

## **INDICE DE CROQUIS.**

### **CROQUIS**

**Pág.**

I	Toma de muestras del suelo.....	64
---	---------------------------------	----

## **I.- INTRODUCCION.**

Los graves problemas de crisis económica por los que atraviesa México y en especial la agricultura, requieren de la integración de una serie de actividades encaminadas a obtener mayor cantidad de productos capaces de satisfacer las necesidades agrícolas y generar utilidades a los productores.

Para lograr lo anterior, se deben abocar las tareas hacia el aprovechamiento y mejoramiento de las unidades productivas, sean agrícolas, pecuarias, u otras; así como hacia los procesos de comercialización mismos que, agrupados, llevarán a disminuir la crisis económica de la población agrícola del País.

Algunas alternativas para mejorar la economía en la agricultura, son el empleo de variedades mejoradas, uso adecuado y técnico de insumos y nuevos cultivos forrajeros resistentes a la salinidad y/o sodicidad. Dentro de este último aspecto, es de gran importancia utilizar tierras con problemas de salinidad o sodicidad, con lo cual habrá mayor producción y por lo tanto más alimento para el ganado aunado con esto un mayor ingreso al productor.

Al iniciar el proceso de incorporación de tierras improductivas al cultivo, lo primero que se presenta son los problemas que el suelo pueda tener desde su formación y desarrollo que de alguna manera definen las perspectivas que tiene para la adaptación del cultivo en la producción.

Los principales problemas de suelos son muy variados, van desde fallas con el drenaje, compactación excesiva, elevada pedregosidad, topografía accidentada, hasta alta salinidad y sodicidad, que impiden el desarrollo de los cultivos. Todos ellos a excepción de la salinidad y sodicidad, pueden resolverse por medios mecánicos y si bien son importantes en cuanto a magnitud de trabajo, se contará siempre con la ventaja de obtener resultados satisfactorios cuando el suelo y sus características así lo manifiesten y justifiquen el trabajo por realizarse, ya que de antemano se reconocerá la capacidad de estas tierras para producir; en contraste, los problemas de salinidad y sodicidad casi siempre son acompañados por alguno de los otros y su solución o rehabilitación implica una serie de estudios sobre suelo, clima, topografía, hidrografía y de tipo agronómico en general que requieren bastante tiempo y dinero en realizarse, analizarse y aplicarse. Entonces, lo mejor sería introducir cultivos forrajeros resistentes a la salinidad y sodicidad bajo las condiciones existentes en la zona de estudio. El problema más grave es la presencia de sales, bastante crítico en el País, puesto que existen grandes extensiones de terrenos capaces de ser aprovechados en la práctica de la agricultura y que por el desconocimiento del productor, no se realizan trabajos de introducción de cultivos forrajeros resistentes a la salinidad y sodicidad, lo que provoca una disminución tanto de superficie cultivable como de productos agrícolas forrajeros capaces de disminuir la crisis económica por la que atraviesa la agricultura del País.

Es importante realizar un adecuado diagnóstico del grado de salinidad y/o sodicidad en el suelo, puesto que será la base para la elaboración posterior de un programa óptimo de introducción de cultivos forrajeros resistentes a la salinidad y sodicidad ( a futuro ) capaz de ser llevado a la práctica con eficiencia y al menor costo posible.

La agricultura en muchas regiones del mundo principalmente en zonas de clima árido o semiárido han mostrado que uno de los principales problemas es el de la salinización y sodificación de los suelos. Estos problemas afectan la productividad de los terrenos, los que en caso extremo pueden quedar inútiles para su empleo agrícola.

La finalidad principal del estudio de la salinidad y sodicidad de los suelos ha sido la formulación de normas de manejo de suelos, aguas y generar criterios para la implantación de diferentes medidas correctivas que prevengan y combatan los efectos nocivos de ensalitramiento y sodificación.

En el presente trabajo, se desarrolló una revisión bibliográfica de suelos salinos y/o sódicos para la posible introducción de cultivos forrajeros resistentes a estos suelos, para mejorar y elevar la producción así como la utilización de los mismos terrenos en un futuro en el poblado de Ozumbilla, en el Estado de México.

Para lo cual se pretende describir las características de 2 hectáreas ubicadas en el ejido de Ozumbilla, propiedad del Sr. Julian Zandoval Rodríguez, señalando el tipo y cantidad de salinidad y sodicidad encontrada, la capacidad de los terrenos y los cultivos forrajeros a introducir resistentes a estos problemas; a nivel bibliográfico, brindando las bases para que se pueda retomar el mismo trabajo pero en un sentido práctico, mejorando los ingresos monetarios al ejidatario en la producción de forrajes.

El poblado de Ozumbilla está ubicado al norte del Distrito Federal en el Estado de México, su explotación agrícola esta basada en el cultivo de maíz, alfalfa, hortalizas, cereales, pastos y otros cultivos, en algunos casos esos cultivos sufren los estragos que la presencia de sales y sodio originan en el desarrollo de estos. Los problemas de salinidad y sodicidad que estas tierras presentan, parecen ser de origen natural ya que son parcelas establecidas en áreas de influencia de lechos de lo que era una Laguna llamada de Xaltocan, ésta también la Laguna de Zumpango, trayendo los consecuentes problemas de drenaje y elevación de aguas freáticas salinas debido a la alta evaporación prevaleciente que ha empobrecido mucho al terreno. El problema de salinidad y sodicidad es grave, ya que no toda el área de los Municipios se han trabajado de la misma manera, por lo que se requiere de un estudio de estos problemas para definir la magnitud de este y darle una solución a corto y mediano plazo que pueda ofrecer la incorporación de todas las parcelas al ritmo de producción normal de las regiones. Por ello nos dedicamos a la revisión bibliográfica del problema reconociendo la importancia que los productores tienen en que se resuelva el problema de la utilización de terrenos salinos y sódicos con la introducción de cultivos forrajeros resistentes a estos suelos resaltando que esto será posteriormente.

## **II. OBJETIVOS:**

- I.** Elaborar una recopilación bibliográfica de suelos salinos y/o sódicos así como de cultivos forrajeros resistentes a estos suelos que sirva como base para su utilización práctica en un futuro.
- II.** Determinar la cantidad y tipo de sales presentes en el terreno propiedad del Sr. Julian Zandoval Rodríguez, en el poblado de Ozumbilla para ver la capacidad de explotación agrícola que pueda presentar este suelo.

### **III.- Revisión Bibliográfica.**

#### **3.1. Origen y naturaleza de los suelos salinos y sódicos.**

El origen de las sales es variable, siendo sus fuentes principales, el intemperismo de las rocas, y de los océanos el transporte de materiales solubles a los suelos costeros por acción de la marea y a través de la brisa marina arrastrada tierra adentro por el viento. El mar también contribuye indirectamente a la acumulación de estas sales, como en el caso de los suelos derivados de materiales parentales de origen marino.

El proceso de lixiviación tiende a eliminar sales en las regiones húmedas, pero en las regiones secas estas normalmente se acumulan, ya sea como parte del material parental, o de los suelos derivados de este.

En general, la acumulación y concentración de las sales transportadas en solución es causada por la pérdida selectiva de agua a través de los procesos de evaporación y transpiración. Las sales ocurren ordinariamente en suelos que presentan problemas de drenaje, una condición que automáticamente promueve la pérdida de agua por evaporación. Este tipo de suelos pueden presentarse en depresiones o en tierras bajas que colectan el agua de drenaje, a través de filtraciones o de flujos superficiales. Algunos suelos aluviales pueden también estar sujetos a filtraciones y desbordamientos de canales o corrientes de agua. La salinización puede ser causada también por irrigación con aguas salobres o de mala calidad, especialmente en zonas de poca capacidad de lixiviación, o por el uso excesivo de agua que hace crecer el manto freático, provocando los problemas.

La diversidad de factores que afectan o provocan la acumulación de sales en el suelo, resulta en una distribución heterogénea de éstas. Estas áreas de suelos con distintos niveles de salinidad, provocan un crecimiento vegetal en "parches", fenómeno que puede ser distinguido en el campo. Las diferencias de concentración de sales de estos lugares se encuentran normalmente asociadas, ya sea con terrenos de topografía dispereja, que causan diferencias en la absorción y distribución del agua en los suelos, o con cambios texturales continuos que afectan los patrones de flujo de agua y de distribución de sales (Aguirre, 1989).

Para fines agrícolas, las sales solubles producen efectos dañinos en las plantas, al aumentar el contenido de sal de la solución del suelo y el grado de saturación de los materiales intercambiables del suelo, con sodio intercambiable. Este último efecto se presenta cuando los constituyentes solubles son en su mayor parte sales de sodio, y es de naturaleza más permanente que el contenido salino de la solución del suelo ya que el sodio intercambiable generalmente persiste después que las sales solubles se han eliminado.

Al discutir estos problemas de suelos es conveniente usar términos que se refieran específicamente a las dos causas principales del problema. "Suelo salino" es aquel que contiene sales solubles en tal cantidad que alteran desfavorablemente su productividad. De igual manera, los "suelos sódicos" pueden definirse en términos del efecto del sodio

intercambiable en su productividad. Según esto, los suelos alcalinos pueden o no contener un exceso de sales solubles.

El contenido de sales arriba del cual el crecimiento de las plantas es alterado, depende de ciertos factores, entre los cuales cabe mencionar la textura, la distribución de sal en el perfil, la composición de la sal y la especie vegetal.

La decisión que debe tomarse para elegir el nivel de sodio intercambiable que en el suelo constituye un grado excesivo de saturación, se complica por el hecho de que no existe un cambio brusco en las propiedades del suelo a medida que aumenta el grado de saturación del sodio intercambiable (Richards, 1977).

### **3.2. Clasificación y características de los suelos salinos y sódicos.**

Para clasificar a los suelos por salinidad se consideran como principales dos aspectos:

1.- Los valores de la conductividad eléctrica (CE).

2.- El porcentaje de sodio intercambiable (PSI), con la combinación de ellos se forman cuatro grupos diferentes; normales, salinos, salino - sódicos y sódicos, cuyas características son:

**Suelos normales:** Llamados así porque no presentan problemas a las plantas por concentraciones salinas. Se identifican cuando el valor de la CE en el extracto del suelo saturado es menor de 4 mmhos/cm a 25 grados centígrados, el PSI es menor de 15 % y un pH de 6.5 a 7.5.

Buena permeabilidad y aireación, buena estructura, en general son suelos que no tienen problemas para la agricultura.  
( Tellez, 1985 ).

**Suelos salinos:** Son aquellos que contienen sales solubles en tal cantidad que alteran la fisiología de las plantas. Se les identifica cuando la CE de la solución extraída de una pasta de suelo saturado tiene valores mayores de 4 mmhos/cm a 25 grados centígrados, el PSI se presenta menor del 15 % y un pH de 7 a 8.5.

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

Casi siempre se encuentran floculados debido al exceso de sales y la ausencia de cantidades significativas de sodio intercambiable, lo que favorece la permeabilidad. Aniones más comunes: Cl y SO<sub>4</sub> y a veces NO<sub>3</sub> y pueden presentarse muy rara vez los HCO<sub>3</sub>. Los carbonatos solubles prácticamente no se presentan en estos suelos. Cationes más comunes: Ca, Mg, y en menor escala Na y K además de que generalmente existe yeso en ellos.  
( Tellez, 1985 ).

La salinidad de un suelo puede ocurrir cuando éste tiene un perfil característico y plenamente desarrollado, o cuando posee material edáfico no diferenciado como en el caso del aluvión.

Las características químicas de los suelos salinos quedan determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes. La cantidad de sales solubles presentes controla la presión osmótica de la solución del suelo. El sodio rara vez representa más de la mitad del total de los cationes solubles y por lo tanto, no es adsorbido en forma importante. Las cantidades relativas de calcio y magnesio presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio, varían considerablemente. Tanto el potasio soluble como el intercambiable son, en general, constituyentes de menor importancia, aun cuando ocasionalmente se tornen en constituyentes mayores. Los aniones principales son el cloruro, el sulfato y a veces el nitrato. Pueden presentarse también pequeñas cantidades de bicarbonato, pero invariablemente los carbonatos solubles casi no se encuentran. Aparte de sales rápidamente solubles, los suelos salinos pueden contener sales de baja solubilidad, como el sulfato de calcio (yeso) y carbonatos de calcio y magnesio (caliza).

Los suelos salinos casi siempre se encuentran floculados debido a la presencia de un exceso de sales y a la ausencia de cantidades significantes de sodio intercambiable. En consecuencia, la permeabilidad es igual o mayor a la de suelos similares no salinos.

( Richards, 1977 ).

**Suelos salino-sódicos:** Esta clase de suelos es el resultado de la combinación de los procesos de la salinización y acumulación de sodios. Cuando presentan un exceso de sales son similares a los suelos salinos específicamente el valor del pH rara vez es mayor de 8.2 y las partículas permanecen floculadas, en estas condiciones presentan las siguientes características: CE mayor de 4 mmhos/cm a 25 grados centígrados, el PSI se presenta mayor del 15 % y un pH no mayor de 8.2.

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

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

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

( Tellez, 1985 ).

En cualquier caso, el lavado de un suelo puede hacerlo mucho más alcalino (pH mayor de 8.5), las partículas se dispersan y el suelo se vuelve desfavorable para la entrada de agua y para las labores de labranza. Aunque el retorno de las sales solubles puede hacer que baje el pH y restaure las partículas a una condición floculada, el manejo de los suelos sódico-salinos

sigue siendo un problema hasta que se elimina el exceso de sales y de sodio intercambiable de la zona del cultivo y se restablecen las condiciones físicas del suelo.  
( Richards, 1977 ).

**Suelos sódicos (no salinos):** Se considera el valor de 15 % del PSI como límite de separación entre los suelos no sódicos y sódicos. Cuando son mayores del 15% y la CE se presenta con valores menores de 4 mmhos/cm a 25 grados centígrados se les clasifica con el término de sódicos, en estas condiciones el pH generalmente fluctúa de 8.2. a 10 ó más.

**Mala permeabilidad y difíciles de trabajar.**

**Alta floculación de sus partículas.**

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

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

Así también en los suelos con altas cantidades de arcilla y cuando esta se encuentra parcialmente saturada de sodio y sin sales la estructura es generalmente prismática o columnar separados por grietas.  
( Tellez, 1985 ).

Estos suelos corresponden a los llamados "álcali negro" por Hilgard (1906) y, en ciertos casos, a los "Solonetz" de los autores rusos. Con mucha frecuencia se encuentran en las regiones áridas y semiáridas en áreas pequeñas e irregulares conocidas como "manchas de álcali impermeables". Siempre que en los suelos o agua de riego no se encuentre yeso, el drenaje y lavado de los suelos sódico-salinos conduce a la formación de suelos sódicos no salinos.

Como ya se mencionó, la eliminación del exceso de sales en este tipo de suelos tiende a aumentar el grado de hidrólisis del sodio intercambiable, lo cual frecuentemente eleva el valor del pH. En los suelos altamente sódicos, la materia orgánica dispersa y disuelta puede depositarse en la superficie debido a la evaporación, causando así un ennegrecimiento y dando origen al término "álcali negro".

Después de largo tiempo, los suelos sódicos no salinos adquieren características morfológicas peculiares. Debido a la gran dispersión de la arcilla parcialmente saturada con sodio, ésta puede ser transportada hacia abajo, acumularse en los niveles inferiores y como resultado, unos cuantos centímetros de suelo superficial pueden presentar textura relativamente gruesa y quebradiza, aunque más abajo, donde se acumula la arcilla, el suelo puede desarrollar una capa densa y de baja permeabilidad, con estructura prismática o

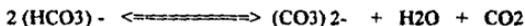
columnar. Sin embargo, es común que en esos suelos se presente la condición de sodio como consecuencia de la irrigación, lo cual indica que no ha pasado mucho tiempo para el completo desarrollo de la estructura columnar típica, pues el suelo tiene baja permeabilidad y es muy difícil de labrarse.

El sodio intercambiable en un suelo sódico no salino puede tener una marcada influencia en sus propiedades físicas y químicas. Al aumentar la proporción del sodio intercambiable, el suelo tiende a ser más disperso y el pH aumenta a veces hasta el valor de 10. La solución del suelo en suelos sódicos no salinos, aunque relativamente baja en sales solubles, tiene una composición que difiere considerablemente de la de los suelos normales y de los salinos. Mientras los aniones presentes consisten en su mayor parte de cloruros, sulfatos y bicarbonatos, también pueden presentarse pequeñas cantidades de carbonatos. A pH muy elevado y en presencia de iones carbonato, el calcio y el magnesio se precipitan, de manera que las soluciones del suelo, de suelos sódicos no salinos, usualmente contienen sólo pequeñas cantidades de estos cationes, predominando el sodio. Grandes cantidades de potasio intercambiable y solubles pueden presentarse en algunos de estos suelos. El efecto de contenido excesivo de potasio intercambiable en las propiedades de los suelos no se ha estudiado ampliamente.

Ciertos suelos sódicos no salinos contienen un porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15 y, sin embargo, el pH, especialmente en la superficie, puede ser tan bajo como 6. A estos suelos De Sigmond (1938) los llama suelos alcalinos degradados. Se presentan en ausencia de caliza y el bajo pH es resultado del hidrógeno intercambiable. Sin embargo, las propiedades físicas están dominadas por el sodio intercambiable y corresponden típicamente a la de un suelo sódico no salino. (Richards, 1977).

### 3.3. Acumulación de sales en el suelo.

Las sales comunes de las regiones áridas, varían tanto en tipo como en cantidad, siendo las más frecuentes las combinaciones de los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  con los aniones  $\text{Cl}^-$  y  $(\text{SO}_4)^{2-}$ . Una razón de esto es que, con la excepción del yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), las combinaciones de estos iones son altamente solubles en agua (ver tabla 1.1) y pueden ser transportadas y depositadas en los sitios de acumulación. Cuando los iones  $(\text{CO}_3)^{2-}$  están presentes en cantidades apreciables, los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  disminuirán en la solución debido a su tendencia a precipitar como sales de carbonato muy poco solubles. Los iones  $\text{HCO}_3^-$  pueden estar presentes también en las sales del suelo, pero normalmente en bajas concentraciones debido a su facilidad de conversión a iones  $(\text{CO}_3)^{2-}$ , según la reacción:



La precipitación de los iones  $(\text{CO}_3)^{2-}$  con  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , o la pérdida de agua por evaporación y la liberación de  $\text{CO}_2$ , causan que la reacción se desplace hacia la derecha. Por el contrario, el incremento de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera del suelo provoca un

incremento en la concentración del CO<sub>2</sub> en solución, causando un desplazamiento de la reacción hacia la izquierda.

Cuando el ion Na<sup>+</sup> se encuentra en la posición favorable de competir con el Ca<sup>2+</sup> y el Mg<sup>2+</sup> por los sitios de intercambio, cuando hay acumulación de sales solubles en el suelo, tiende a incrementarse el contenido de Na<sup>+</sup> - intercambiable. Debido a que el sodio tiene una afinidad baja de adsorción, no compite seriamente, a menos que su concentración exceda la concentración combinada de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, o sea, si la relación  $Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) > 1$ . Este hecho es ilustrado por los datos de la tabla 1.2, donde se observa que para una concentración total de cationes de 15 meq/l, la variación en la relación  $Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$  iría desde 1/1 a 14/1, causando que el porcentaje de Na<sup>+</sup> - intercambiable (PSI) incremente de 4 a 22. Es notorio, sin embargo, que aun que la concentración de Na<sup>+</sup> exceda hasta por un factor de 14, este ocuparía menos de 1/4 de los sitios de intercambio en el suelo. Sin embargo, esta cantidad de Na<sup>+</sup> presente puede causar efectos adversos sobre las propiedades del suelo importantes para el crecimiento vegetal.

El Na<sup>+</sup> puede ser el ion dominante en la solución del suelo, dependiendo de la cantidad y composición de otras sales presentes en esta solución, o bien por la eventual precipitación de las sales de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> en forma de (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup> y (CO<sub>3</sub>)<sup>2-</sup>. Esta precipitación es favorecida por la absorción selectiva de agua a través de las plantas y por evaporación, que incrementan la concentración en solución de los iones Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, y otros iones solubles involucrados en la formación de yeso (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) y cal (CaCO<sub>3</sub>) (Aguirre, 1989).

**Tabla 1.1** Solubilidad aproximada de varios compuestos encontrados en suelos afectados por sales.

Compuesto	Solubilidad en agua (Tons/Ha) ^
NaCl	31.7
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	43.3
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6.2
NaHCO <sub>3</sub>	6.2
MgCl <sub>2</sub>	46.7
MgSO <sub>4</sub>	23.8
MgCO <sub>3</sub>	9*10 <sup>-3</sup>
CaCl <sub>2</sub>	52.9
CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.26
CaCO <sub>3</sub>	9*10 <sup>-4</sup>

**Tons/Ha: Toneladas por hectárea.**

^ La cantidad total de una sal que puede ser disuelta en el agua contenida en 1\*10<sup>6</sup> Kg de suelo de 20% de contenido de humedad.

**Tabla 1.2** Efecto de la variación en la relación de Na/(Ca+Mg) soluble en la solución del suelo sobre el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Las cifras presentadas son valores promedio que cubren un amplio rango de suelos de regiones áridas.

Concentración (meq/l)		Porcentaje de sodio intercambiable	
Total	Na	Ca + Mg	PSI
15	7.5	7.5	4.2
15	10.0	5.0	7.4
15	12.0	3.0	11.7
15	14.0	1.0	22.0

Meq/l: Miliequivalente por litro.

#### 3.4. Acumulación de sodio intercambiable en los suelos.

Las partículas del suelo adsorben y retienen cationes a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en su superficie. Una vez que los cationes adsorbidos se han combinado químicamente con las partículas del suelo, pueden ser reemplazados por otros cationes que se encuentran en la solución del suelo. Esta reacción, según la cual un catión en solución reemplaza a un catión adsorbido, se llama intercambio de cationes. Los cationes de sodio, calcio y magnesio son rápidamente intercambiables. Otros cationes como el potasio y el amonio pueden quedar retenidos en determinada posición sobre las partículas del suelo, de manera que se intercambian con gran dificultad, diciéndose entonces que se han fijado.

El intercambio de cationes es un fenómeno de superficie y, como tal, se identifica principalmente con el limo fino, la arcilla y otras fracciones de materia orgánica de los suelos. Muchas clases diferentes de minerales y materiales orgánicos que se encuentran en los suelos poseen propiedades de intercambio y en conjunto se conocen como complejo de intercambio. La capacidad de un suelo para adsorber e intercambiar cationes, se puede medir y expresar en equivalentes químicos y se denomina capacidad de intercambio de cationes. Generalmente se expresan en miliequivalentes por 100 gramos de suelo. Varios factores físicos y químicos obran conjuntamente para hacer que el valor medido dependa en parte del método de determinación; sin embargo, la capacidad de intercambio es una propiedad del suelo razonablemente definida y de considerable importancia práctica. En vista de que los cationes adsorbidos pueden intercambiarse libremente con los cationes adyacentes en la solución del suelo, es de esperarse que la proporción de los varios cationes en el complejo intercambiable esté relacionada con su concentración en la solución del suelo.

El calcio y el magnesio son los principales cationes que se encuentran en la solución del suelo y en el complejo catiónico de los suelos normales de las regiones áridas. Cuando en estos suelos se acumula un exceso de sales solubles, generalmente es el catión sodio el que predomina en la solución del suelo y, en esta forma, el sodio puede ser el catión predominante al cual está sujeto el suelo, debido a la precipitación de los compuestos de calcio y magnesio. A medida que la solución del suelo se concentra más a consecuencia de la evaporación del agua y su adsorción por las plantas, los límites de solubilidad del sulfato y carbonato de magnesio casi siempre se exceden, por lo cual se precipitan, causando el correspondiente aumento en las proporciones relativas del sodio. Bajo tales condiciones, una parte del calcio y del magnesio intercambiables son reemplazados por el sodio.

Desde el punto de vista práctico, es afortunado que los cationes calcio y magnesio en la solución del suelo sean más fuertemente adsorbidos que el sodio por el complejo de intercambio. En soluciones de concentraciones equivalentes, las cantidades adsorbidas de calcio y magnesio son varias veces la del sodio. En general, más de la mitad de los cationes solubles debe ser sodio, antes de que sean adsorbidas cantidades de importancia por el complejo de intercambio. Sin embargo, en algunas soluciones de suelos salinos, prácticamente todos los cationes son sodio, por lo que es el catión adsorbido predominantemente (Richards, 1977).

### **3.5. Principales grupos de suelos afectados por las sales en México. (DETENAL-F.A.O.).**

Los suelos con problemas de sales y/o sodio se encuentran en los suelos normales mezclados e intercalados a lo largo de extensas fajas, o más frecuentemente en "manchones" intrusivos y con ciertas características topográficas. Se localizan en las regiones más áridas y semiáridas del mundo, definidas entre las latitudes 56 grados Sur y 59 grados Norte (principalmente alrededor de las latitudes 30 grados N y 30 grados S) y entre las longitudes 120 grados Oeste y 150 grados Este. De las 220 millones de hectáreas bajo riego, en el mundo, casi la mitad están en condiciones inadecuadas para ser cultivadas debido a los procesos degradativos de la salinización. Así mismo, existen alrededor de 300 millones de hectáreas afectadas por las sales en todo el mundo, que ocupan aproximadamente 40% de la superficie total de las regiones áridas y semiáridas. Sin embargo, los suelos salinos y/o sódicos no se restringen a las regiones áridas y semiáridas; aparecen también en regiones húmedas tropicales y subtropicales, principalmente adyacentes a las costas, lagos salinos, estuarios, ríos, y en lugares donde el manejo del agua de riego es inadecuado, a latitudes mayores de las mencionadas (Aguirre, 1989).

#### **3.5.1. Distribución en México.**

En México los principales grupos de suelos afectados por las sales se encuentran localizados en su mayoría en las partes Centro-Norte y Noroeste del País, donde los suelos se han originado en un régimen climático desértico (Región desértica del Norte). Esta región representa la parte más árida del territorio nacional y constituye de hecho una prolongación del sistema de cadenas y depresiones desérticas de los Estados Unidos de América. Dentro

de esta gran región desértica del Norte se pueden distinguir tres subregiones dentro de las cuales se encuentran:

- a) "Cuecas y cordilleras del Centro Norte de México".
- b) "Cordilleras enterradas y llanuras desérticas del Norte de la Sierra Madre Occidental y de las tierras bajas desérticas de Sonora".
- c) "Península de Baja California".

En México la distribución de los suelos afectados por las sales es de gran relevancia, ya que las zonas áridas y semiáridas ocupan cerca del 75% del territorio nacional y la mayoría de los distritos de riego se ubican en estas zonas. Aproximadamente, de un 30% a 40% de las áreas bajo riego presentan este problema, que varía en grados de importancia.

Los distritos de riego en México, se clasifican en tres grupos según su problema de ensalitamiento: a) De importancia secundaria, b) de importancia regular y c) de importancia básica.

Lo anterior, solamente se refiere a los terrenos agrícolas bajo riego. En el área restante del país, la superficie de suelos afectados por las sales se encuentra distribuida, aproximadamente, de la siguiente manera:

- En los litorales	800 000 ha
- Zonas sin riego (principalmente áridas)	1 000 000 ha
- Cuecas cerradas como:	1 000 000 ha
Laguna Mairam, Lago de Texcoco, Lago de Chalco,	
Valles Libres de Puebla, Puebla Oriental.	1 000 000 ha
<b>Subtotal</b> . . . . .	<b>2 800 000 ha</b>

Sumando lo anterior al 30-40% del área bajo riego que presenta problemas de salinidad, existe un total de aproximadamente 4 300 000 ha afectadas en todo el territorio nacional (Aguirre, 1989).

### 3.5.2 Clasificación F. A. O / DETENAL.

La carta de distribución de los principales suelos de la República Mexicana está basada en la clasificación FAO/UNESCO, 1970 y 1974, modificada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, "DETENAL", S. P. P. (INEGI).

Por su origen, grado de evolución y características fisicoquímicas, los suelos de México afectados por las sales se clasifican en los grupos de los Aridisoles o Suelos de Zonas Áridas; Yermosoles, Xerosoles y Solenetz y uno más dentro de los llamados Suelos Aluviales; los Solonchaks.

Estos cuatro tipos de suelos se encuentran definidos como unidades mayores o suelos dominantes y se definen en términos de su morfología, propiedades fisicoquímicas, génesis, entre otras, según los criterios adoptados por los sistemas FAO/DETENAL, y descritos aquí en orden alfabético:

### **Solonchaks ( Z ó SC ).**

- Del Ruso sol, sal y chak área salina.
- Son suelos exclusivos de materiales que presentan propiedades flúvicas (formados de depósitos aluviales recientes) que presentan una salinidad alta sin horizontes diagnóstico, excepto por la presencia de un horizonte A, un horizonte H histórico, un horizonte B cámbico, un horizonte cálcico o un horizonte gypsico.
- Los solonchaks pueden ser divididos en; órticos, mólicos, takyricos, o gleycos, (según la última revisión 1987 FAO/UNESCO, los solonchaks pueden ser; háplicos, mólicos, cálcicos, gypsicos, sódicos, gleycos o géllicos).
- Los solonchaks existen en México en asociación con los yermosoles. Comúnmente se encuentran cerca del punto más bajo de las cuencas llanas desérticas y a veces se han formado en sedimentos lacustres primitivos. Con frecuencia, dentro del perímetro de muchos proyectos de riego, existen pequeñas zonas de solonchaks que suelen manifestarse como puntos difíciles que deberían recibir un tratamiento especial de drenaje-riego para conseguir que el nivel de sales solubles se mantenga en un mínimo.

### **Solonetz (S ó SN).**

- Del Ruso sol, sal y etz, fuertemente expresada.
- Suelos que presentan un horizonte B hátrico.
- Los solonetz pueden ser divididos en: órticos, mólicos, gleycos y álbicos (según la última revisión 1987 FAO/UNESCO, los solonetz pueden ser: háplicos, mólicos, cálcicos, gypsicos o gleycos).
- Estos suelos no son representados como suelos dominantes, pero existen como inclusiones en un gran número de asociaciones de suelos. Ordinariamente se hallan en depresiones y zonas insuficientemente drenadas donde forman complejos con los gleysoles e histosoles. El solonetz gleyco es el tipo más frecuente en el país. Estos suelos están imperfecta o insuficientemente drenados y el aprovechamiento de estas tierras parece estar muy vinculado a las condiciones de drenaje y a la intensidad de los problemas de alcalinidad. El aprovechamiento se limita por lo general a las praderas naturales cuya capacidad de sustentación es baja, pero depende del drenaje natural del suelo.

En condiciones tradicionales estos suelos no se prestan por lo general para el cultivo agrícola. La impermeabilidad de los horizontes inferiores impide el desarrollo radical y causa un régimen higrométrico ( humedad ) desfavorable del suelo. Estos suelos pueden sustentar conjuntos de hierbas de buena calidad, pero son difíciles de utilizar para cultivos de secano. La agricultura perfeccionada en los solonetz depende esencialmente de la posibilidad de sustituir el sodio por el calcio en el complejo de intercambio.

### **Xerosol ( X ).**

- Del Griego xeros, seco.

- Los xerosoles pueden ser: lúvicos, gypsicos, cálcicos, o háplicos. (según la última revisión 1987 FAO/UNESCO, los xerosoles desaparecen como unidades dominantes de suelos y son considerados en segundo nivel, en forma de propiedades yérmicas).

- Los xerosoles se encuentran como zona de separación entre los yermosoles de las porciones más áridas del país y la zona periférica de kastanozems. Se distinguen principalmente los xerosoles háplicos, lúvicos y cálcicos.

- Gran parte de la zona de xerosoles se utiliza exclusivamente para el pastoreo extensivo, pero en algunos lugares se usa el riego y se cultivan cereales secundarios, hortalizas y papas.

Los xerosoles son fértiles, pero carecen del agua suficiente para lograr la asimilación por las plantas. El riego debe practicarse con extremo cuidado debido a la presencia ocasional de capas en el subsuelo que dificultan el drenaje. Cuando estas capas se hallan a escasa profundidad, parte de la zona irrigada puede anegarse fácilmente, provocando que tras el desecamiento se salinice la superficie del suelo. El manejo adecuado de los recursos hídricos, más la adición de fertilizantes nitrogenados, hierro y zinc, puede manifestarse en un aumento considerable de los rendimientos agrícolas. Así pues la tecnología moderna puede aplicarse hábilmente para que los xerosoles se incorporen al aparato productivo del país.

### **Yermosol ( Y ).**

- Del Español yermo, desierto.

- Los yermosoles pueden ser divididos en: takyricos, lúvicos, gypsicos, cálcicos, o háplicos (según la última revisión 1987 FAO/UNESCO, los yermosoles desaparecen como unidades dominantes de suelos y son considerados en segundo nivel, en forma de propiedades yérmicas).

- Los yermosoles se presentan en las partes más áridas del norte y noroeste y son contiguos a las superficies aun más extensas de Norteamérica (EUA) (Aguirre, 1989).

- Su vegetación natural es de matorrales o pastizal.

- Se caracterizan por tener, a semejanza de los Xerosoles, una capa superficial clara y un subsuelo rico en arcilla o similar a la capa superficial. Presentan también en ocasiones acumulación de cal o yeso en el subsuelo, o bien caliche. Se diferencian de los Xerosoles en que su capa superficial es aún más pobre en humus que en éstos. A veces son salinos.

- Su utilización agrícola está restringida definitivamente a las zonas donde se puede contar con agua de riego. Cuando la hay, se puede obtener rendimientos altos en cultivos como el algodón, los granos o la vid. Cuando estos suelos tienen vegetación de pastizal o, como ocurre en el caso de algunos matorrales, la ganadería es posible con rendimientos moderados o bajos. La explotación de ciertas plantas del matorral, como la candelilla y la lechuguilla, es también común en estos suelos ( INEGI ).

### **3.6. Efectos de la salinidad sobre las plantas y el suelo.**

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

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

Las sales pueden por lo tanto causar dificultades nutricionales en los cultivos, debido a su inhabilidad para absorber nutrientes que necesita del suelo.

La reacción altamente sódica debida a la presencia de carbonato de sodio y la gran cantidad de sodio adsorbido limita la asimilación de diversos nutrimentos, especialmente el hierro y zinc, manganeso y fósforo. Así mismo, la solución del suelo alcalino tiene una acción corrosiva sobre la corteza de las raíces y tallos.

El otro mecanismo por el que las sales afectan el desarrollo de las plantas es la toxicidad. Esta cuestión ha sido muy estudiada pero no suficientemente esclarecida. Parece que la toxicidad de las sales no es debida al efecto directo de sus iones sino a que éstos introducen alteraciones en el metabolismo, ocasionando una acumulación de productos tóxicos.

Por ejemplo, el algodón en suelos salinos experimenta un cambio en el metabolismo del nitrógeno, con una acumulación de  $\text{NH}_4$  que tiene un efecto tóxico.

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

Parece que el efecto tóxico es más importante que el de la dificultad de absorción de agua cuando la salinidad no es excesiva. En suelos muy salinos en cambio, la elevada presión osmótica es el factor principal ( Tellez, 1985 ).

<b>CUADRO 1 Disminución de la producción en varios cultivos según los niveles de salinidad del suelo (Tellez, 1985).</b>			
<b>CEe mmhos/cm que causa una disminución en la producción del:</b>			
<b>CULTIVOS</b>	<b>10%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>
Cebada, grano	12	16	18
Remolacha azucarera	10	13	16
Algodón	10	12	16
Cártamo	8	11	12
Trigo	7	10	14
Sorgo	6	9	12
Soya	5.5	7	9
Caña de azúcar	3	5	8.5
Arroz	5	6	8
Maíz	5	6	7
Haba	3.5	4.5	6.5
Lino	3	4.5	6.5
Alfalfa	3	4.5	6.5
Hortalizas:			
Espinaca	5.5	7	8
Tomate	4	6.5	8
Brócoli	4	6	8
Col	2.5	4	7
Papa	2.5	4	6
Camote	2.5	3.5	6
Lechuga	2	3	5
Pimiento	2	3	5

CEe: Conductividad eléctrica del extracto de saturación.  
mmhos/cm: Milimhos por centímetro.

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

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

<b>CUADRO 2 Cultivos afectados por altos PSI (Tellez, 1985).</b>		
<b>PSI</b>	<b>CULTIVOS</b>	<b>EFFECTOS</b>
2 - 10	<b><u>Muy sensibles</u></b> Frutales Cítricos	Sintomas de toxicidad debidos al sodio, aún a niveles bajos.
10 - 20	<b><u>Sensibles</u></b> Frijol Maíz	Reducción del crecimiento aún con suelos en buenas condiciones físicas.
20 - 40	<b><u>Tolerantes</u></b> Zanahoria Trébol Lechuga Avena Cebolla Rábano Arroz Sorgo Espinaca	Ligeros síntomas de toxicidad debida al sodio. Los efectos indirectos ( deterioro de las propiedades del suelo ) son muy-importantes.
+ 40	<b><u>Muy tolerantes</u></b> Tomate Trigo Alfalfa Cebada Algodón Remolacha	Los cultivos se ven afectados únicamente por efectos indirectos.

**PSI: Por ciento de Sodio Intercambiable.**

En el suelo, el efecto principal de la salinidad sobre ellos consiste en su acción sobre la estructura. El sodio intercambiable en los suelos sódicos causa una desfloculación de los coloides y, por tanto, una destrucción de las unidades estructurales del suelo. Esta condición de desfloculación vuelve el suelo más o menos impermeable y retarda la entrada del agua de lluvia o riego e impide el drenaje. Por esta razón, los efectos son tanto más pronunciados cuanto mayor es el contenido de coloides, es decir, cuanto más arcilloso es el suelo. En suelos de textura fina, la penetración de las raíces puede ser restringida por la densidad de la zona desfloculada. La aireación se ve también reducida, causando condiciones anaeróbicas de las que resulta la formación de compuestos de reducción que son tóxicos a las plantas (Tellez, 1985).

### **3.6.1. Relaciones entre el suelo y las plantas.**

#### **Salinidad del suelo.**

Las plantas que crecen en suelos salinos tienden a tener menor tamaño, pero el follaje, por lo general, no registra características específicas. En algunos casos, las plantas que crecen en suelos salinos tienen un color verde azulado más oscuro que aquellas plantas que crecen en condiciones comparables, en suelos no salinos. El color del follaje resulta de su alto contenido de clorofila y de un recubrimiento excepcionalmente grueso de la cutícula. A veces se registran síntomas tales como el chamuscamiento de ápices y partes marginales o interiores de las hojas, moteado o enrollamiento de las hojas y clorosis incipiente (amarilleo). En lo interno, pueden darse cambios morfológicos; por ejemplo, en los tomates se reduce la proporción de tejido vascular o conductor y aumenta el espesor de los tabiques de las células del tejido conductor. A menudo, aumenta el grosor de las hojas.

Se han adelantado tres teorías para explicar diversos aspectos de los efectos nocivos de la salinidad del suelo: la disponibilidad de agua, la inhibición osmótica y la toxicidad específica (Black, 1975).

#### **Disponibilidad de Agua.**

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

La validez de esta teoría de la disponibilidad de agua como explicación suficiente del efecto perjudicial no específico de la salinidad del suelo en el crecimiento vegetal se puede cuestionar basándose en dos tipos de observaciones experimentales. Primero, si la salinidad inhibiese la absorción del agua por las plantas, éstas deberían perder turgencia y debería ser menor la pérdida del agua por transpiración, por unidad de superficie foliar. Bernstein (1961) se refirió a datos inéditos de W.L. Ehrler que mostraban que la transpiración por unidad de superficie foliar no se veía mayormente afectada por la salinidad, y también a los datos de Eaton (1942) que muestran que aunque la salinidad redujo la transpiración, se podía atribuir gran parte de esa disminución a la pérdida concomitante de peso que sufrían las plantas.

El segundo fundamento para cuestionar la validez de esta teoría, es que no existen datos experimentales que avalen el postulado, de que la solución de los solutos que aportan las sales, disminuye la diferencia entre la succión total del agua en la planta y en el suelo y, por ende, reduce la tendencia del agua a penetrar en las plantas.

En general la teoría de la disponibilidad de agua postula que en los suelos salinos las sales actúan en el agua del suelo, y que esta acción que ocurre fuera de las plantas afecta indirectamente el suministro interno del agua. De los datos anteriormente descritos, surge que ésta teoría, por lo menos en la forma que fue concebida originalmente, no es válida (Black, 1975).

### **La Inhibición Osmótica.**

Según esta teoría, el exceso de solutos absorbidos del medio salino es el responsable de la inhibición en el crecimiento vegetal. Se postula además que las sales actúan en el interior de las plantas, aunque sin especificar la forma en que se inhibe el crecimiento. La inhibición hasta podría originarse, en parte, en una deficiencia de agua, pero en un sentido distinto al supuesto a la teoría anteriormente descrita. El exceso de solutos en las plantas disminuye la energía libre por unidad de masa de agua, aún cuando la masa absoluta de agua pueda no verse reducida después que la planta se haya adaptado al exceso de sales que hay en el exterior. Se han publicado muchos estudios sobre ésta teoría, entre ellos los de Slatyer (1961) y Bernstein (1961, 1963) (Black, 1975).

### **La Toxicidad Específica.**

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

Existen pruebas de efectos específicos del sodio, el magnesio, el calcio, el cloruro, el bicarbonato y el sulfato. Entre los cationes, los efectos específicos serían más frecuentes con el sodio y menos frecuentes con el calcio mientras que entre los aniones, serían más frecuentes con el cloruro y menos frecuentes con el sulfato.

Se le atribuye al cloruro más que a cualquier otro ion específico el escaso crecimiento de las plantas en suelos salinos y tal tendencia se traduce en las prácticas de fertilización, ya que desde el punto de vista de la calidad del cultivo se el da preferencia al sulfato sobre el cloruro de potasio. El cloruro a veces hace a las plantas más suculentas, de ahí la afirmación de algunos productores de hortalizas de que los tomates y otras legumbres crecen más firmes con sulfato que con cloruro de potasio y que el repollo y la lechuga son más suculentos ( y por lo tanto en este caso, de calidad superior ), cuando se les aplica cloruro en vez de sulfato de potasio. Sin embargo, quizás se suele exagerar con respecto a la magnitud del efecto de los iones específicos en los suelos salinos dado que en los trabajos

experimentales se agrega generalmente una sola sal en cantidades crecientes, mientras que en la práctica los excesos de sales solubles se componen de una mezcla de ellas (Black, 1975).

### **Tolerancia a la Salinidad.**

Según una reseña publicada por Heyward y Wadleigh (1949), la tolerancia de cada especie y variedad vegetal a la salinidad del suelo aumenta con su capacidad de adaptación a una alta succión interna de solutos y disminuye con su sensibilidad a ésta adaptación. Las plantas originarias de ambientes salinos tienen al mismo tiempo una notable capacidad de adaptación y una sensibilidad restringida. Algunas de estas plantas, conocidas como halófilas, por lo general desarrollan succiones internas de solutos de 30 a 50 bares y pueden crecer mejor en suelos salinos que en los que no lo son. Las plantas cultivadas, aunque en menor grado, también tienen bastante capacidad para adaptarse a una mayor succión interna de solutos pero son más sensibles a la adaptación.

En distintas partes del mundo se han clasificado los cultivos en función de su tolerancia a la salinidad.

Se pueden emplear varios criterios para evaluar el grado de tolerancia de las plantas a la salinidad de un suelo. El Laboratorio de salinidad de E.U.A. ha elegido la conductividad eléctrica del extracto de saturación relacionada con una disminución del 50% en el rendimiento de un cultivo para compararlo con el rendimiento que se obtendría en suelos no salinos. Este criterio facilita la comparación de los distintos cultivos.

La tolerancia que puedan tener las plantas a la salinidad del suelo no es una característica fija para cada especie o variedad sino que puede cambiar según las condiciones ambientales (Black, 1975).

## **3.7. Crecimiento Vegetal.**

### **3.7.1. Aspectos generales.**

La salinidad de los suelos es un problema mundial en la producción agrícola, especialmente en países con grandes extensiones de áreas desérticas y con largos litorales, como lo es México. En las regiones áridas y semiáridas, el desarrollo de los suelos conduce generalmente a la acumulación de sales en el perfil. Dependiendo de las condiciones específicas de cada región, uno o más iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $(\text{SO}_4)^{2-}$  y boratos, etc.) pueden estar presentes dentro de la zona de enraizamiento en altas concentraciones que pueden afectar el rendimiento de los cultivos.

En general la presencia de las sales solubles en el medio nutritivo puede afectar el crecimiento en dos maneras. En primer lugar las altas concentraciones de iones específicos pueden ser tóxicas e inducir desordenes fisiológicos ( $\text{Na}^+$  y borato). En segundo lugar las sales solubles disminuyen el potencial osmótico del agua del medio nutritivo, restringiendo así la asimilación de agua por las raíces de la planta. Este segundo efecto es menos importante, ya que en cierta medida es contrarrestado, debido a que las altas

concentraciones salinas conducen a un incremento de la velocidad de absorción de iones disminuyendo el potencial del agua en las raíces de las plantas, estimulando así la absorción de agua y produciendo una mayor turgencia de las células y de los tejidos de la planta. Esta operación de mantener un balance positivo de agua, es conocido con el nombre de ajuste osmótico. El  $K^+$  y el  $Cl^-$  son especialmente efectivos en llevar a cabo este ajuste osmótico, ya que estas especies iónicas son absorbidas rápidamente y pueden ser acumuladas en altas concentraciones por las plantas. Por esta razón la salinidad debida a los iones  $Cl^-$  suele ser menos dañina que la salinidad debida a los iones  $(SO_4)^{2-}$ , siempre y cuando sean comparadas concentraciones isoosmóticas, además de que los  $Cl^-$  no tienen un efecto tóxico directo sobre la planta. La contribución del  $Na^+$  al ajuste osmótico de las células de la planta varía considerablemente, ya que el potencial de absorción y distribución de este elemento dentro de la planta depende fuertemente de cada especie vegetal.

Las plantas que sufren toxicidad debido a la salinidad, detienen su crecimiento en forma típica, presentando hojas pequeñas y gruesas de color verde-azuloso. Los síntomas de marchitamiento por otro lado, casi nunca son observados. Esto último en contraste con las plantas estresadas por el agua. La mayor turgencia de las plantas afectadas por las sales, como ya fue mencionado, depende del ajuste osmótico provocado por la mayor absorción de iones. Así en condiciones salinas, la turgencia adecuada de estas plantas implica que los efectos causados por las sales solubles, son resultado de los desordenes fisiológicos causados por las sales más que por el efecto osmótico en sí (Aguirre, 1989).

### **3.7.2. Toxicidad de sales.**

La salinidad puede afectar diferentes procesos metabólicos, tales como la asimilación de  $CO_2$ , síntesis de proteínas, respiración, metabolismo fitohormonal, entre otras. Sin embargo, es difícil acertar si estas sales causan estos efectos directamente. La toxicidad comienza con un desbalance de iones en los tejidos de la planta, frecuentemente asociados con el exceso de iones  $Na^+$ . La planta puede soportar hasta cierto grado este exceso de  $Na^+$ , regulando su asimilación o secretándolo. Este proceso requiere de una cantidad de energía extra y por esta razón las plantas sujetas a condiciones salinas presentan mayores valores de respiración y reducen el almacenamiento de azúcares en comparación con las plantas en condiciones no-salinas. Bajo situaciones de alta intensidad luminosa, las plantas muestran generalmente una mayor capacidad de mantener los balances iónicos en los órganos de la planta. El desbalance iónico puede asociarse a los disturbios causados en la asimilación de  $CO_2$  y a la reducción drástica de la transformación de lípidos.

La falta de energía como una consecuencia de la salinidad, puede afectar varios procesos que requieren de esta, tales como la asimilación de  $CO_2$ , la síntesis de proteínas o la asimilación de N-inorgánico. Las condiciones salinas restringen la síntesis de citocininas en las raíces y su traslocación hacia las partes superiores de la planta puede ser inhibida. La síntesis de ácido abscísico, por otro lado, es promovida.

Bajo un estrés severo de salinidad, el citoplasma puede ser sobrecargado de iones  $\text{Na}^+$ , lo cual, puede afectar las enzimas y los organelos presentes en el citoplasma. Algunos estudios han demostrado que en la remolacha azucarera y en las espinacas, (dos plantas natrofilicas), los altos niveles de  $\text{Na}^+$  en el medio exterior promueven la expansión celular y el crecimiento, aunque la síntesis de clorofila puede ser desajustada (Aguirre, 1989).

### **3.7.3. Tolerancia relativa a las sales.**

Existen diferencias marcadas en lo que se refiere a la tolerancia relativa a la salinidad de las especies vegetales. La mayoría de las plantas son más sensibles a la salinidad durante la germinación que en cualquier otra etapa de crecimiento. El éxito de la operación de plantar y de mantener el cultivo en un nivel adecuado depende fuertemente de las condiciones que prevalecen al momento de la siembra. Así el crecimiento en "parches" de los suelos afectados por sales es el resultado de los efectos locales de la salinidad sobre la germinación.

La germinación del frijol y de la remolacha azucarera es más sensible a las sales que la alfalfa y la cebada. Es de interés particular notar que la germinación de la alfalfa y la cebada no es afectada significativamente a conductividades de 4 mmho/cm, (punto de división para clasificar un suelo como salino o no-salino). Este hecho enfatiza la naturaleza arbitraria de la división de los suelos salinos, lo cual indica la necesidad de tomar en cuenta el tipo de planta al considerar la importancia del factor salinidad sobre el crecimiento.

Las halófitas son especies capaces de sobrevivir en altas concentraciones electrolíticas en un medio nutritivo debido a su capacidad de tomar grandes cantidades de iones depositándolos en las vacuolas, donde contribuyen al potencial osmótico. El mecanismo principal del cual dependen estas plantas halófitas es la distribución en compartimientos de los iones inorgánicos.

Algunas especies no-halófitas pueden poseer el mismo mecanismo a un nivel de desarrollo inferior, pero otras especies previenen el exceso de asimilación de sales y protegen a las células contra las altas concentraciones iónicas. En estas especies, sin embargo, la falta de solutos puede resultar en la reducción de la turgencia, de tal manera que la deficiencia de agua, más que la toxicidad de las sales, sea el factor limitante del crecimiento. Es de mencionarse que la habilidad de las plantas de secretar el exceso de iones a las vacuolas, es el mecanismo de defensa contra los efectos salinos, más que el contenido total de sales en las hojas (Aguirre, 1989).

### **3.7.4. Factores que modifican el efecto del sodio intercambiable en los suelos.**

Como podría suponerse, los suelos sódicos con PSI similares, pueden variar considerablemente en sus propiedades físicas, su capacidad para producir cosechas y su respuesta a las prácticas de manejo, incluyendo la aplicación de mejoradores. Aunque no muy bien comprendidas las causas del diferente comportamiento de los suelos sódicos, la experiencia y los pocos datos de que se dispone actualmente, indican que el efecto del sodio intercambiable puede ser modificado por algunas características del suelo. La determinación

de algunas de estas características son frecuentemente de mucha utilidad en la investigación de los suelos alcalinos (Richards, 1977).

### **Textura.**

Es bien sabido que la distribución de tamaños de las partículas tiene influencia en las propiedades de retención y transmisión de humedad en los suelos. Por regla general, un suelo de textura gruesa tiene baja capacidad de retención de agua y una elevada permeabilidad, mientras que un suelo de textura fina tiene una elevada capacidad de retención de humedad pero menor permeabilidad. Sin embargo, debido al mayor grado de agregación de las partículas, existen buenos ejemplos de suelos de textura fina que son moderadamente permeables. La presencia de un 50 por ciento o más, de partículas de limo (de  $2\mu$  a  $50\mu$  de diámetro) es frecuentemente causa de que los suelos tengan una permeabilidad relativamente bajo. También existe evidencia de que algunas partículas del tamaño del limo, y tal vez las que tienen forma laminar, reducen la permeabilidad más que las otras partículas. En general, las propiedades físicas de los suelos de textura fina son afectadas con mayor intensidad para un valor determinado del PSI que las de los suelos de textura gruesa.

A pesar de que los suelos de textura fina tienen casi siempre una mayor capacidad de intercambio catiónico que los suelos de textura gruesa, expresando los niveles críticos de sodio en miliequivalentes por 100 gr., se tiende a eliminar cada vez más el factor textura al evaluar el efecto del sodio intercambiable (Richards, 1977).

### **Materia orgánica.**

La Materia orgánica además de mejorar las propiedades físicas del suelo, es una fuente de elementos nutritivos para las plantas. Existen bases bien fundadas que evidencian que la materia orgánica contrarresta los efectos nocivos del sodio intercambiable en los suelos, la materia orgánica mejora e impide la deterioración de la condición física del suelo por su interacción con los materiales de intercambio catiónico debido a su utilización como material energético para los microorganismos, los cuales inducen la agregación estable de las partículas del suelo y disminuyen indirectamente la densidad aparente de los suelos (Richards, 1977).

La materia orgánica del suelo proviene de los restos de plantas y animales. Esto incluye hierbas, árboles, bacterias, hongos, lombrices y abono animal. La materia orgánica representa una etapa determinada en un movimiento interminable de los elementos carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre entre los organismos vivos y el reino mineral. A medida que se forma materia orgánica nueva, una parte de la vieja pasa a mineralizarse. Muchas de las propiedades deseables de la materia orgánica se deben a su carácter dinámico.

## Funciones de la materia orgánica:

La materia orgánica sirve para muchos fines en el suelo; dichos fines pueden resumirse del modo siguiente:

1. La materia orgánica gruesa en la superficie reduce el impacto de la gota de lluvia que cae y permite que el agua serena se filtre con suavidad en el suelo. Por tanto, reduce el escurrimiento superficial y la erosión; como resultado, hay más agua disponible para el desarrollo de las plantas.
2. La agregación de residuos orgánicos descomponibles con facilidad produce la síntesis de sustancias orgánicas complejas que ligan las partículas del suelo en unidades estructurales llamadas agregados. Estos ayudan a mantener un estado granular suelto, abierto. De ese modo, el agua está en condiciones de entrar y filtrarse hacia abajo con más facilidad a través del suelo. La condición granular del suelo favorece una buena aireación y permeabilidad.
3. Las raíces de las plantas necesitan un suministro constante de oxígeno, a fin de respirar y desarrollarse. Los poros grandes facilitan que el suelo absorba oxígeno de la atmósfera y que expulse bióxido de carbono. Las raíces vivas se pudren y proporcionan canales descendentes a través de los cuales crecen nuevas raíces más abundantes de la planta. Los mismos canales de las raíces son eficaces para transmitir el agua hacia abajo; una parte de esa agua se almacena y más tarde será empleada por las plantas.
4. La materia orgánica incrementa la capacidad de retención de agua. El hecho de que la materia orgánica aumente la capacidad de retención de agua del suelo no significa, necesariamente, un aumento en las existencias de agua disponible para las plantas, dado que la materia orgánica retiene el agua con bastante firmeza, de suerte que el porcentaje constante de marchitamiento crece. La materia orgánica produce un aumento limitado en la cantidad de agua disponible en los suelos arenosos. Además, el suelo granular que resulta de las agregaciones de materia orgánica, suministra más agua que el suelo pegajoso impenetrable.
5. La materia orgánica sirve como un depósito de elementos químicos que son esenciales para el desarrollo de las plantas. La mayor parte del nitrógeno del suelo se presenta en combinación orgánica. Solo una pequeña parte, de ordinario del 1 al 3 por ciento, se presenta en formas inorgánicas en cualquier momento. También una cantidad considerable de fósforo y azufre existe en formas orgánicas. Al descomponerse, la materia orgánica proporciona los nutrientes necesarios para las plantas en desarrollo, así como muchas hormonas y antibióticos. Estos son liberados de acuerdo con las necesidades de las plantas. Cuando las condiciones ambientales son favorables para el crecimiento rápido de la planta, las mismas condiciones favorecen una rápida entrega de nutrientes de la materia orgánica.
6. La materia orgánica al descomponerse produce ácidos orgánicos y bióxido de carbono que ayudan a disolver minerales como el potasio; de esta manera, las plantas en desarrollo pueden obtenerlos más fácilmente.
7. La materia orgánica ayuda a compensar los suelos contra cambios químicos rápidos en el pH, a causa de la agregación de sal y fertilizantes.
8. El humus proporciona un almacén para los cationes, potasio, calcio y magnesio, intercambiables y disponibles. También impide la lixiviación de los fertilizantes amoniacales, porque el humus retiene el amonio en forma intercambiable y obtenible.

9. La materia orgánica sirve como fuente de energía para el desarrollo de los microorganismos del suelo.

10. La materia orgánica reciente proporciona alimento para seres como lombrices, hormigas y roedores. Estos animales perforan el suelo y construyen canales extensos a través de él, los cuales sirven, no sólo para aflojarlo, sino también para mejorar su desagüe y aireación.

Además, esto permite que las raíces de la planta obtengan oxígeno y liberen bióxido de carbono a medida que crecen. Las lombrices sólo pueden vivir en suelos que estén bien provistos de materia orgánica.

11. Las pérdidas de agua por evaporación se reducen mediante capas protectoras orgánicas.

12. La materia orgánica gruesa, despreciable, sobre la superficie de los suelos reduce las pérdidas de suelo por la erosión del viento.

13. Las capas superficiales de paja y estiércol reducen las temperaturas del suelo en el verano y lo mantienen más templado en invierno.

14. La materia orgánica fresca tiene una función especial, porque facilita la obtención del fósforo del suelo en los suelos ácidos. Al descomponerse, la materia orgánica libera citratos, oxalatos, tartratos y lactatos que se combinan con el hierro y el aluminio con más rapidez que el fósforo. El resultado es la formación de un número menor de fosfatos insolubles de hierro y aluminio y la disponibilidad de más fósforo para el desarrollo de la planta.

15. Los ácidos orgánicos liberados de la materia orgánica en descomposición ayudan a reducir la alcalinidad de los suelos.

( Tamhane, 1983 ).

### **3.7.5. Efectos específicos de los iones.**

Los daños a las plantas, o la disminución de su crecimiento, que no puedan relacionarse al efecto de la presión osmótica de la solución, se considerarán como debidos a un efecto tóxico de la sal en estudio. Debe reconocerse que la toxicidad, definida en la forma señalada, no necesariamente involucra un efecto directo de las sales o iones, ya sea sobre las membranas superficiales de las raíces o bien en los tejidos de las plantas. Frecuentemente, la toxicidad puede ser causada, al menos en parte, a través de efectos sobre la adsorción o el metabolismo de nutrientes esenciales. Aunque no siempre es posible distinguir claramente el mecanismo fundamental de los efectos de los iones específicos, es conveniente referirse a tales fenómenos como "toxicidades", en contraste con los efectos osmóticos generales de las sales en el desarrollo de las plantas.

La influencia sobre el crecimiento vegetal, de concentraciones excesivas de sales específicas, es un fenómeno extremadamente complejo que involucra muchos principios fundamentales de la nutrición de las plantas.

Los iones que frecuentemente se encuentran en exceso en suelos salinos, incluyen a los cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sodio, calcio y magnesio. Con menor frecuencia, se presentan cantidades excesivas de potasio y nitratos, las diferencias en tolerancia de las plantas a concentraciones iónicas excesivas en el sustrato, están relacionadas en cierto grado a la selectividad específica en la absorción de iones y a las necesidades nutricionales de las plantas.

Aun cuando no se consideran nutrientes esenciales para las plantas, el sodio y el cloro, cuando se hallan presentes en concentraciones relativamente pequeñas, pueden estimular la productividad de ciertos cultivos. Es por ello que Harner y Benne (1941) han atribuido al sodio incrementos en el rendimiento de remolacha, apio, acelga y nabos. Dichos autores consideran que el sodio es "casi tan necesario como nutriente para estos cultivos, como lo es el ion potasio". Otros investigadores consideran que el efecto del sodio es más indirecto, ya sea substituyendo al potasio en cierto grado cuando éste es deficiente (Lehr, 1949; Dorph-Petersen y Steenbjerg, 1950) o limitando la acumulación excesiva del calcio que, en el caso de la remolacha resulta en el desarrollo de "una planta típica de calcio", caracterizada por coloración verde azulosa y por enanismo (Lehr, 1942). Al igual que el sodio, se ha observado que el cloro aumenta los rendimientos de algunos cultivos, notablemente remolacha, espinaca y jitomate (Hayward y Wadleigh, 1949). Por otra parte, desde hace mucho se ha reconocido que los cloruros afectan adversamente la calidad de los cultivos de papa y tabaco. Sin embargo, en suelos salinos, los iones cloro y sodio se encuentran en concentraciones mucho más elevadas que las acostumbradas en estudios de fertilizantes. Bajo tales condiciones, la elevada presión osmótica de la solución del suelo tiende a oscurecer los efectos específicos del sodio o del cloro sobre los rendimientos y calidad de los cultivos (Bernstein y otros, 1951) (Richards, 1977).

### **3.7.5.1. Sodio.**

Las especies de plantas varían ampliamente respecto a las cantidades de sodio que pueden acumular, y muchas especies tienden a excluir de sus hojas al sodio aun cuando puedan acumularlo en sus tallos y raíces. No obstante esta extrema selectividad de acumulación de sodio por las plantas, se ha informado de muy pocos casos de toxicidad por este elemento. Lilleland y sus colaboradores (1945) describieron una lesión apical, parecida a una quemadura, relacionada con el contenido de sodio de las hojas del almendro, y Ayers y sus asociados (1951) han descrito una "quemadura" por sodio en las hojas de aguacate. En ambos estudios, los suelos en los que se cultivaron los árboles afectados eran lo suficientemente bajos en sales solubles y en sodio intercambiable como para considerarse no salinos-no sódicos. Aun cuando las sales de sodio en cultivos hidropónicos raramente causan reacciones tóxicas en las plantas, los aguacates (Ayers, 1950) y los árboles cuyos frutos tienen el endocarpio pétreo (Brown y otros, 1953) mostraron los mismos tipos de lesiones en las hojas al ser cultivados en arena o en soluciones, que aquellos observados en el campo, confirmando la relación del sodio respecto al daño foliar en estas especies. Datos inéditos por Wadleigh y Gauch indican que las quemaduras foliares en variedades de algodón sensibles a las sales, están estrechamente relacionadas con el contenido de sodio en la hojas.

El sodio del suelo puede ejercer efectos secundarios importantes sobre el desarrollo vegetal a través de modificaciones estructurales adversas en el suelo. Por lo tanto, si el complejo intercambiable contiene cantidades apreciables de sodio, el suelo puede dispersarse y volverse lodoso, causando aireación deficiente y baja disponibilidad del agua (McGeorge y Breazeale, 1938). Esto es especialmente cierto en suelos de textura arcillosa. También pueden provocarse alteraciones nutricionales si el complejo intercambiable se encuentra

saturado con sodio en un 40 ó 50 % (Ratner 1935; Thorne, 1945). Ratner (1944) afirmó que, bajo tales condiciones, el complejo intercambiable en realidad remueve calcio de los tejidos radiculares de la planta, la que puede morir posteriormente debido a una deficiencia de calcio. Los experimentos de laboratorio han demostrado que la adición de calcio, y a veces de magnesio, a suelos sódicos, puede mejorar considerablemente el desarrollo vegetal, causando el incremento respectivo en la absorción de estos elementos por las plantas (Bower y Turk, 1946) (Richards, 1977).

### **3.7.6. Productividad bajo régimen salino.**

En los estudios de productividad agrícola la salinidad del suelo es medida como conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo. La conductividad es mayor mientras mayor sea la concentración salina del extracto. La tabla 2.1 muestra la tolerancia relativa a la salinidad de algunos cultivos, en términos de CE<sub>e</sub> (mmhos/cm) y de disminución en el rendimiento de estas especies de plantas. Generalmente la mayor parte de los cultivos frutales son más sensibles a la salinidad que los granos básicos, los cultivos forrajeros y los hortícolas. Los efectos salinos sobre las plantas están frecuentemente asociados con la etapa de crecimiento de la planta. Para muchas especies la etapa de germinación es la más sensible a la salinidad. Para la mayoría de los cereales el rendimiento del grano es menos afectado que la producción de paja. Para los arrozales, sin embargo, ocurre en forma inversa, ya que este cultivo es precisamente sensible en la etapa de floración y en la colocación de la semilla. La Salinidad puede afectar también la calidad del cultivo, en la remolacha azucarera la producción de azúcar puede ser muy pobre.

Algunos autores han sugerido la enorme necesidad de injertar y producir híbridos de cultivos económicos que sean tolerantes a las sales. Estos autores opinan que adaptando estos cultivos a la salinidad habrá una gran oportunidad de utilizar la inmensa fuente de agua y de nutrimentos de los océanos, evitando el costoso proceso industrial de desalinización. En vista de la gran extensión de los suelos salinos en el mundo y del necesario incremento en la producción para satisfacer la demanda traída por la explosión demográfica, un programa de producción de híbridos probaría ser de gran importancia (Aguirre, 1989).

<b>Tabla 2.1 Tolerancia relativa de los cultivos a la salinidad (Aguirre, 1989).</b>		
<b>Muy Tolerantes</b>	<b>Moderadamente tolerantes</b>	<b>Poco tolerantes</b>
<b>Frutales</b>		
<b>CEe (mmhos/cm) &gt; 8</b>	<b>4 &lt; CEe (mmhos/cm) &lt; 8</b>	<b>2 &lt; CEe (mmhos/cm) &lt; 4</b>
Palma datilera	Granada Higuera Olivo Vid Melón	Peral Manzano Naranja Toronja Ciruelo Almendro Chabacano Fresa Limonero Aguacate Durazno
<b>Hortalizas</b>		
<b>10 &lt; CEe (mmhos/cm) &lt; 12</b>	<b>4 &lt; CEe (mmhos/cm) &lt; 10</b>	<b>3 &lt; CEe (mmhos/cm) &lt; 4</b>
Remolacha Bretón o col rosada Espárragos Espinacas	Jitomate Brócoli Col Pimiento Betabel Coliflor Lechuga Maiz dulce Papas Camote Zanahoria Cebolla Chicharo Calabaza Pepino	Rábano Apio Ejotes Chile

**CEe:** Conductividad eléctrica del extracto de saturación.  
**mmhos/cm:** Milimhos por centímetro.

<b>Tabla 2.1. continuación</b>		
<b>Muy tolerantes</b>	<b>Moderadamente tolerantes</b>	<b>Poco tolerantes</b>
<b>Forrajes</b>		
<b>12 &lt;CEe(mmhos/cm)&lt;18</b>	<b>4 &lt;CEe (mmhos/cm) &lt;12</b>	<b>2 &lt;CEe(mmhos/cm)&lt;4</b>
Zacate alcalino	Trébol blanco	Trébol blanco holandés
Zacate salino	Trébol amarillo	Trébol Alsike
Zacate alcalino de coquito	Zacate inglés perenne	Trébol rojo
Pasto bermuda	Brozo de montaña	Trébol ladino
Hierba Rhodes	Trébol fres	Pimpinela
Cebadilla criolla	Pasto Dallis	
Centeno silvestre del Canadá	Pasto Sudan	
Pasto de trigo occidental	Trigo (para heno)	
Cebada (para heno)	Avena (para heno)	
	Alfalfa California (común)	
	Centeno (para heno)	
	Pasto Orchard	
	Pasto azul	
	Festuca	
	Trébol grande	
	Trébol agrio	
	Maíz forrajero	
<b>Cultivos Comunes</b>		
<b>10 &lt;CEe (mmhos/cm) &lt;16</b>	<b>6 &lt;CEe (mmhos/cm) &lt;10</b>	<b>CEe(mmhos/cm) &lt;4</b>
Cebada (grano)	Centeno (grano)	Alubias
Remolacha azucarera	Trigo (grano)	Frijol
Algodón	Avena (grano)	Caña de azúcar
Cártamo	Arroz	Cacahuate
	Sorgo (grano)	
	Maíz	
	Linaza	
	Girasol	
	Higuerilla	
	Soya	

**CEe:** Conductividad eléctrica del extracto de saturación.  
**mmhos/cm:** Milimhos por centímetro.

### **3.8. Prácticas agrícolas contra la salinidad.**

Existen una serie de prácticas agrícolas que ayudan a disminuir los efectos nocivos de las sales, estas prácticas en su conjunto constituyen una técnica agrícola característica de las áreas salinizadas, hasta el punto que se puede hablar de una verdadera agricultura de suelos salinos. Entre las que destacan las prácticas siguientes:

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

#### **ELECCION DE CULTIVOS:**

Aparte de la resistencia a la sal, una característica muy interesante de algunos cultivos es su capacidad de absorción de las sales del suelo. Entre estas plantas hay que destacar al girasol, que además, aporta gran cantidad de materia vegetal al suelo, mejorando su estructura. Así mismo, debido a su elevada evapotranspiración, hace descender la capa freática, disminuyendo el aporte capilar de sales. Otros cultivos que eliminan cantidades importantes de sales son la alfalfa, que puede extraer 25 Kg de Na/ha. y el apio (Tellez, 1985).

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

En general, estas mejoras exceden del cometido de los responsables de las explotaciones agrícolas, e incumben más a técnicos en mejora genética. Por tanto sólo se citará la posibilidad de obtener variedades resistentes por medio de selección artificial, cruzamiento intervarietal e hibridación.

Existen algunas técnicas que aumentan la tolerancia de las plantas. No obstante, aún no llegan a constituir una práctica agrícola normal, por lo que sólo se numeran: tratamiento de semillas con aguas saladas antes de la siembra, vernalización en soluciones nutritivas y tratamientos con ciertos inhibidores del crecimiento que hacen a las plantas más resistentes a la acción tóxica de las sales (Tellez, 1985).

#### **ABONADO:**

El empleo de sales muy solubles como abono, sobre todo potásicas aumenta la concentración en sales de la solución del suelo, con sus correspondientes efectos nocivos. Por tanto se deben preferir abonos menos solubles. Entre el KCl y K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> es preferible el cloruro. Otra medida de fertilización conveniente es el empleo de fertilizantes orgánicos y foliares (Tellez, 1985).

#### **METODOS Y PRACTICAS DE RIEGO:**

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

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

**a) Permite lavados más energéticos.**

**b) La aplicación sobre las partes aéreas de las plantas con aguas salinas puede causarles ciertos perjuicios. Así ocurre, por ejemplo, en el riego por aspersión de cítricos con agua conteniendo cloruros, que producen quemaduras en las hojas. En cambio el riego por aspersión tiene la ventaja de proporcionar al suelo una distribución mucho más regular del agua. En general, el riego por gravedad puede provocar la salinización de los suelos más fácilmente que el de aspersión. En cambio, es más efectivo en la recuperación de suelos ya salinizados. De cualquier forma, la salinización de los suelos ocasionada por el riego depende más de un adecuado manejo del agua, en particular del exceso de agua de riego, que del sistema empleado en su aplicación.**

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

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

**Cuando el suelo es normal, pero se utiliza para el riego aguas de elevada salinidad, algunas experiencias muestran que el sistema de goteo produce mejores resultados que los otros sistemas.**

**La razón es que el riego por goteo tiene intervalos entre uno y otro más frecuentes y en consecuencia el suelo siempre tiene una humedad alta. La solución del suelo se concentra menos que en riegos por gravedad o aspersión, donde en el momento anterior al riego la humedad está por debajo de la capacidad de campo.**

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

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

**1. A continuación de un riego bien aplicado, el suelo queda con una humedad próxima a la capacidad de campo. A partir de ese momento, la evapotranspiración disminuye el contenido de humedad, sin disminuir grandemente el contenido de sales.**

**En consecuencia la concentración salina del agua del suelo aumenta, y si se permite que alcance ciertos valores, puede llegar a perjudicar el desarrollo normal de los cultivos.**

Por esta razón es recomendable aplicar riegos con mayor frecuencia y menor dosis de lo que se haría si no hubiese problemas de sal. De esta manera la humedad del suelo no se aporta mucho de la capacidad de campo y las sales no alcanzan una concentración excesiva.

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

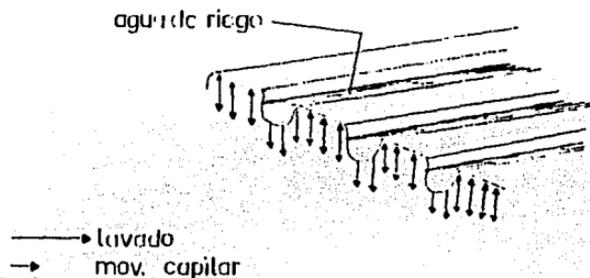


Fig. No. 1 Lavado de sales acumuladas en la zona radicular ( Tellez, 1985).

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

- a) No sembrar en la cumbre del surco. Si la planta lo permite, sembrar en el fondo del surco y si no, en los laterales.
- b) Establecer una rotación de cultivos que permita alternar el riego por surcos con otros sistemas de gravedad, por ejemplo inundación.

c) Si la medida anterior no es conveniente por razones económicas, después de un periodo que involucre varias cosechas, se deben desplazar los surcos al construirlos de nuevo, de manera que los surcos no ocupen siempre la misma franja de tierra (Tellez, 1985).

### **3.9. Calidad de aguas para riego.**

Las aguas naturales siempre contienen componentes químicos. Estos componentes y sus concentraciones determinan la calidad del agua y su utilidad para la irrigación. Las principales sales solubles, tal como fue mencionado con anterioridad, son los cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), y algunas veces los carbonatos ( $(\text{CO}_3)^{2-} + (\text{HCO}_3)^{-}$ ), de los cationes calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ). Algunos elementos se presentan también en pequeñas cantidades y algunos pueden ser muy tóxicos, boro (B).

Usualmente la calidad del agua de uso agrícola proveniente de una fuente determinada, varía con las estaciones del año. Normalmente durante la época de lluvias la calidad química es mejor que durante la época de secas.

Existen cuatro criterios principales de evaluación del daño potencial que presentan las aguas de riego, éstos criterios se encuentran relacionados con el carácter químico del agua: la concentración total de sales solubles, la cantidad de sodio, la alcalinidad por carbonatos, y el boro u otras sustancias fitotóxicas. Estos criterios pueden ser utilizados como instrumentos de clasificación de las aguas según los efectos esperados sobre el crecimiento vegetal (Aguirre, 1989).

La calidad del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga. Por lo tanto, la calidad del agua es una consideración importantísima para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego (Richards, 1977).

#### **3.9.1. Características que determinan la calidad.**

Las características más importantes que determinan la calidad del agua para riego son: 1) La concentración total de sales solubles; 2) la concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes; 3) la concentración de boro u otros elementos que puedan ser tóxicos; y 4) bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio (Richards, 1977).

#### **Conductividad eléctrica.**

La concentración total de sales solubles en las aguas de riego, para fines de diagnóstico y de clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica, la cual se puede determinar en forma rápida y precisa.

Casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen una conductividad eléctrica menor de 2,250 micromhos/cm. Ocasionalmente se usan aguas de

mayor conductividad, pero las cosechas obtenidas no han sido satisfactorias, excepto en raras ocasiones.

Un suelo es salino cuando la conductividad de su extracto de saturación es mayor de 4 milimhos/cm ó 4,000 micromhos/cm. Se ha encontrado que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo, en ausencia de acumulación de sales provenientes del agua subterránea, es generalmente de 2 a 10 veces mayor que la correspondiente al agua con que se ha regado. Este aumento en la concentración de sales es el resultado de la extracción continua de la humedad por las raíces y por la evaporación. Por lo tanto, el uso de aguas entre moderada y altamente salinas, puede ser la causa de que se desarrollen condiciones de salinidad, aun cuando el drenaje sea satisfactorio. En general, las aguas cuya conductividad eléctrica sea menor de 750 microhmos/cm son satisfactorias para el riego por lo que respecta a sales. aun cuando los cultivos sensibles pueden ser afectados adversamente cuando se usan aguas cuya conductividad varíe entre 250 y 750 micromhos/cm.

Las aguas cuya conductividad eléctrica varía entre 750 y 2,250 micromhos/cm son comúnmente utilizadas, obteniéndose con ellas crecimiento adecuado de las plantas, siempre y cuando haya un buen manejo de la tierra y un drenaje eficiente; sin embargo, las condiciones de salinidad se presentarán si el lavado y el drenaje no son adecuados. El empleo de aguas con conductividad eléctrica mayor de 2,250 micromhos/cm, es una excepción y rara vez se obtienen buenos resultados. Únicamente los cultivos más tolerantes a las sales se pueden desarrollar bien cuando se riegan con este tipo de aguas y siempre que se aplique agua en abundancia y el drenaje del subsuelo sea adecuado.

Es evidente que las propiedades de transmisión del agua, el drenaje del suelo y la tolerancia a las sales del cultivo que se va a producir, son factores importantes en la evaluación de aguas para riego desde el punto de vista de su concentración total de sales (Richards, 1977).

#### **Relación de adsorción de sodio (RAS).**

Los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego reaccionan con los suelos en forma iónica. Los principales cationes son calcio, magnesio y sodio, con pequeñas cantidades de potasio. Los aniones principales son carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros y, en menor cantidad, nitratos y fluoruros. El peligro de la sodificación que entraña el uso de una agua de riego, queda determinado por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación y, al contrario, si predominan el calcio y el magnesio, el peligro es menor. La importancia de los constituyentes catiónicos de una agua de riego con relación a las propiedades físicas y químicas del suelo, se reconoció mucho antes de que las reacciones del intercambio catiónico fueran bien comprendidas. Scofield y Headley (1921) resumieron el resultado de varios experimentos para recuperación de suelos sódicos, diciendo que " las aguas duras hacen tierras blandas y las aguas blandas las endurecen ". Los suelos sódicos se forman por acumulación de sodio intercambiable y con frecuencia se caracterizan por su baja permeabilidad y difícil manejo.

Anteriormente la proporción relativa del sodio con respecto a otros cationes en el agua de riego, se expresaba en términos del porcentaje de sodio soluble. Sin embargo, la relación de adsorción de sodio (RAS) en una solución del suelo, se relaciona con la adsorción de sodio y, en consecuencia, esta relación puede usarse como " índice de sodio " o " del peligro de sodificación que tiene dicha agua ".

La concentración de la solución del suelo aumenta a causa de la extracción de agua del suelo por las raíces y a causa de la evaporación. Debido a que la cantidad de sal absorbida por las plantas es relativamente pequeña, la solución remanente en el suelo es más concentrada que el agua de riego aplicada. Al siguiente riego, esta solución más concentrada puede ser desplazada hacia abajo o ser diluida, y de este modo, la concentración de la solución que está en contacto con el suelo, varía con el tiempo y localización en el perfil. No es raro encontrar agua subterránea o agua de drenaje de concentración de 2 a 10 veces mayor que el agua para riego. Es de suponerse que para una profundidad limitada del suelo, como en los primeros 30 cm., la concentración de la solución del suelo no es, en promedio, más de 2 ó 3 veces la concentración del agua para riego.

Si en un suelo cualquiera se hace caso omiso de la precipitación y de la absorción de sales solubles por las raíces, fácilmente se comprende que el agua para riego, una vez que penetra al suelo, se vuelve más concentrada sin cambiar su composición relativa, o sea, que el porcentaje de sodio soluble no se altera.

Se ha observado que donde se riega con agua de composición relativamente constante y se tiene buenas condiciones de drenaje, el PSI varía muy poco de una estación a otra o de un año a otro. Esto significa que el material de intercambio catiónico del suelo alcanzado un equilibrio con relación a los cationes de la solución del suelo provenientes del agua para riego.

Hace falta todavía más datos para explicar la relación del sodio intercambiable con respecto a la calidad del agua en las prácticas de riego.

La RAS parece ser un índice útil para designar el peligro del sodio en las aguas para riego (Richards, 1977).

### **Boro.**

El boro se encuentra en casi todas las aguas naturales y su concentración varía desde trazas hasta varias partes por millón. Es esencial para el crecimiento de las plantas, pero demasiado tóxico cuando excede apenas ligeramente el nivel óptimo. Eaton (1944) encontró que muchas plantas podían crecer normalmente en cultivos de arena con trazas de boro ( de 0.03 a 0.04 p.p.m. ) y que se presentaba toxicidad cuando la concentración llegaba a 1 p.p.m. (Richards, 1977).

## **Bicarbonatos.**

En aguas ricas en iones bicarbonato hay la tendencia del calcio y del magnesio a precipitarse en forma de carbonatos a medida que la solución del suelo se vuelve más concentrada. Esta relación no se completa totalmente en circunstancias ordinarias, pero a medida que va teniendo lugar, las concentraciones de calcio y magnesio se van reduciendo, aumentando así la proporción relativa del sodio (Richards, 1977).

### **3.9.2. Peligro del sodio.**

Una clasificación de la calidad de las aguas con respecto al peligro del sodio, es más complicada que en el caso del peligro por salinidad. Se puede considerar el problema, desde el punto de vista del grado probable al que un suelo adsorberá el sodio del agua, así como la velocidad a que tiene lugar dicha adsorción al aplicar el agua. Considérese el caso simple en que un suelo no sódico esta siendo lavado constantemente con agua de riego alta en sodio y en dichos suelos se ha impedido un aumento en la concentración de las sales de la solución por la ausencia del desarrollo vegetal y de la evaporación superficial. Bajo estas condiciones, el por ciento de sodio intercambiable (PSI) que tendrá el suelo cuando éste y el agua estén en equilibrio, se puede pronosticar aproximadamente conociendo el valor de la RAS del agua. La velocidad a la cual se alcance el equilibrio dependerá de la concentración catiónica total, o sea la conductividad eléctrica del agua. Por lo tanto, en una situación como la indicada, el riego con aguas que tengan idéntica RAS y CE variable, puede resultar en casi los mismos PSI, pero la cantidad de agua necesaria para que el suelo adquiera este último PSI, variará inversamente a la CE. En la práctica, el valor de la RAS del agua aumenta en el suelo a consecuencia del aumento de la concentración de todas las sales y de la posible precipitación de las de calcio y magnesio a medida que disminuye el contenido de humedad por la extracción que hacen las plantas y por la evaporación superficial. Esto causa que el PSI sea un poco más alto que el que se pronosticaría de acuerdo RAS del agua. Aunque el valor de la RAS es el mejor índice de equilibrio del PSI del suelo con relación al agua para riego, la concentración catiónica total o conductividad, es un factor adicional (Richards, 1977).

### **3.9.3. Clasificación de aguas para riego.**

Al clasificar las aguas para riego, se supone que se van a usarse bajo condiciones medias con respecto a la textura del suelo, la velocidad de infiltración, el drenaje, la cantidad de agua usada, el clima y la tolerancia del cultivo a las sales. Desviaciones considerables de cualesquiera de estas variables, pueda hacer inseguro el uso de una agua que bajo condiciones medias sería de muy buena calidad o, al contrario, pueden inducir a considerar una agua como buena cuando bajo condiciones medias sería de dudosa calidad. Esto debe tenerse muy en cuenta cuando se trata de clasificar las aguas para riego.

Clasificación de aguas para riego:

La clasificación de aguas para riego está basado en la conductividad eléctrica en micromhos por centímetro en la relación adsorción de sodio (Richards, 1977).

**Agua de baja salinidad:** Puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero éste se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

**Agua de salinidad media:** Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

**Agua altamente salina:** No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado se puede necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiendo, por lo tanto, seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

**Agua muy altamente salina:** No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado; en este caso, se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales (Richards, 1977).

#### **Sodio.**

La clasificación de las aguas de riego con respecto a la RAS, se basa primordialmente en el efecto que tiene el sodio intercambiable sobre la condición física del suelo. No obstante, las plantas sensibles a este elemento pueden sufrir daños a consecuencia de la acumulación del sodio en sus tejidos cuando los valores del sodio intercambiable son más bajos que los necesarios para deteriorar la condición física del suelo (Richards, 1977).

**Agua baja en sodio:** Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

**Agua media en sodio:** En suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aún si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas sólo pueden usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

**Agua alta en sodio:** Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que éstos necesitarán prácticas especiales de manejo - buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riegan con este tipo de aguas. Puede requerirse el uso de mejoradores químicos para substituir el sodio

intercambiable; sin embargo, tales mejoradores no serán económicos si se usan aguas de muy alta salinidad.

**Agua muy alta en sodio:** Es inadecuada para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómico el empleo de esta clase de aguas.

Ocasionalmente, el agua de riego puede disolver un buen porcentaje de calcio en los suelos calcáreos, de tal manera que disminuye notablemente el peligro por sodio (Richards, 1977).

#### **Efecto de la concentración de boro en la calidad del agua.**

El boro, en pequñísimas concentraciones, es esencial para el desarrollo normal de las plantas. La deficiencia de boro produce síntomas apreciables en muchas especies. Es muy tóxico para ciertas especies, y la concentración que afecta ha estas es casi la misma que necesitan para un desarrollo normal muchas de las plantas tolerantes. Así, por ejemplo, los limoneros muestran daños definidos y a veces económicamente importantes, cuando se riegan con agua que contenga 1 p.p.m. de boro, en tanto que la alfalfa logra su desarrollo máximo si el agua de riego posee de 1 a 2 p.p.m. de boro.

Las concentraciones tóxicas de boro que se encuentran en algunas aguas de riego obligan a tener presente a este elemento para establecer su calidad.

El boro, con frecuencia se presenta en concentraciones tóxicas junto con otras sales que también se encuentran en los suelos salinos. Puede ser lavado del suelo, pero si desde un principio las concentraciones son elevadas, aún cuando la concentración de las otras sales se reduzca a un nivel de relativa seguridad, puede quedar en el suelo una cantidad de boro suficiente para causar problemas a las plantas (Richards, 1977).

#### **Efecto de la concentración de bicarbonatos en la calidad del agua.**

Usando el término " carbonato de sodio residual " según Eaton (1950), puede concluirse que las aguas con más de 2.5 m.e./l de " carbonato de sodio residual ", no son buenas para riego. Aguas que contienen de 1.25 a 2.5 m.e./l, con toda seguridad son buenas. Se considera que las buenas prácticas de manejo y la aplicación de mejoradores químicos, podría permitir el uso de las aguas dudosas para riego. Esta conclusiones están basadas en datos muy limitados y tienen carácter tentativo únicamente.

Cuando se investiga la calidad del agua para riego, lo primero que debe considerarse son los peligros de salinidad y sodificación. Deben considerarse además, otras características, como boro u otros elementos tóxicos y la concentración de bicarbonatos, ya que uno u otro hacen variar la calidad. Al recomendar el empleo de una agua determinada, no debe olvidarse lo relativo al drenaje y a las prácticas de manejo (Richards, 1977).

### **3.9.4. Salinidad.**

La concentración total es probablemente el criterio más importante para clasificar las aguas de riego según su calidad. La importancia se deriva del hecho de que la salinidad de la solución del suelo esta relacionada , y frecuentemente determinada por la salinidad del agua de riego. Así el crecimiento vegetal puede ser afectado o prevenido, dependiendo del contenido total de sales en el agua.

La concentración total puede ser expresada en términos de concentración (partes por millón; ppm) de sales disueltas, o en términos de conductividad eléctrica (CE) de la solución (en mmhos/cm). Este último es normalmente preferido (Aguirre, 1989).

### **3.9.5. Sodicidad.**

El sodio es un catión que causa condiciones físicas y químicas adversas en los suelos. Cuando se encuentran húmedos estos suelos se vuelven impermeables al aire y al agua, y cuando secos se endurecen provocando una gran dificultad al arado. Así puede desarrollarse también una densa costra en la superficie del suelo, la cual previene la óptima germinación y la emergencia de las plantulas.

El índice más usado para evaluar el daño potencial de la sodicidad, o la tendencia de las agua a producir suelos con valores altos de sodio intercambiable es la relación reducida "RAS" (Relación de Adsorción de Sodio) (Aguirre, 1989).

#### **3.9.5.1. Exceso de sodio.**

Según la terminología de Bower y otros (1958), suelo sódico es aquel que contiene sodio intercambiable en cantidad suficiente como para impedir el crecimiento de la mayoría de las plantas de cultivo. Para definirlos se dice que los suelos sódicos son aquellos que tienen un grado de saturación de sodio equivalente al 15% ó más de la capacidad de intercambio catiónico.

El exceso de sodio intercambiable afecta tanto las propiedades físicas como químicas de los suelos y hay pruebas de que ambos tipos de efectos tienen consecuencias importantes en términos de la adecuación de un suelo como sustrato para el crecimiento vegetal. Las condiciones críticas varían según las características del suelo y de las plantas (Black, 1975).

#### **Efectos físicos.**

La marcada influencia del sodio intercambiable sobre el total de propiedades físicas de los suelos se relaciona principalmente con el comportamiento de la arcilla y de la materia orgánica, que es donde se concentra la mayor parte de la capacidad de intercambio catiónico.

El más importante de los efectos físicos parecería ser el impedimento que a la emergencia de las plántulas ofrece la costra dura superficial (Black, 1975).

### **Efectos nutritivos.**

Quizás el primer interrogante que debe responderse con respecto a los efectos nutritivos sea, por que se elige el sodio intercambiable y no el sodio soluble como índice. Hace muchos años se eligió el primero como índice del estado del sodio en los suelos y se le ha continuado usándole en parte por tradición. Si se toman en cuenta las condiciones del papel de las bases intercambiables y solubles en la nutrición vegetal, parecen existir motivos suficientes para prever la conveniencia de utilizar el porcentaje de sodio intercambiable como índice de sus efectos en la nutrición. Si la cantidad de iones que absorben las plantas se relaciona con la proporción de iones en solución, y no con la relación de actividades o la concentración de cationes monovalentes sobre la raíz cuadrada de la actividad o concentración de cationes bivalentes, ni el porcentaje de sodio intercambiable ni la relación de adsorción de sodio podrían ser los mejores índices del efecto del sodio.

Tal vez el segundo problema a resolver sea el valor comparativo de la cantidad absoluta de sodio intercambiable como índice del estado nutritivo relativo de los suelos en lo que respecta al sodio. Los dos índices son de igual valor para un suelo dado, por ser la cantidad de sodio intercambiable igual al producto entre el porcentaje de sodio intercambiable y un factor constante ( capacidad de intercambio catiónico / 100 ). La prueba definitiva es el comportamiento de los dos índices cuando se trata de suelos distintos.

El pH tiende a aumentar con el porcentaje de sodio intercambiable dado que los efectos desfavorables de los suelos sódicos en el crecimiento de las plantas se agravan con el incremento tanto en el sodio intercambiable como en el pH del suelo, es importante conocer si esos efectos se deben principalmente al sodio o al pH.

Pruebas diversas señalan que el exceso de sodio intercambiable tiene efectos desfavorables que no se pueden atribuir a una gran actividad del ion oxhidrilo.

Parecería imposible atribuir los efectos desfavorables del sodio intercambiable sobre el crecimiento vegetal al deterioro de la estructura del suelo y a los efectos secundarios con él relacionados. Sin embargo no se conoce bien el mecanismo de la producción de los efectos nutritivos perjudiciales del sodio. La teoría más específica propone que el exceso de sodio ocasiona deficiencias de otros cationes, especialmente de calcio y de magnesio.

Parecería que la acción del sodio tuviera un efecto triple en la inducción de las deficiencias de calcio y magnesio. Primero, dado que el sodio intercambiable está retenido débilmente cuando el suelo tiene un alto porcentaje de sodio intercambiable, los iones que se liberen a la solución de suelo en un intercambio incompleto serán en su mayoría iones sodio. Segundo, a los altos valores de pH que por lo general se relacionan con el sodio intercambiable en exceso sin un exceso de sales, la solución de suelo contiene iones bicarbonato y carbonato que tienden a precipitar el calcio y el magnesio en forma de carbonatos.

La tercera acción del sodio es la de excluir por competencia al calcio y al magnesio de la absorción, pues se absorbe sodio en lugar de estos elementos.

Otra teoría que se maneja con respecto al efecto perjudicial del exceso de sodio es que el exceso de sodio que absorben las plantas las afecta negativamente. Ya se ha estudiado esta teoría en extenso cuando se vio la relación de la salinidad del suelo con el crecimiento vegetal. En los experimentos realizados por Ayers y otros (1951), el síntoma de un exceso de sodio era la formación de manchas de tejido muerto en las hojas. En investigaciones llevadas a cabo para determinar la tolerancia al sodio de varias plantas, Bower y Wadleigh (1949), Bernstein y Pearson (1956) y otros investigadores comprobaron que algunas especies vegetales, en medios con alto contenido de sodio, lo acumulan en sus raíces, aunque es poco el que transfieren a las partes aéreas; mientras que otras especies transfieren fácilmente sodio a las partes aéreas y lo acumulan poco en las raíces. Por razones que aún se desconocen, esta tendencia a retener sodio en las raíces está relacionada con la sensibilidad al exceso de sodio.

Una razón importante que permite distinguir los suelos salinos y no sódicos de los salinos y sódicos es que cuando hay sodio en exceso, la eliminación del excedente de sales por medio del lavado con agua hace que el suelo tenga menor conductividad para ésta. Este efecto puede no ser importante en suelos de textura bastante gruesa, pero en los de textura fina la conductividad hidráulica suele descender a un nivel tal que se deben abandonar los suelos ya que no sería económico tratarlos; para evitar que se forme el suelo sódico y no salino se podría transformar el suelo salino y sódico en salino y no sódico, si antes del lavado se le aplica agua con una menor relación de adsorción de sodio. Una forma de hacerlo sería cambiar el origen del agua. Otra sería reducir la concentración de sales; para esto se le mezclaría con una cantidad cada vez mayor de agua con bajo contenido de sales, sobre la base del principio de que la relación de adsorción de sodio del agua disminuye con la dilución, forzando así al calcio y al magnesio del agua a un intercambio con el sodio en el suelo (Reeve y Bower, 1960). Sin embargo, por lo común se dispone de una sola fuente de agua y, de ser así, se puede eliminar parte de las sales por el lavado y luego se agrega alguna sustancia que se intercambie con el sodio y que facilite su eliminación en posteriores lavados. El sodio, que es retenido con menos fuerza en forma intercambiable que el calcio y el magnesio, es el que se elimina preferentemente.

Hay tres tipos generales de sustancias que se usan para reemplazar al sodio intercambiable:

1) sales de calcio solubles ( cloruro de calcio, yeso ); 2) ácidos o sustancias que forman ácidos (azufre, ácido sulfúrico, sulfato de hierro, sulfato de aluminio, azufre calcáreo), y 3) carbonatos de calcio y magnesio ( caliza, dolomita, subproductos de carbonato de calcio provenientes de ingenios azucareros ). La elección más adecuada entre estas sustancias dependerá de su costo y de la naturaleza del suelo. Las dos primeras clases de correctivos se pueden usar en suelos que contengan carbonatos de calcio y magnesio, pero no la tercera. Para suelos que no contienen carbonatos de calcio y magnesio son eficaces las primeras dos clases, mientras que la tercera tiene eficacia cuando el valor del pH es inferior a 7.5. Si para reemplazar al sodio se necesita una cantidad de las sustancias de la clase ( 2 ) que volviera demasiado ácido al suelo ( pH menor de 6 ), se podría usar una mezcla de sustancias de la

clase ( 2 ) con las de las clases ( 1 ) ó ( 3 ), o ambas. Las sustancias solubles se pueden aplicar y distribuir en el agua de riego, pero las demás sustancias se aplicarán directamente al suelo. Estos principios rigen para la eliminación del excedente de sodio, sea de los suelos salinos y sódicos como de los sódicos y no salinos; sin embargo, el tiempo que se requiere para la eliminación será mayor en los segundos, por el desplazamiento más lento del agua en el suelo (Black, 1975).

### 3.9.6. Alcalinidad.

Este criterio es importante, ya que la asociación de los aniones (HCO<sup>3-</sup>) y (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) con los cationes Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> tiende a precipitar estos últimos como carbonatos insolubles. El CaCO<sub>3</sub> es menos soluble que el MgCO<sub>3</sub>, lo cual provoca una menor tendencia del Mg a precipitar. Así el Mg<sup>2+</sup> puede ser eliminado de la solución por una reacción indirecta. El Mg<sup>2+</sup> entra en el complejo de cambio reemplazando al Ca<sup>2+</sup>, el cual reacciona con los carbonatos, precipitando así, como CaCO<sub>3</sub>. Ordinariamente el Mg<sup>2+</sup> no reemplaza al Ca<sup>2+</sup> en gran medida, pero lo hace si el Ca<sup>2+</sup> es continuamente extraído de la solución por el proceso de precipitación. La fijación del Mg<sup>2+</sup> procede en esta manera hasta que prácticamente todo el Ca<sup>2+</sup> ha sido reemplazado.

Puesto que en esta manera Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> son eliminados de la solución, el Na<sup>+</sup> se convierte generalmente, en el catión dominante, incrementando el riesgo de sodicidad. Este riesgo puede ser evaluado en términos del valor Carbonato de Sodio Residual (RSC), definido como:

$$RSC = ((CO_3)^{2-} + (HCO_3)^{-}) - ((Ca)^{2+} + (Mg)^{2+})$$

en la cual las concentraciones se expresan en meq/l. Algunos autores estiman que un valor de RSC > 2.5 meq/l, indica que probablemente dicha agua no es utilizable para propósitos de riego.

El riesgo de la alta alcalinidad en el agua de riego, son los efectos adversos que causan en la estructura del suelo. Si el uso de aguas con valores altos de relación de adsorción de sodio, es inevitable, debe usarse la menor cantidad posible de agua, tomando en cuenta las necesidades del cultivo y la lixiviación de sales. Para estos casos es aconsejable usar mejoradores químicos. Los mejoradores más comunes que se le añaden al agua o al suelo son el sulfato de calcio, yeso (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) y el azufre (S).

El ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), cal (CaCO<sub>3</sub>), cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>), sulfato de aluminio (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) y la roca caliza pueden usarse. La elección depende de la disponibilidad, la solubilidad y el costo de la sustancia química. En general todas estas sustancias incrementan el nivel de Ca disponible, ya sea directa o indirectamente, aportando las formas disponibles de Ca, este aumento en la cantidad de Ca reduce el valor RAS.

El sistema de clasificación de aguas de riego más ampliamente usado, es el sistema propuesto por el laboratorio de salinidad de los EUA. Esta clasificación está basada en la interrelación de la CE (contenido total de sales) y el valor RAS (concentración relativa de sodio). Los criterios aplicados a los sistemas de riego en las regiones subhúmedas o en casos de riego suplementarios es menos rígida que la aplicada a los sistemas de riego de las zonas áridas, ya que en este último caso grandes cantidades de agua son usadas y la acumulación en el suelo puede volverse prohibitivamente alta (Aguirre, 1989).

### 3.10. Cultivos forrajeros resistentes a la salinidad.

Muy tolerantes	Moderadamente tolerantes	Poco tolerantes
Zacate alcalino	Trébol blanco	Trébol blanco holandés
Zacate salino	Trébol amarillo	Trébol Alsike
Zacate alcalino de coquito	Zacate inglés perenne	Trébol rojo
Pasto bermuda	Brozo de montaña	Trébol ladino
Hierba Rhodes	Trébol fres	Pimpinela
Cebadilla criolla	Pasto Dallis	
Centeno silvestre del Canadá	Pasto Sudan	
Pasto de trigo occidental	Trigo (para heno)	
Cebada (para heno)	Avena (para heno)	
	Alfalfa California (común)	
	Centeno (para heno)	
	Pasto Orchard	
	Pasto azul	
	Festuca	
	Trébol grande	
	Trébol agrio	
	Maíz forrajero	

### 3.11. Cultivos forrajeros resistentes al sodio.

#### KOCHIA.

La escasez de forraje está provocando considerables problemas a nivel mundial ya que mucho ganado muere, sobre todo, en época seca. Lo anterior, indica la necesidad de buscar nuevas alternativas entre las diversas plantas forrajeras. En México, se empieza a agudizar la problemática por la falta de forraje en la mayor parte del país.

La Kochia Kochia scoparia L. Schrad, representa una buena alternativa como productora de forraje; es originaria de la depresión salina de Barabanskaya en la C.E.I., y se estableció en América a principios de este siglo. Esta planta representa una de las opciones para hacer frente a la muerte del ganado por carencia de forraje; crece bien en tierras áridas y

semiáridas, también puede adaptarse en zonas subhúmedas y producir forraje en la época seca del año.

La Kochia representa un alto potencial socioeconómico para las comunidades dedicadas a las actividades ganaderas en donde predomina el temporal y, en áreas de bajo riego, es una buena alternativa para reducir el abatimiento de los mantos acuíferos. Con 15 toneladas de forraje verde por hectárea, se obtiene una relación beneficio costo de 1.5 lo cual baja considerablemente los costos de producción en las actividades pecuarias. El cálculo anterior considera una inversión de un millón por hectárea y, la venta de 15 toneladas de forraje verde, en un millón y medio de pesos.

Desde el punto de vista social y económico, la Kochia representa una alternativa para la producción de forraje ya que se desarrolla en climas áridos, semiáridos y subhúmedos (Agroproductividad, 1992; AgroVisión, 1994).

### **Descripción Botánica.**

La Kochia se le conoce también con los nombres de morenita, alfalfa de los pobres, hierba de acero y otros. Perteneció a la familia Chenopodiaceae que cuenta con aproximadamente 75 géneros de hierbas y arbustos formando malezas. Varios géneros tienen especies que crecen como vegetales, forrajes, granos y ornamentales como sería el caso de las espinacas, betabeles, quelites, epazote, huauzontle, romerito, costilla de vaca, quinua y cañihua.

La kochia es una planta que llega a medir hasta 2.5 metros de altura; generalmente muy ramificada de hábito columnar, piramidal o globular y más o menos pubescente. Es una planta rústica ya que crece en condiciones muy adversas; su cultivo es económico y además es de alta palatabilidad, llegando a compararse con la alfalfa ya que produce abundante forraje de alta calidad.

La Kochia tiene una gran adaptabilidad, actualmente se encuentra en los países siguientes: Comunidad de Estados Independientes, Canadá, Costa Rica, República Popular China, India, Arabia Saudita, Siria, Australia, España, Grecia, Israel, Italia, Marruecos, Estados Unidos de América, Argentina, Chile y México. Se desconoce la superficie, a nivel mundial, dedicada a esta especie (Agroproductividad, 1992; AgroVisión, 1994).

### **Potencial Forrajero.**

Esta planta crece desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm. y se adapta a suelos ácidos y alcalinos en pHs que van desde 5 hasta 12; tolera bajas temperaturas. En condiciones bajo riego, produce más de 50 toneladas por hectárea de forraje verde en el primer corte ( en un periodo de 50 a 70 días ), y llega a producir más de 120 toneladas por hectárea al año. La Kochia es un forraje versátil ya que el ganado la puede pastorear directamente, también, se puede ensilar, henificar y hacer cubos compactados. Requiere de labranza mínima y el costo de cultivo es bajo, ya que con 2 - 4 kilogramos por hectárea de semilla, se puede sembrar una hectárea. Además, se puede sembrar asociada con avena, cebada, evo, pasto salado y

otras plantas forrajeras. Tiene alto contenido en proteínas y produce buenos incrementos en el peso de diferentes especies animales como bovinos, ovinos, caprinos, equinos, peces, aves, conejos y fauna silvestre (Agroproductividad, 1992; AgroVisión, 1994).

### **Consumo de agua.**

El consumo de agua de la Kochia es bajo ya que tan sólo 200 mm de lluvia se llega a producir de 30 a 40 toneladas por hectárea de forraje verde, bajo condiciones de temporal; en riego, con 30 - 40 litros de agua se puede producir un kilogramo de materia verde, lo que equivale a 4 ó 5 veces menos que lo que necesita la alfalfa. Lo anterior, hace de la Kochia una alternativa para reducir el abatimiento de los mantos acuíferos. Esta planta presenta altos valores nutritivos, lo cual refleja su importancia como complemento en la dieta de varias especies animales; ya que con un 25 ó 30 % del total de la dieta se tendrían ahorros considerables (Agroproductividad, 1992; AgroVisión, 1994).

### **Aspectos agronómicos.**

- Fecha de siembra: bajo riego, de enero a mayo; en temporal, al inicio de la época de lluvias en zonas áridas y semiáridas y, al final, en zonas húmedas.
- Densidad de siembra: de 2 a 4 kilogramos de semilla por hectárea.
- Método de siembra: en hileras a 80 - 90 cm. y mateado a 30 - 40 cm en terrenos planos; también se puede sembrar al voleo, en terrenos accidentados.
- Momento de corte: el mayor contenido de proteínas ( 14 - 28 % ) se logra cuando la planta esta al 5% de floración.
- Altura de corte: 15 centímetros sobre el ras del suelo, para facilitar el rebrote.
- Número de cortes: hasta 4 por año dependiendo de la productividad del suelo.
- Sistema radical profundo: de 1 a 2 metros.
- Fertilización: 60 kilogramos por hectárea de nitrógeno y 40 kilogramos por hectárea de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Agroproductividad, 1992; AgroVisión, 1994).

### **Ventajas.**

- Amplia adaptación a climas y suelos.
- Tolerancia a la salinidad.
- Crece en suelos erosionados.

- Resistente a la sequía.
- Soporta bajas temperaturas.
- Resistente a plagas y enfermedades.
- Planta de alta palatabilidad, buena digestibilidad y baja en fibra.
- De rápido crecimiento ya que se puede producir de 100 a 300 kg/ha/día de materia seca.
- El forraje se puede conservar en forma de silo y henificado.
- Forraje de alta calidad, comparable con la alfalfa ( 14 - 27 % de proteína ).
- Rústica y económica.
- Alta relación beneficio/costo (Agroproductividad, 1992; AgroVisión, 1994).

#### **Precauciones.**

- Se llega a comportar como mala hierba; invade, si se le permite producir y diseminar semilla.
- En ocasiones, presenta niveles tóxicos de nitratos, oxalatos y saponinas; por lo que hay que tomar medidas preventivas para su uso en la dieta animal. Se recomienda no dar al ganado más del 50% de Kochia en la ración cuando se presentan nitratos y oxalatos en concentraciones consideradas como tóxicas.  
( Dr. Manuel Anaya Garduño ).  
(Agroproductividad, 1992; AgroVisión, 1994).

#### **3.12. Cuidado de suelos salinos y alcalinos.**

Ordinariamente hay tres formas generales en las cuales las tierras salinas y alcalinas pueden utilizarse evitando, por lo menos parcialmente, efectos desfavorables a las plantas. La primera es la extirpación; la segunda es una conversión de alguna de las sales a formas menos peligrosas; la tercera se designa con el nombre de control. En la primera existe dos métodos para eliminar de varias maneras alguna de las sales para hacerlas menos tóxicas. En la tercera se emplean procedimientos para el cuidado del suelo que distribuyen las sales de tal forma a través del solum del suelo que no hay concentración tóxica en la zona radical (Buckman, 1977).

**Extirpación:** De los métodos usados para liberar al suelo, por lo menos parcialmente de un exceso de sales, los más comunes son: ( 1 ) subdrenaje; ( 2 ) lavado o inundación, y ( 3 ) separación. Una combinación de los dos primeros inundando después de haber drenado por tubos, parece ser lo más satisfactorio. Cuando éste método se usa en regiones irrigadas

pueden hacerse densas y repetidas aplicaciones de agua. Las sales que se solubilizan son lavadas del solum y desaguadas a través de los tubos de drenaje. El agua de riego usada debe, desde luego, estar relativamente libre de fango y sales, sobre todo las que contienen sodio.

El método de lavado trabaja bien sobre todo con suelos salinos permeables, cuyas sales solubles son neutras y ricas en calcio y magnesio. Desde luego, debe estar presente una pequeña cantidad de sodio intercambiable. Por otra parte, tratando simplemente con agua ciertos suelos alcalinos y salino-alcalinos, pueden intensificar su alcalinidad a causa de la remoción de las sales neutras solubles. Esto permite un aumento en el porcentaje de la saturación y con ello el de la concentración de los iones HO en la solución del suelo. Esto puede ser evitado, como se decía antes, al convertir el carbonato y bicarbonato sódico tóxicos en sulfato sódico por previo tratamiento del suelo con aplicaciones importantes de yeso o de azufre. Lavándolo, el suelo rendirá entonces más utilidad para los cultivos.

La remoción separando las incrustaciones alcalinas que se han acumulado en la superficie a veces da resultado. Nunca es muy efectivo, sin embargo, porque grandes cantidades de sales aún permanecen en el suelo. Lleva el terreno tanta cantidad de álcali que cualquier tipo de restauración es más o menos poco satisfactorio (Buckman, 1977).

**Conversión:** El uso de yeso con tierra alcalina, como ya se ha dicho, se recomienda, a menudo, con el propósito de cambiar parte de los carbonatos alcalinos cáusticos en sulfato.

Suelen bastar varias toneladas de yeso por hectárea. El suelo debe guardarse húmedo, para acelerar la reacción, colocando el yeso en la superficie y sin arar encima de él. El tratamiento puede ser completado más tarde por el lavado del suelo por riego con agua a fin de dejarlo libre de alguna cantidad de sulfato sódico.

También se reconoce que el azufre puede usarse con ventaja en suelos salinos; sobre todo cuando abunda el carbonato sódico. El azufre, después de su oxidación, retiene ácido sulfúrico que no sólo cambia el carbonato sódico en sulfato más o menos peligroso, sino que también tiende a reducir la intensa alcalinidad (Buckman, 1977).

**Control:** El retardo en la evaporación es, desde luego, un importante aspecto del control de un suelo salino. Esto no sólo salva la humedad, sino que también puede retardar la transformación de las sales solubles en la zona radical.

Es preciso decir que, cuando se práctica un riego, debe evitarse un exceso de agua, a menos que se intente liberar al suelo de sales solubles. Son necesarios frecuentes riegos ligeros, no obstante, para conservar las sales suficientemente diluidas para el desarrollo de las plantas.

El tiempo de riego es muy importante en suelos salinos, particularmente durante la primavera, estación de siembra. Debido a que las plántulas de semillero son muy sensibles a las sales, el riego debe preceder o seguir a la siembra removiendo las sales. Después que las plantas están bien establecidas, su resistencia a las sales es, a menudo, algo mayor.

El uso de cultivos resistentes a las sales es otro aspecto importante del cuidado adecuado de las tierras salinas o alcalinas. Remolacha azucarera, algodón, sorgo, cebada, centeno, trébol dulce y alfalfa son especialmente recomendados. Además, una pérdida temporal del álcali permitirá establecer cultivos menos resistentes. El estiércol es especialmente útil para ello.

Un cultivo como el de alfalfa, por ejemplo, una vez creciendo vigorosamente, puede mantenerse sólo a pesar de que más tarde puedan desarrollarse concentraciones salinas. La acción de las raíces de plantas tolerantes es particularmente favorable para mejorar los suelos alcalinos que tienen una pobre condición física (Buckman, 1977).

### **3.13. Manejo y mejoramiento de suelos salinos y sódicos.**

La recuperación de los suelos afectados por sales, no es práctica casi siempre es cara; así ésta tarea de rehabilitación de tales suelos no debe ser emprendida a menos que exista alguna seguridad de éxito en la operación. Sin embargo, si la recuperación de dichos suelos no puede ser llevada a cabo, algunas prácticas pueden ser seguidas para proveer de un mejor ambiente de desarrollo a las plantas. Algunos de los procedimientos envueltos pueden mejorar gradualmente las condiciones del suelo, o al menos prevenirlos de un empeoramiento (Aguirre, 1989).

#### **Suelos salinos.**

Probablemente el aspecto más vital de manejo de los suelos salinos, es el evitar la concentración excesiva de sales en la zona de enraizamiento de las plantas a cultivar. Para esto, el riego frecuente es recomendado, teniendo en cuenta que cuando sea posible deben aplicarse excesos de agua para lavar las sales a lo profundo de los suelos, o contrarrestar la tendencia de las sales a acumularse en el suelo.

La distribución de las sales en los suelos puede ser controlada hasta ciertos límites, con un cuidadoso manejo de los sistemas de riego. Cuando el riego es aplicado, este disuelve las sales a medida que el agua se desplaza hacia y a través del suelo. Si el riego por aspersión es utilizado el movimiento de las sales es en dirección vertical descendente, mientras que si se usa el riego por canales, el movimiento de las sales es tanto vertical descendente como lateral, con el resultado de que el suelo inmediatamente debajo y a los lados de los canales de riego puede presentarse libre de sales. Una ventaja de esto, resulta de dar un primer riego con abundante agua para lavar las sales de la superficie y luego plantar en las áreas donde las sales son mínimas, dando con esto la oportunidad de establecer muchos cultivos sensibles a la salinidad. Después de haber establecido bien el cultivo, el canal de riego puede ser recomodado a la mitad de los surcos plantados.

Una ayuda adicional en la utilización de suelos salinos, es la de crecer cultivos tolerantes a las sales (Aguirre, 1989).



**Fig. No. 2** Método de siembra en un suelo irrigado para minimizar el efecto de las sales (Aguirre, 1989).

### **Suelos sódicos.**

Existen muy pocas tácticas disponibles para asegurar un crecimiento satisfactorio de las plantas en suelos sódicos. Los cultivos tolerantes pueden ser establecidos, preferentemente si estos son especies perennes que no necesitan ser restablecidos cada año. Estas especies de plantas pueden incluirse algunos, pero no todos los cultivos tolerantes a las sales. Así debe tenerse cuidado en la siembra, teniendo como objetivo principal, el preparado de una buena "cama" de siembra para la semilla, después de lo cual, deberá cuidarse el plantado y asegurar la emergencia de las plántulas antes de que el estado físico del suelo cambie. La aplicación del riego, puede provocar la compactación prematura del suelo impidiendo la germinación de la planta.

En el debido tiempo el nivel de Na-intercambiable puede ser reducido y el estado físico del suelo es mejorado gradualmente, si un suelo sódico que contenga  $\text{CaCO}_3$  libre es sujeto a largos períodos de lixiviación sin la adición de un mejorador. La recuperación es efectuada por las pequeñas cantidades de Ca provenientes de la cal. Algunas veces la aplicación de residuos de plantas o de materia orgánica, es sugerida como medio para mejorar el estado físico y biológico del suelo.

El uso de agua salina para riego puede mejorar la condición de un suelo sódico, siempre y cuando los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  se encuentren en el balance debido, y el proceso de lixiviación sea posible para prevenir la acumulación de las sales en el suelo (Aguirre, 1989).

### 3.14. Introducción y manejo de cultivos forrajeros resistentes a la sodicidad.

Existen muy pocas prácticas disponibles para asegurar un crecimiento satisfactorio de las plantas en suelos sódicos. Los cultivos tolerantes pueden ser establecidos, preferentemente si estos son especies perennes que no necesitan ser restablecidos cada año. Estas especies de plantas pueden incluirse algunos, pero no todos los cultivos tolerantes a las sales. Así debe tenerse cuidado en la siembra, teniendo como objetivo principal, el preparado de una buena "cama" de siembra para la semilla, después de lo cual, deberá cuidarse el plantado y asegurar la emergencia de las plántulas antes de que el estado físico del suelo cambie. La aplicación del riego, puede provocar la compactación prematura del suelo impidiendo la germinación de la planta.

En el debido tiempo el nivel de Na-intercambiable puede ser reducido y el estado físico del suelo es mejorado gradualmente, si un suelo sódico que contenga  $\text{CaCO}_3$  libre es sujeto a largos periodos de lixiviación sin la adición de un mejorador. La recuperación es efectuada por las pequeñas cantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  provenientes de la cal. Algunas veces la aplicación de residuos de plantas o de materia orgánica, es sugerida como medio para mejorar el estado físico y biológico del suelo.

El uso de agua salina para riego puede mejorar la condición de un suelo sódico, siempre y cuando los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  se encuentren en el balance debido, y el proceso de lixiviación sea posible para prevenir la acumulación de las sales en el suelo (Aguirre, 1989).

- 1.- Cebada *Hordeum vulgare*
- 2.- Ballico anual *Lolium multiflorum*
- 3.- Kochia *Kochia scoparia*

Con las características que a continuación se describen:

#### **Cebada:**

SARH ( 1977 ) considera a la cebada como una planta que se adapta a todo tipo de suelos, aún a aquellos que presentan problemas de sales.

La producción de esta especie se mantiene hasta una CE de 8 ds/m pero tiende a decrecer a conductividades mayores ( Bains, 1970; Ballantyne, 1962; Luken, 1962 ).

Se han obtenido diversos resultados que demuestran el efecto negativo que tiene la salinidad del suelo sobre la producción de materia seca de cebada, como los encontrados por Rubio (1991) que al incrementar la salinidad de 0.8 ds/m a 16.2 ds/m de CE obtuvo que la producción de materia seca por planta se redujo de 12.26 a 5.15 g.

El INIFAP ( 1986 ) señala a la cebada como una especie que se adapta mejor a suelos de textura ligera a media y con un pH de neutro a alcalino.

Aceves ( 1979 ) menciona que la germinación de la cebada se reduce a cero cuando la CE del suelo alcanza niveles de 25 ds/m siendo mejor que otros cultivos como la alfalfa, maíz y frijol, manteniéndose casi al 100 % hasta el valor de 7 ds/m.

Con relación a la producción de materia seca para crecimiento vegetativo y producción de grano, ésta decrece a salinidades mayores de 12 ds/m de CE.

Mela ( 1966 ), considera a la cebada como uno de los cereales más sensibles a las bajas temperaturas, aunque no exigente en humedad, que puede ser desde 400 hasta 1300 mm., al año ( Parsons, 1982 ), misma que le perjudica si es excesiva.

Se reporta que para que esta planta lleve a cabo su crecimiento de manera continua requiere una temperatura mínima de 3 a 4 °C, una óptima de 20 °C y una máxima de 28 a 30 °C, así como una altitud que oscile entre los 0 y los 4500 msnm. y latitud norte hasta los 60° (Barragán, 1984; Flores, 1977); sin embargo, puede llegar a soportar temperaturas máximas de 40 a 50 °C ( Parsons, 1982 ). Esta especie resiste bien las temperaturas bajas hasta antes de la floración ( SARH, 1977 ).

La producción de MS de esta gramínea es reportada con poca variación entre los resultados obtenidos por algunos autores, ya que se obtienen desde 6.2 hasta 8.9 ton/ha. (Flores, 1977). Flores (1981 ) menciona que según la variedad de que se trate puede producir entre 24.3 y 45.8 ton/ha. de materia verde y desde 7.5 hasta 13.6 ton/ha. de MS (García, 1992).

### **Ballico.**

Los ballicos son especies que tienen un gran intervalo de adaptación a suelos de mediana y alta fertilidad, favorecen la rehabilitación y un mejor uso de suelos pesados que tienen problemas de drenaje y salinidad, fuertes manifestaciones de maleza y una escasa productividad agrícola ( Alanis, 1981 ), resisten una CE de 5.6 a 5.9 ds/m, sin afectar su rendimiento ( Chacón, 1981 ), lo que significa que toleran niveles medios de salinidad en el suelo ( Vander-Pluym, 1981; Long, 1981 ), pero llegan a desarrollarse en suelos con CE de 16 a 24 ds/m ( Flores, 1985 ), si se posee los nutrimentos adecuados prosperan en diferentes tipos de suelos con gran variedad de pH ( Koh y Maldonado, 1990 ).

Se cultiva en condiciones de clima templado, algunas veces trópico seco en situaciones altas que oscilan entre los 1500 y 3000 msnm. ( Koh y Maldonado, 1990 ), aunque Robles (1982) señala que prospera desde los 1000 msnm.

La temperatura mínima tolerante por esta especie es de 0 °C ( Robles, 1982 ), siendo la óptima de 25 °C en el día y de 20 °C en la noche, así como la máxima de 32 °C ( Koh y Maldonado, 1990 ).

Lowry ( 1975 ) considera que la mejor época de siembra para el ballico es la segunda quincena de septiembre.

La producción de MS por esta especie presenta una variación muy amplia dependiendo de las condiciones en que se desarrolle. Koh y Maldonado ( 1990 ) obtuvieron producción de MS de 1.2 a 1.9 ton/ha. con diferentes niveles de nitrógeno aplicado. Con aplicación de nitrógeno y riego, Cabanillas ( 1990 ) encontró un rendimiento de MS de 1.3 ton/ha. en tres cortes. Mientras tanto Chacón ( 1981 ) recogió 26.1 ton/ha. de MS en condiciones bajo riego. Por otra parte, Avendaño ( 1978 ) reporto un rendimiento de 11.3 ton/ha. con aplicación de riego. Bajo condiciones de temporal, Delgado ( 1983 ) obtuvo una producción de 8 a 14 ton/ha. de MS (García, 1992).

### **Kochia.**

Esta especie considerada buena productora de forraje y como maleza en tierras de cultivo, prefiere áreas de disturbios con un pH del suelo de 7.0, bajo condiciones secas (Espinoza, 1985).

Anaya ( 1992 ), la menciona como una planta que puede germinar en pH de hasta 12 y soportar CE de 20 ds/m.

Hernández concluye en sus estudios que la kochia posee características agronómicas muy prometedoras, básicamente como buena productora de forraje verde y materia seca en condiciones de secano para la zona semiárida del norte de México. Así mismo, esta planta tiene un bajo requerimiento de agua ( 30 a 40 litros ) para la producción de un kilogramo de materia verde, por lo que se desarrolla bien en las condiciones de baja precipitación (Espinoza, 1985; Anaya, 1989).

Green ( 1988 ) produjeron 4.15 ton/ha. de MS, pero este rendimiento aumentó significativamente al aplicar 56 y 112 kg/ha. de fertilizante nitrogenado para producciones de 6.51 y 7.56 ton/ha., respectivamente. En suelos sin problemas de salinidad y condiciones de temporal, Coxworth (1985 ) encontraron que la Kochia scoparia produjo 7.7 ton/ha. de MS.

Espinoza ( 1985 ) reporta producciones de MS de Kochia de 3.5, 8.7 y 11.3 ton/ha. en el primero, segundo y tercer corte, respectivamente.

Hernández obtiene una producción de 40.3 ton/ha. de materia verde y de 8.8 ton/ha. de MS.

Por su parte Anaya ( 1989 ) asegura que en condiciones de temporal la kochia llega a producir de 30 a 40 ton/ha. de forraje verde (García, 1992).

### **Efectos de las propiedades adversas del forraje en el ganado:**

#### **Nitritos y nitratos.**

Garner citado por Fernández ( 1980 ), menciona que cantidades potencialmente peligrosas de nitratos provocan en caprinos dolor abdominal, diarrea, debilidad muscular, falta de coordinación y convulsiones; taquicardia, disnea y en los casos agudos, cianosis progresiva.

El nitrato no es tóxico, pero llega a serlo cuando es reducido a nitrito u otro intermediario. El nitrato puede ser absorbido directamente hacia el torrente sanguíneo, pero algunas evidencias indican que el nitrato circulante no puede ser reducido a nitrito en el torrente sanguíneo. Cantidades significativas de nitrato ( más de 27% ) son excretadas en la orina en pocas horas después de consumirse. Los rumiantes son particularmente susceptibles a envenenamiento por nitrito porque los microorganismos del rumen son los principales responsables en toda reducción de nitrato a nitrito ( James, Schmutz citados por Baltazar, 1992 ).

Los animales pueden adaptarse a niveles relativamente altos de nitrato en la dieta si los niveles se aumentan gradualmente. Esta adaptación se debe a un incremento en la tasa de reducción de nitrito en el rumen ( Sinclair y Jones, Farra y Satter, Kemp citados por James, 1988 ).

La toxicidad por nitrito ocurre cuando éste oxida al ion ferroso a ion férrico, produciendo una coloración chocolatosa, que es un pigmento llamado metahemoglobina que no puede acarrear oxígeno a los tejidos del cuerpo ( James, Schmutz y Aparicio; citados por Baltazar, 1992 ).

Las plantas que contienen más del 1.5 % de nitratos son muy dañinas ( Schmutz y Coxworth; citados por Baltazar, 1992 ) (García, 1992).

### **Oxalatos.**

Fernández ( 1980 ) considera que un contenido de oxalatos de sodio y potasio de 9.3% da lugar a intoxicaciones agudas, en tanto que contenidos de 6.1% ocasionan procesos crónicos con muertes ocasionales. Sin embargo, cita que Garner considera difícil establecer la dosis tóxica para los rumiantes, ya que la flora rumial es capaz de adaptarse al consumo de dietas gradualmente mayores y llega a consumir cantidades considerables sin manifestar signos de intoxicación.

Las sales insolubles de oxalatos pueden acumularse en varios tejidos, especialmente en las paredes del rumen y los riñones. La muerte es atribuida a: (1) hipocalcemia, resultante de la formación de oxalato de calcio en la sangre y tejidos; (2) uremia, resultante del daño a los riñones por los cristales de oxalatos y (3) una interferencia en el metabolismo de la energía (James, 1988).

Karachi, citado por Baltazar ( 1992 ) reportan que sólo los valores de oxalatos que exceden el 4.5% con base en materia seca son considerados potencialmente tóxicos para los rumiantes.

Kernan y Coxworth, citados por Baltazar ( 1992 ) encontraron que cualquier fuente de fertilización nitrogenada incrementa el contenido de oxalatos en la Kochia, aunque se aumenta el contenido de proteínas y cenizas. Green ( 1988 ) también reporta una alta correlación entre proteína cruda y contenido de oxalatos.

Es pertinente además, considerar la edad de la planta al llevar a cabo su aprovechamiento dado que algunas plantas reducen su contenido de oxalatos conforme avanza la madurez, incluso los oxalatos de los rebrotes jóvenes son esencialmente insolubles, mientras que los del forraje maduro son solubles principalmente por lo que el forraje tierno podría resultar más tóxico para los animales ( Karachi, citado por Baltazar, 1992 ).

Esto nos indica que es necesaria la realización de pruebas que analicen la capacidad de algunas especies animales para adaptarse al aumento gradual en el contenido de compuestos tóxicos en las plantas así como el contenido de éstos a través de su desarrollo (García, 1992).

### **Saponinas.**

La acción fisiológica de las saponinas consiste en la irritación de la mucosa gastrointestinal y lisis de los eritrocitos ( Fernández, 1980 ).

Espinoza ( 1985 ) menciona que las saponinas producen hidrólisis de los glóbulos rojos de la sangre ( hemólisis ), aún en soluciones muy diluidas. Este efecto hemolítico es el resultado de la reacción de la saponina y el colesterol de la membrana celular.

Las saponinas pueden formar compuestos moleculares con el colesterol y otros hidrosteroides (Forsyth y Byrk; citados por Baltazar, 1992 ) (García, 1992).

De acuerdo a la bibliografía consultada, la tolerancia a la salinidad de las especies en estudio queda clasificada de la siguiente manera:

**Cebada:** Es clasificada como un cereal que resiste altos contenidos de sales debido a que su producción se mantiene casi al 100% hasta los 8 ds/m.

**Ballico:** Se considera una especie medianamente resistente a la salinidad, soportando de 5.6 a 5.9 ds/m.

**Kochia:** En la mayoría de los casos es clasificada como una especie altamente resistente a grandes contenidos de sales en el suelo.

Es importante señalar que además del efecto de la salinidad y sodicidad, las condiciones del clima son fundamentales durante el desarrollo y producción de las plantas. Respecto a estas especies, la cebada y la kochia son especies que además de tolerar mejor la salinidad y sodicidad que otras, requieren de menor cantidad de agua para la producción de un kilogramo de materia seca y soportan más fácilmente temperaturas extremas, por lo que son aspectos que deberán considerarse al evaluar producción de forraje en suelos sódicos y salinos (García, 1992).

#### **IV. METODOLOGIA.**

El trabajo a desarrollar esta basado en la siguiente secuencia:

- 1.- Recopilación bibliográfica.**
- 2.- Delimitación del área afectada.**
- 3.- Diagnóstico del problema.**
  - Trabajos de Campo
  - Trabajos de Laboratorio.
  - Trabajos de gabinete.

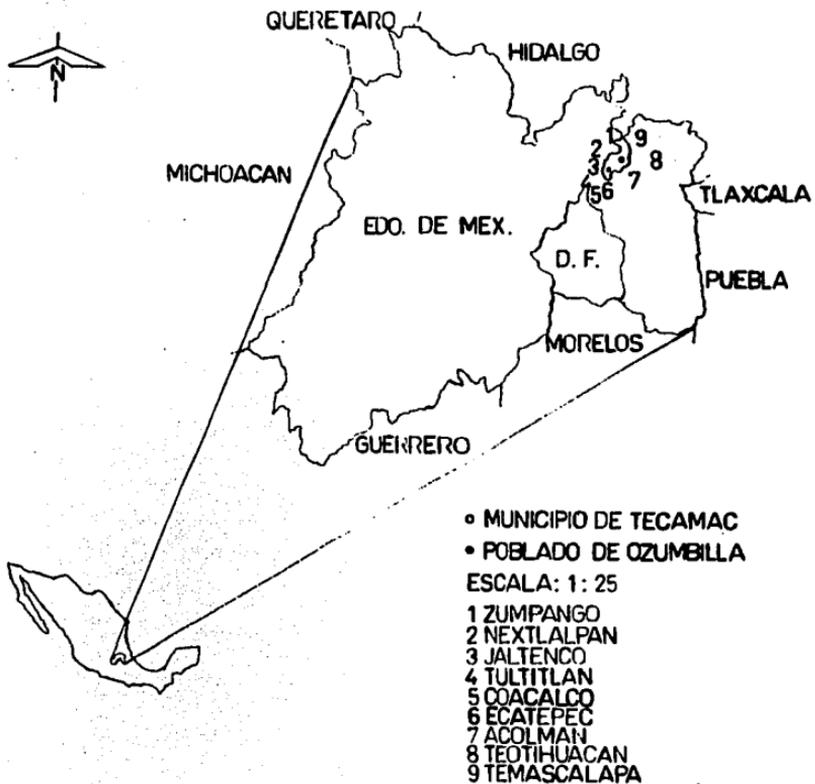
#### **4.1. AREA DE ESTUDIO.**

##### **4.1.1. Localización.**

El poblado de Santa María Ozumbilla se localiza al Noreste del Estado de México; en el Municipio de Tecamac, dentro de las coordenadas geográficas: Latitud Norte de 19°40'33.66" y 99°00'00" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich (ver mapa anexo).

**Vías de acceso:** Partiendo de la cabecera Municipal con rumbo Suroeste por la carretera Estatal que conduce a la Ciudad de México, recorriendo una distancia de 5.5 kms. aproximadamente se ubica el poblado que nos ocupa.

**Referencias:** Esta región tiene los siguientes puntos de referencia: Al Norte con el Municipio de Tecamac; al Sur con el Poblado de Chiconautla; al Este con San Pablo Tecalco y al Oeste con el Poblado de Atzompa. Como complemento se señala que el Gran Canal se localiza al Suroeste del Poblado a 7.0 kms. de distancia. ( Carta Estatal, Topográfica, de INEGI).



Mapa 1 Localización del poblado.

#### **4.1.2. Tipos de Suelos.**

Predominan principalmente los conocidos como Solonchak (Mólico y Ortico); en segundo lugar los Cambisol (Eútrico) y por último los Feozem (Calcárico) (Carta Edafológica, INEGI).

##### **1.- Solonchak (Del ruso sol:sal. Literalmente, suelos salinos).**

Son suelos que se presentan en diversos climas, en zonas en donde se acumula el salitre, tales como lagunas costeras y lechos de lagos, o en las partes más bajas de los valles y llanos de las zonas secas del país.

Se caracterizan por presentar un alto contenido de sales en alguna parte del suelo, o en todo él. Su vegetación, cuando la hay, está formada por pastizales o por algunas plantas que toleran el exceso de sal.

Su uso agrícola se halla limitado a cultivos muy resistentes a las sales. En algunos casos es posible eliminar o disminuir su concentración de salitre por medio del lavado, lo cual los habilita para la agricultura. Su uso pecuario depende de la vegetación que sostenga, pero de cualquier forma, sus rendimientos son bajos. Algunos de estos suelos se utilizan como salinas.

Los Solonchak son suelos con poca susceptibilidad a la erosión. Su símbolo es Z.

a) Mólico: Del latín mollis: suave. Presentan una capa superficial oscura, rica en materia orgánica y fértil. Su símbolo es Zm.

b) Ortico: Del griego orthos: recto, derecho. Presentan sólo las características definidas para la unidad. Su símbolo es Zo.

##### **2.- Cambisol (Del latín cambiare: cambiar. Literalmente, suelo que cambia).**

Estos suelos por ser jóvenes y poco desarrollados, se presentan en cualquier clima, menos en las zonas áridas. Puede tener cualquier tipo de vegetación, ya que ésta se encuentra condicionada por el clima y no por el tipo de suelo. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa que parece más suelo de roca, ya que en ella se forman terrones, además pueden presentar acumulación de algunos materiales como arcilla, carbonato de calcio, fierro, manganeso, entre otros, pero sin que esta acumulación sea muy abundante. También hay algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate ( fase dúrica ), siempre y cuando no se encuentren en zonas áridas. En México son muy abundantes y se destinan a muchos usos. Los rendimientos que permiten varían de acuerdo al clima en que se encuentren. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión. Su símbolo es B.

a) **Eútrico:** Del griego eu: bueno. Se caracterizan por presentar solamente lo indicado para la unidad de Cambisol. La vegetación natural que presentan, sus usos y su productividad son muy variados, de acuerdo con el tipo de clima en que se encuentren especialmente en agricultura, proporcionan rendimientos de moderados a altos. Su símbolo es Be.

3.- **Feozem (Del griego phaeo: pardo; y del ruso zemljá: tierra. Literalmente, tierra parda).**

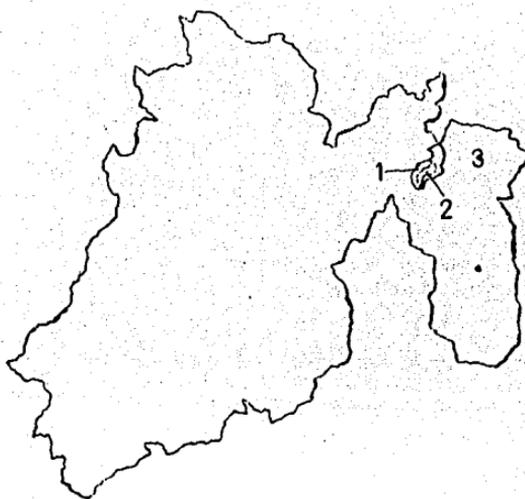
Son suelos que se encuentran en varias condiciones climáticas, desde zonas semiáridas, hasta templadas o tropicales muy lluviosas, así como en diversos tipos de terrenos, desde planos hasta montañosos. Pueden presentar casi cualquier tipo de vegetación en condiciones naturales.

Su característica principal es una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, semejante a las capas superficiales de los Chernozems y Castañozems, pero sin presentar las capas ricas en cal con que cuentan estos dos suelos.

Los Feozems son suelos abundantes en nuestro país, y los usos que se les dan son variados, en función del clima, relieve, etc.

Muchos Feozems profundos y situados en terrenos planos se utilizan en agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con altos rendimientos. Otros menos profundos, o aquellos que se presentan en laderas y pendientes, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con mucha facilidad. Sin embargo pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables. Como se ve, el uso óptimo para estos suelos depende mucho del tipo de terreno y las posibilidades de obtener agua en cada caso. Su susceptibilidad a la erosión varía también en función de estas condiciones. Su símbolo es H.

a) **Calcárico:** Del latín calcareum: calcáreo. Se caracterizan por tener cal en todos sus horizontes. Son los Feozem más fértiles y productivos en la agricultura o ganadería, cuando son profundos y planos. Su susceptibilidad a la erosión es variable en función del tipo de terreno. Su símbolo es Hc.

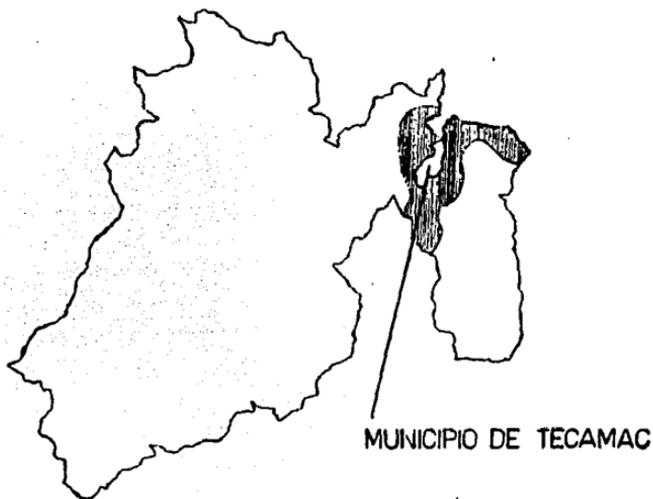


- 1 SUELOS SOLONCHAKS ( MOLICO Y ORTICO ).
- 2 SUELOS CAMBISOL ( EUTRICO ).
- 3 SUELOS FEOZEM ( CALCARICO ).

**Mapa 2 Tipos de suelos.**

#### 4.1.3. Climatología.

El clima del poblado es templado, semiseco con lluvias en verano. La precipitación pluvial promedio anual es de 636 milímetros, con una temperatura media anual de 12 a 18 ° C. Se registran heladas de Octubre a Marzo (INEGI).



 SEMISECOS

Mapa 3 Clima.

#### 4.1.4. Hidrografía.

Se cuenta con manantiales al Norte y Sur del poblado, en la temporada de lluvias se forman pequeños riachuelos, actualmente no existen ningún río, laguna ( sólo la de Zumpango que ésta ubicada al Noroeste del poblado pero no es ocupada para el riego en este poblado por la lejanía ) o presa. Su superficie es regada por aguas negras provenientes del Gran Canal de la Ciudad de México (INEGI).



Mapa 4 Hidrografía.

#### 4.1.5. Orografía.

Región fundamentalmente llana, su altura oscila de 2000 a 2500 metros sobre el nivel del mar (Carta Estatal, Topográfica; INEGI).



- 1 SIERRA DE TEPOTZOTLAN 2500 msnm.
- 2 SIERRA DE GUADALUPE 2500 msnm.
- 3 CERRO GORDO 2500 msnm.

Mapa 5 Orografía.

#### **4.1.6. Agricultura y ganadería.**

En el Poblado de Ozumbilla la explotación agrícola esta basada en los siguientes cultivos: Maíz, Alfalfa, Hortalizas, Cereales, Pastos y otros, en algunos casos esos cultivos sufren los estragos que la presencia de sales originan en el desarrollo de estos.

En lo referente a la ganadería se cuenta con ganado bovino, ovino, caprino, porcino, en su mayoría bovino (INEGI).

#### **4.2. Muestreo de suelos.**

Por medio de un análisis de suelo se pudieron encontrar los elementos suficientes para identificar la naturaleza del problema de salinidad y/o sodicidad y una serie de datos necesarios para su utilización.

Una vez delimitada el área de trabajo 2 hectáreas propiedad del Sr. Julian Zandoval Rodríguez y en base a la experiencia local se realizaron los muestreos por el "plan de muestreo no probabilístico" o "por criterio", seleccionando los sitios más característicos de salinidad para las muestras.

Toda costra salina que afloró en la superficie se muestreo por separado, a una profundidad de 0-5 cm.

La segunda muestra fue de 5 - 30 cm; formando diez números de muestras, realizando una muestra compuesta.

La muestra compuesta consistió en una muestra de todas las muestras individuales obtenidas por el plan de muestreo no probabilístico. La principal ventaja es que disminuye considerablemente tanto costos como el tiempo de la investigación (Valencia, 1991).

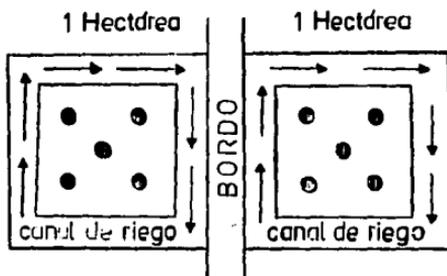
Se mezclaron perfectamente las muestras individuales, la mezcla puede realizarse en una cubeta, un costal o un papel, utilizando aproximadamente 2 Kg. y lo demás se desecha (Valencia, 1991).

La muestra para determinaciones de salinidad requieren un manejo especial, se guardan en bolsas de papel grueso, impregnadas en una solución de parafina al 5 ó 10%, en gasolina u otro solvente (Valencia, 1991).

El muestreo de suelos se realizó de acuerdo al manual publicado por Q. Valencia Islas Celia: "Muestreo de suelos para Ingenieros Agrícolas".

Los trabajos de laboratorio consistieron en la realización de los análisis suelos en alguna Dependencia o Institución confiable (UACH, 1994).

Los trabajos de gabinete fueron la revisión y organización de bibliografía en la FES CUAUTITLAN y la UACH de cultivos forrajeros resistentes o tolerantes a la salinización y/o sodificación en general todo lo referente a suelos salinos, salino-sódicos y sódicos.



- toma de muestras .

**CROQUIS No. 1 Toma de muestras del suelo.**

#### **4.3. Delimitación del área afectada.**

Los primeros trabajos a realizar consistieron en la designación por parte del Sr. Julian Zandoval Rodríguez de la zona para la realización de los muestreos y posteriormente para la delimitación del área afectada y la diagnosis del problema.

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

- a) Experiencia local.
- b) Análisis de suelos.

**Experiencia Local:** Tanto los agricultores como los agrónomos de la zona tienen la iniciativa para el estudio de este problema en el área, conociendo todas aquellas manchas con problemas de salinidad llegando a informar sobre los problemas en la producción de cultivos, en comparación con áreas sin problemas.

**Análisis de suelos:** Se realizaron análisis de suelos con el objeto de delimitar la cantidad y tipo de sales presentes.

#### **4.4. Diagnóstico del problema.**

Cabe hacer mención que en la mayoría de los casos la salinidad en los suelos es debida a problemas con el drenaje, pero nuestro trabajo se abocó a diagnosticar la salinidad y sodicidad bajo las condiciones presentes de suelo y clima, teniendo en cuenta que el ejido de Ozumbilla se localiza bajo la influencia de mantos freáticos salinos por la presencia de la Laguna de Zumpango y Xaltocan, lo que nos hace pensar que las sales se encuentran en los suelos como consecuencia de depósitos que fueron quedando al ser extraída el agua.

## V.- RESULTADOS.

### 5.1. Determinaciones Físicas del Suelo.

CUADRO 3 Determinaciones Físicas.			
PROFUNDIDAD	DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD REAL (g/cm <sup>3</sup> )	TEXTURA
0 - 5	0.76	2.14	ARCILLOSO
5 - 30	0.74	2.06	ARCILLOSO

(UACH, 1994).

### 5.2. Determinaciones Químicas del Suelo.

CUADRO 4 Determinaciones Químicas.									
PROFUNDIDAD	CATIONES ADSORBIDOS EN EL COMPLEJO DE INTERCAMBIO (meq/100g)				CIC (meq/100g)	PSI	pH	CE (ds/m)	Materia Orgánica (%)
	Ca	Mg	Na	K					
0 - 5	31	2	90	12	23.55	382.16	9.8	48.00	5.3
5 - 30	35	5	27	6	19.08	141.51	9.2	9.62	4.3

(UACH, 1994).

### 5.3. Clasificación de suelos.

Existen varias clasificaciones de los suelos salinos y sódicos, cada una de ellas con ventajas e inconvenientes. Las tres más importantes son la Rusa, Francesa y Americana. La Rusa combina los principios de pedología, geoquímica de las sales y fisiología vegetal, ha producido denominaciones de suelos como solonchak, solonetz, taky, ampliamente divulgados. Sin embargo, en este trabajo se adoptó una más simple y práctica basada en la propuesta por la USDA ( Tellez , 1985).

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

En el área estudiada se encontró:

<b>CUADRO 5 Clasificación del suelo.</b>				
<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad eléctrica (da/m)</b>	<b>PSI</b>	<b>CLASIFICACION</b>
<b>0 - 5</b>	<b>9.8</b>	<b>48.0</b>	<b>382.16</b>	<b>SODICO</b>
<b>5 - 30</b>	<b>9.2</b>	<b>9.62</b>	<b>141.51</b>	<b>SODICO</b>

(UACH, 1994).

## **VI. DISCUSION.**

Una vez analizado el suelo y basados en la determinación del tipo de suelo, por medio del cuadro de clasificación de éste, obtenemos la siguiente información.

El muestreo se realizó a una profundidad de 0 - 5 cm para muestrear toda costra salina y de 5 - 30 cm para ver la cantidad y tipo de sales presentes por tal diferencia en profundidades es que se disparan los valores del análisis de suelo.

El terreno se encuentra con problemas de sodio y no de sales ya que tenemos 90 y 27 meq/100 g de Na siendo que lo normal sería aproximadamente 1 meq/100 g ( Entrevista, Dr. Edvino J. Vega Rojas, 1995 ).

Ya conociendo el tipo de problema y la magnitud con que se presenta es difícil de resolver, ya que a causa del gran contenido de sodio, tanto la arcilla como la materia orgánica se dispersan, el resultado es un relleno apretado de las partículas del suelo, esto reduce el tamaño y la cantidad de espacios porosos y como consecuencia el agua y el aire no se mueven con facilidad a través del suelo. La mala aireación y el contenido elevado de sodio, que con frecuencia es tóxico, hacen difícil y costoso recuperarlo, con lo cual se debe estar consiente de que el problema es natural por la influencia de los Lagos presentes en la zona o alrededores ( Texcoco, Zumpango y Xaltocan ).

Es indispensable tener paciencia en la utilización de este suelo ya que una conductividad eléctrica de 2 y 4 ds/m o mmhos/cm se considera el suelo apto para la agricultura ( entrevista Dr. Edvino J. Vega Rojas, 1995 ) y en nuestros resultados obtenemos 48 ds/m de 0 - 5 cm y 9.62 ds/m de 5 - 30 cm y reafirmando estos valores un pH de 9.8 y 9.2 en el orden de las profundidades muestreadas. Esto es por la poca o baja reserva de carbonato de calcio ( 31 y 35 meq/100 g ) en el suelo, ya que en este suelo el sodio perjudica al complejo coloidal y tiende a aumentar el sodio intercambiable, luego con la lluvia, el suelo con poco o bajo carbonato de calcio pasará a ser, en definitiva, un suelo sódico, dado que la solución del suelo que es rica en sodio aumentará el sodio intercambiable. Este, siempre proporcionará suficiente NaOH en la solución del suelo para hacer subir el pH del mismo por encima de 8.5 ( citado por Tamhane, 1983 ).

Por consiguiente, hay tres etapas diferentes en la evolución de los suelos sódicos. Dichas etapas son:

- a) Salinización.
- b) Suelo salino-sódico.
- c) Sódico intenso, que es nuestro caso.

El sodio es un catión que causa condiciones físicas y químicas adversas en los suelos. Cuando se encuentran húmedos estos suelos se vuelven impermeables al aire y al agua, y cuando secos se endurecen provocando una gran dificultad al arado. Así puede desarrollarse

también una densa costra en la superficie del suelo, la cual previene la óptima germinación y la emergencia de las plántulas ( citado por Aguirre, 1989 ).

La marcada influencia del sodio intercambiable sobre el total de propiedades físicas de los suelos se relaciona principalmente con el comportamiento de la arcilla y de la materia orgánica, que es donde se concentra la mayor parte de la capacidad de intercambio catiónico. El más importante de los efectos físicos parecería ser el impedimento que a la emergencia de las plántulas ofrece la costra dura superficial ( citado por Black, 1975 ).

El exceso de sodio ocasiona deficiencias de cationes; especialmente de calcio y magnesio. Parecería que la acción del sodio tuviera un efecto triple en la inducción de las deficiencias de calcio y magnesio. Primero, dado que el sodio intercambiable está retenido débilmente cuando el suelo tiene un alto porcentaje de sodio intercambiable, los iones que se liberen a la solución del suelo en un intercambio incompleto serán en su mayoría iones sodio. Segundo, a los altos valores de pH que por lo general se relacionan con el sodio intercambiable en exceso sin un exceso de sales, la solución del suelo contiene iones bicarbonato y carbonato que tienden a precipitar el calcio y el magnesio en forma de carbonatos. La tercera acción del sodio es la de excluir por competencia al calcio y al magnesio de la absorción, pues se absorbe sodio en lugar de estos elementos ( citado por Black, 1975 ).

Los suelos sódicos, pueden variar considerablemente en sus propiedades físicas ( su capacidad para producir cosechas, su respuesta a las prácticas de manejo e incluyendo la aplicación de mejoradores ). Aunque no muy bien comprendidas las causas del diferente comportamiento de los suelos sódicos, la experiencia y los pocos datos de que se dispone actualmente, indican que el efecto del sodio intercambiable puede ser modificado por algunas características del suelo; como lo es la aplicación de materia orgánica y de mejoradores ( citado por Richards, 1977 ).

La Materia orgánica además de mejorar las propiedades físicas del suelo, es una fuente de elementos nutritivos para las plantas. Existen bases bien fundadas que evidencian que la materia orgánica contrarresta los efectos nocivos del sodio intercambiable en los suelos, la materia orgánica mejora e impide la deterioración de la condición física del suelo por su interacción con los materiales de intercambio catiónico debido a su utilización como material energético para los microorganismos, los cuales inducen la agregación estable de las partículas del suelo y disminuyen indirectamente la densidad aparente de los suelos (citado por Richards, 1977).

Hay tres tipos generales de sustancias que se usan para reemplazar al sodio intercambiable: 1) sales de calcio solubles ( cloruro de calcio, yeso ); 2) ácidos o sustancias que forman ácidos (azufre, ácido sulfúrico, sulfato de hierro, sulfato de aluminio, azufre calcáreo), y 3) carbonatos de calcio y magnesio ( caliza, dolomita, subproductos de carbonato de calcio provenientes de ingenios azucareros ). La elección más adecuada entre estas sustancias dependerá de su costo y de la naturaleza del suelo. Las dos primeras clases de correctivos se pueden usar en suelos que contengan carbonatos de calcio y magnesio, pero no la tercera. Para suelos que no contienen carbonatos de calcio y magnesio son eficaces las primeras dos

clases, mientras que la tercera tiene eficacia cuando el valor del pH es inferior a 7.5. Si para reemplazar al sodio se necesita una cantidad de las sustancias de la clase ( 2 ) que volviera demasiado ácido al suelo ( pH menor de 6 ), se podría usar una mezcla de sustancias de la clase ( 2 ) con las de las clases ( 1 ) ó ( 3 ), o ambas. Las sustancias solubles se pueden aplicar y distribuir en el agua de riego, pero las demás sustancias se aplicarán directamente al suelo. Estos principios rigen para la eliminación del excedente de sodio, sea de los suelos salinos y sódicos como de los sódicos y no salinos; sin embargo, el tiempo que se requiere para la eliminación será mayor en los segundos, por el desplazamiento más lento del agua en el suelo ( citado por Black, 1975 ).

Existen muy pocas prácticas disponibles para asegurar un crecimiento satisfactorio de las plantas en suelos sódicos. Los cultivos tolerantes pueden ser establecidos, preferentemente si estos son especies perennes que no necesitan ser restablecidos cada año. Estas especies de plantas pueden incluirse algunos, pero no todos los cultivos tolerantes a las sales. Así debe tenerse cuidado en la siembra, teniendo como objetivo principal, el preparado de una buena "cama" de siembra para la semilla, después de lo cual, deberá cuidarse el plantado y asegurar la emergencia de las plántulas antes de que el estado físico del suelo cambie. La aplicación del riego, puede provocar la compactación prematura del suelo impidiendo la germinación de la planta.

En el debido tiempo el nivel de Na-intercambiable puede ser reducido y el estado físico del suelo es mejorado gradualmente, si un suelo sódico que contenga  $\text{CaCO}_3$  libre es sujeto a largos periodos de lixiviación sin la adición de un mejorador. La recuperación es efectuada por las pequeñas cantidades de Ca provenientes de la cal. Algunas veces la aplicación de residuos de plantas o de materia orgánica, es sugerida como medio para mejorar el estado físico y biológico del suelo.

El uso de agua salina para riego puede mejorar la condición de un suelo sódico, siempre y cuando los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  se encuentren en el balance debido, y el proceso de lixiviación sea posible para prevenir la acumulación de las sales en el suelo. ( citado por Aguirre, 1989 ).

En las condiciones de nuestro suelo ( sódico ), el daño no se debe a la concentración de sal, ya que la conductividad de la solución del suelo es alta. El sodio adsorbido por la arcilla y los coloides orgánicos producen dispersión de la arcilla, lo que da por resultado una pérdida de estructura deseable y el desarrollo de un efecto pesado. Estos efectos sobre las propiedades físicas reducen el desagüe, la aireación y la actividad microbiana. El alto pH origina una reducción en la solubilidad y disponibilidad para las plantas del hierro, el cobre, el manganeso y el zinc ( citado por Tamhane, 1983 ).

Con tal motivo se requiere la aplicación de materia orgánica proveniente de restos de plantas y abonos animales ( estiércol ) aunque en nuestro suelo contamos con alto porcentaje de está ( 5.3 y 4.3 % ) no es asimilable ya que la inhibe el sodio, al agregar residuos orgánicos de fácil descomposición produce la síntesis de sustancias orgánicas complejas que ligan las partículas del suelo en unidades estructurales llamadas agregados. Estos ayudan a mantener un estado granular suelto, abierto. De este modo, el agua está en condiciones de entrar y

filtrarse hacia abajo con más facilidad a través del suelo. La condición granular del suelo favorece una buena aireación y permeabilidad.

La materia orgánica ayuda a compensar los suelos contra cambios químicos rápidos en el pH, a causa de la agregación de sal y fertilizantes. Además los ácidos orgánicos liberados de la materia orgánica en descomposición ayudan a reducir la alcalinidad de los suelos.

Por otra parte el sodio intercambiable en este suelo es suficiente para hacer que el suelo sea casi impenetrable para el agua. No obstante, aun si el agua pudiera moverse con libertad hacia abajo en este suelo, el agua sola no lixiviaría el exceso de sodio intercambiable. Este ha de ser sustituido por otro catión y lixiviado hacia abajo y fuera del alcance de las raíces de la planta.

Mediante el intercambio catiónico, a menudo se utiliza el calcio para sustituir al sodio. De todos los compuestos de calcio, el sulfato de calcio ( yeso ) se considera el mejor para estos fines ( citado por Tamhane, 1983 ).

El yeso convierte el suelo sódico en suelo cálcico y provoca un descenso aconsejable de pH y una mejoría en las condiciones físicas del suelo. Esto también mejora el desagüe.

Entonces, se procede a la inundación para eliminar el sulfato de sodio proveniente de la reacción con el yeso.

En caso extremo, la reducción de pH, se realiza mediante el empleo de ácido sulfúrico. No obstante, el proceso de recuperación sería muy costoso.

También se utiliza el azufre para reducir la sodicidad. Se rocía azufre sobre el suelo y se oxida para formar ácido sulfúrico que convierte el carbonato de sodio en sulfato de sodio; y carbonato de calcio, ya presente o agregado de manera artificial, para formar  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . El calcio sustituye al sodio. El sulfato de sodio se elimina por lixiviación. La agregación de materia orgánica ayuda a que baje el pH, mejorando la estructura del suelo y a que aumente la capacidad del suelo para suministrar nitrógeno disponible para los cultivos. La materia orgánica es útil en especial cuando se agrega azufre para corregir la alcalinidad. La materia orgánica proporciona alimento para las bacterias que estimulan la oxidación del azufre hasta la forma de sulfato ( citado por Tamhane, 1983 ).

También se puede utilizar la combinación de azufre, materia orgánica y yeso.

Las cantidades de yeso y de azufre necesarias para sustituir diferentes cantidades de sodio intercambiable, en promedio, por cada miliequivalente de sodio se requieren 1.7 toneladas de yeso ó 0.32 tonelada de azufre ( citado por Tamhane, 1983 ).

En cuanto a la textura y capacidad de intercambio catiónico del suelo tenemos que es arcilloso y un C.I.C. de 23.55 y 19.08 meq/100 g, de lo cual entre más arcilla haya en el suelo, tanto más elevada es la capacidad de intercambio de cationes como se observa en nuestros resultados. Los suelos arenosos tienen, en promedio, de 0 a 5 m.e. de capacidad de

intercambio de cationes por 100 g. de suelo. El valor oscila, aproximadamente, de 5 a 10 m.e./100 g. en suelos arenosos finos. En los arcillosos es más o menos de 15 a 30 m.e./100 g. de suelo ( citado por Tamhane, 1983 ).

En lo que se refiere a la densidad real ( 2.14 y 2.06 g/cm<sup>3</sup> ) y densidad aparente ( 0.76 y 0.74 g/cm<sup>3</sup> ) se cuenta con buenos espacios porosos pero con el problema del sodio nos impide su utilización adecuada ya que una cifra generalmente aceptada de densidad real en suelos normales, es de 2.65 g/cm<sup>3</sup>, teniendo que con el aumento de materia orgánica en el suelo, disminuye la densidad real. Por otra parte la densidad aparente de un suelo es siempre más pequeña que la densidad real.

La densidad aparente es de más o menos 1.7 g/cm<sup>3</sup>. Normalmente, la densidad aparente disminuye a medida que los suelos minerales son más finos de textura.

En general, los suelos con bajas densidades aparentes tienen condiciones físicas favorables ( citado por Tamhane, 1983 ).

Con respecto a los cationes adsorbidos en el complejo de intercambio el Ca, Mg, Na y K están presentes en cantidades diferentes, ya que no son adsorbidos con igual tenacidad en una arcilla saturada con un catión dado. Además, que los cationes bivalentes son más eficaces que los monovalentes. Pero en este caso predomina ampliamente el Na con el cual se inhiben los otros tres, desplazándolos del intercambio catiónico. ( citado por Tamhane, 1983 ).

Debe tenerse en cuenta que los análisis de suelos deben repetirse con frecuencia para poder ir determinando el grado de avance del intercambio catiónico Ca por Na y poder ir aprovechando oportunamente el terreno, con cultivos forrajeros que vayan presentando resistencia o tolerancia a los futuros resultados de los análisis de suelo y tomando como base los cultivos que se recopilaron en este trabajo ( forrajeros ), los cuales se acoplen a los análisis, cultivando cada vez especies menos resistentes. En las primeras fases es muy conveniente cultivar pequeñas superficies de cultivos de distinta tolerancia al sodio, cuyo comportamiento indicará el grado de avance. También una vez que disminuye la sodicidad, emergen primeramente las plantas más tolerantes por lo que es conveniente llevar a efecto una clasificación de ellas de acuerdo a los grados de sodicidad que resisten y utilizar su germinación y desarrollo para conocer el logro del mejorador y poder decidir si aplicamos algún otro o no ( citado por Tellez, 1985 ).

Establecido el cultivo, es importante mantener el suelo con un alto porcentaje de humedad durante su desarrollo, para disminuir los efectos de la presión osmótica ( de siembra a cosecha ).

Debe tenerse cuidado con la aplicación de agua, ya que puede ocasionar pérdida de nutrientes, que deben compensarse mediante aplicaciones de abonos verdes ya que el elemento más expuesto a estas pérdidas es el nitrógeno.

En general se puede decir que el aprovechamiento de este suelo es difícil, y se pueden ir incrementando los costos de producción paulatinamente por los mejoradores a utilizar comparándolo con las cosechas que se puedan obtener. ( citado por Aguirre, 1989 ).

## **VII. CONCLUSIONES.**

- Después de los análisis de suelo y en base a la recopilación bibliográfica, nos encontramos con que el terreno, presenta problemas de sodicidad muy graves de más del 80 ó 90 % de disminución de la producción tomando la CEE y PSI como parámetros; estando la mayor parte del suelo en malas condiciones y por ello, se puede explotar agrícolamente con más del 90 % de riesgos, esto es si no se aplica algún mejorador y estiércol antes de sembrar.

- Durante el proceso de mejoramiento se tendrán producciones de 5 a 10 % ( bajas ), aumentando éstas, según sea el avance del mejorador y el trabajo a realizar, esto en caso de desear la explotación del terreno, puesto que se deberán amortiguar a mediano y largo plazo los costos de producción.

- Deberá planearse oportunamente y con bases bibliográficas y prácticas el aprovechamiento de suelos sódicos con el objeto, de extenderlo a todos los suelos con problemas de sodio en el ejido.

- El manejo de los suelos con problemas de sodio es especial, de ninguna manera ha de tratarse como uno normal; si se quiere aprovechar este suelo en la agricultura deberá considerarse el siguiente punto:

- Debe tenerse en cuenta que los análisis de suelos deberán repetirse con frecuencia por lo menos cada ciclo agrícola, para ir aprovechando oportunamente el terreno.

- Es factible la utilización de ciertas especies expuestas en la revisión bibliográfica según sea el avance del desplazamiento catiónico ( Na + por Ca 2+ ), tomando en cuenta toda clase de precauciones necesarias para el aprovechamiento de este suelo.

- En general es posible aunque con riesgos ( 90 % ) la utilización de este suelo, puesto que se cuenta con agua, principal elemento para la utilización de cualquier terreno, la obtención de materia orgánica a bajo costo ya que el Sr. Julian Zandoval Rodríguez cuenta con un establo (bovino) propio y la adquisición de un mejorador o varios a no muy alto costo como es el caso del yeso, quedando al criterio del ejidatario el empleo de otro producto desde el punto de vista económico.

### **\* Sugerencias:**

- De realizarse los trabajos pertinentes y adecuados, se darán grandes alternativas de producción como son:

- Introducción paulatina al cultivo: Conforme se vaya avanzando y adentrándose en los terrenos irán dando oportunidad de ser aprovechados agrícolamente, primero incorporando cultivos tolerantes y después más variados.

- **Aumento de los rendimientos:** Una vez que se establezcan cultivos, que sean tolerantes al sodio y el ir avanzando en el aprovechamiento de este suelo le permitirá aumentar su rendimiento, ya que mejorará las condiciones estructurales y de fertilidad, permitiendo a las plantas mejor soporte y nutrición.

- **Diversificación de cultivos:** Conforme los niveles de sodicidad vayan decreciendo, el agricultor tendrá la opción de ir introduciendo cultivos más variados y palatables para el ganado, esto será a mediano y largo plazo.

- **Introducción a la producción de tierras laborables:** Al trabajar este suelo ( sódico ), se estará rescatando las tierras del ejido a un futuro, mismas que podrán explotarse agrícolamente. Lo que en primer lugar incrementará y posteriormente mejorará la producción de la zona.

- **Incremento para el productor:** Al obtener un aumento y terreno cultivable, el Sr. Zandoval ira aumentando el rendimiento y la superficie cultivable, lo que repercute en mayores ganancias al incrementar la producción, esto es a futuro, mientras se debe amortiguar los costos de producción para la utilización de estos suelos.

- **Por último, no queda más que dejar la decisión final al Sr. Julian Zandoval Rodríguez** quien es el dueño, mejor dicho, quien tiene la posibilidad de explotar esas tierras desde el punto de vista económico, que de hacerlo puede redituarle a futuro y con trabajo constante en grandes alternativas de producción a el en particular y al poblado integrando mayor número de parcelas improductivas al cultivo.

## VIII. ABREVIATURAS.

C.	Concentración salina de una solución.
C.C.	Capacidad de campo.
Ccc	Concentración salina de la solución del suelo a capacidad de campo.
CE	Conductividad eléctrica a 25°C (mmhos/cm.).
Ce	Concentración salina del extracto de saturación del suelo.
CEcc	Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo a capacidad de campo.
CEe	Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo.
Da	Densidad aparente, g/cm <sup>3</sup> .
Dr	Densidad real, g/cm <sup>3</sup> .
E	Evapotranspiración.
ETP	Evapotranspiración potencial.
meq	Miliequivalentes de una sustancia (elemento, ion, sal); es el peso en g. de esa sustancia que se combina o reemplaza a 1 mg. de hidrógeno. Es igual a la milésima parte del peso atómico o molecular del ion dividido por su valencia.
Meq/l	Número de miliequivalentes de una sustancia disueltos en 1 litro de solución.
mmhos/cm.	Unidad de medida de la conductividad eléctrica.
PP	Precipitación Pluvial.
Pe	Peso equivalente, o simplemente equivalente de una sustancia ( elemento, ion, sal ); es el peso en gramos de la sustancia que se combina o reemplaza a 1g. de hidrógeno. Es igual al peso atómico o molecular del ion dividido por su valencia.
PM	Punto de marchitez.
PSI	Porcentaje de sodio intercambiable.
pH	Cologaritmo decimal de la concentración de iones de H <sup>+</sup> de una solución. Es una medida de la acidez de una solución.

RAS	Relación de adsorción del sodio.
RAK	Relación de adsorción del potasio.
mmho	Milimho.
$\mu$ mho	Micromho.
PPI	Por ciento de potasio intercambiable.
RAP	Relación de adsorción de potasio.
CIC	Capacidad de intercambio de cationes.
m.e.	Miliequivalente.
mg/litro	Miligramos de soluto por litro de solvente.
p.p.m.	Partes por millón. En la forma común que se mide y se usa, p.p.m. es numéricamente igual a miligramos por litro.
CH	Conductividad hidráulica.
PMP	Por ciento de marchitez permanente.
PS	Por ciento de saturación.
PO	Presión osmótica.
m	Metro.
cm	Centímetro.
mm	Milímetro.
m $\mu$	Milimicrón.
$\mu$	Micrón (10 <sup>-6</sup> metro), también prefijo micro.

## **IX.- GLOSARIO DE TERMINOS.**

**ABSORCION:** Proceso por el cual una sustancia es retenida por otra, por ejemplo: entrada de agua al suelo, o de agua, nutrientes y otras sustancias a las plantas.

**ADSORCION:** Concentración excesiva de moléculas o iones en una superficie, incluyendo cationes y aniones intercambiables en las partículas del suelo.

**AGREGACION:** El proceso de formación de agregados.

**AGREGADO:** Un grupo de partículas de suelo con tal grado de coherencia que se comporta como una unidad.

**AGUA SUBTERRANEA:** Agua en el suelo abajo de la superficie, generalmente bajo condiciones de mayor presión que la atmosférica y donde todos los vacíos del suelo están substancialmente llenos de agua.

**ALCALINO:** Un término químico que se refiere a la reacción básica cuyo pH es mayor de 7, para diferenciar de la reacción ácida menor de 7.

**CAL:** Estrictamente, óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), pero en la terminología agrícola acostumbrada, incluye también carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ )

**CAPACIDAD DE CAMPO:** Contenido de humedad del suelo dos o tres días después de humedecer el perfil del suelo con lluvia o por riego. La capacidad de campo se expresa como por ciento de humedad del suelo seco.

**CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES:** La cantidad total de cationes que puede adsorber un suelo y que se expresa generalmente en miliequivalentes por 100 gramos. Los valores que se obtengan dependerán en cierta forma del método que se utilice en la determinación.

**CAPA FREATICA:** El límite superior del agua subterránea. La superficie superior del locus de puntos en los cuales la presión en el agua subterránea es igual a la atmosférica.

**CARGA HIDRAULICA:** La elevación con respecto a un nivel de referencia, del agua en un manómetro conectado al punto del suelo por determinarse. Esto incluye carga de elevación, carga de presión y también carga de velocidad, si la abertura terminal del medidor apunta aguas arriba. Para corriente no turbulenta en el suelo, la carga de velocidad es nula. En suelo no saturado se debe usar un cuerpo poroso para establecer contacto hidráulico entre el agua del suelo y el agua en un manómetro. La carga hidráulica se mide por longitud (L).

**CATION INTERCAMBIABLE:** Un catión adsorbido en el complejo de intercambio que es capaz de intercambiarse con otros cationes.

**COMPLEJO DE INTERCAMBIO:** Los constituyentes en la superficie activa de los suelos (orgánicos e inorgánicos) que son capaces de intercambio de cationes.

**CONDUCTIVIDAD ELECTRICA:** La recíproca de la resistencia eléctrica. Esta es la resistencia en ohms de un conductor metálico o electrolítico, que tiene 1 cm. de largo y una área transversal de 1 cm<sup>2</sup>, por consiguiente, la conductividad eléctrica se expresa en recíproca de ohms. por centímetro, o sea, mhos por centímetro. Los términos "conductividad eléctrica" y "conductividad eléctrica específica" tienen el mismo significado.

**CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA:** El factor de proporcionalidad en la Ley de Darcy que establece que la velocidad efectiva de escurrimiento es proporcional al gradiente hidráulico. La conductividad hidráulica, por lo tanto, es la velocidad efectiva de escurrimiento a la unidad de gradiente hidráulico y tiene las dimensiones de velocidad (LT<sup>-1</sup>).

**DENSIDAD APARENTE:** La relación entre la masa de suelo seco y su volumen. Se expresa en libras por pie cúbico o gramos por centímetro cúbico y también se designa densidad de volumen. Cuando se expresa en gramos por centímetro cúbico, la densidad por volumen es numéricamente igual a la gravedad específica aparente o peso volumétrico.

**DENSIDAD REAL:** La densidad media aparente de las partículas del suelo. La densidad real generalmente se expresa en gramos por centímetro cúbico y algunas veces se menciona como densidad de partículas o densidad de grano.

**DRENAJE:** 1. El proceso de descarga de agua de un suelo por corriente superficial (drenaje superficial) y eliminación de agua excesiva dentro del suelo por movimiento descendente a través del mismo (drenaje interno). 2. Los medios para efectuar la eliminación del agua superficial y dentro del suelo, por ejemplo: topografía con pendiente o canales (drenaje superficial) o drenes abiertos o por tubería subterránea (drenaje artificial), o por bombeo.

**EFECTO ESPECIFICO DE IONES:** El efecto del constituyente de una sal en el sustrato sobre el crecimiento de las plantas, que no se debe a las propiedades osmóticas del sustrato.

**EFICIENCIA DE APLICACION DE AGUA:** Fracción del agua derivada al rancho y almacenada en la zona radicular para utilización del cultivo, expresada en por ciento.

**EXTRACTO DE SATURACION:** La solución que se extrae al suelo cuando éste contiene agua a su por ciento de saturación.

**EXTRACTO DEL SUELO:** La solución que se obtiene de una suspensión del suelo o un suelo a determinado contenido de humedad.

**INFILTRACION:** La entrada hacia abajo del agua en el suelo.

**INTERCAMBIO DE CATIONES:** El intercambio de un ion en solución con otro en la superficie de un material activo.

**LAVADO:** El proceso de remoción de material soluble del suelo cuando pasa agua a través del mismo.

**MILIEQUIVALENTE:** Un milésimo de un equivalente.

**MILIEQUIVALENTE POR LITRO:** Un miliequivalente de un ion o compuesto en un litro de solución.

**NECESIDAD DE DRENAJE:** Especificaciones de trabajo y capacidad de un sistema de drenaje, por ejemplo: profundidades permitidas y modo de variación de la capa fríatica con respecto a la zona radicular o superficie del suelo y la cantidad de agua que los drenes deben conducir en un momento dado.

**NECESIDAD DE LAVADO:** La fracción del agua que entra en el suelo y que debe pasar a través de la zona radicular para evitar salinidad del suelo al exceder un valor específico. La necesidad de lavado se usa principalmente bajo condiciones estables o medias después de un largo período de tiempo.

**PASTA SATURADA DEL SUELO:** Una mezcla de suelo y agua. A saturación, la pasta brilla al reflejar la luz, escurre ligeramente al inclinar el recipiente y la pasta se desliza libremente de una espátula, excepto en suelos de alto contenido de arcilla.

**PERCOLACION:** Un término cualitativo que se aplica al movimiento descendente del agua en suelo saturado o casi saturado a gradientes hidráulicos de uno o menores.

**PERMEABILIDAD:** 1. Cualitativa. El estado de un medio con relación a la rapidez con la cual dicho medio conduce o transmite fluidos. 2. Cuantitativa. La propiedad específica que gobierna el grado o rapidez con que un medio poroso transmite fluidos bajo condiciones estándar. La ecuación que se usa para expresar el escurrimiento debe tomar en consideración las propiedades del fluido, de tal manera que las medidas adecuadas en un medio determinado, dan el mismo valor de permeabilidad para todos los fluidos que no alteran dicho medio. Las dimensiones físicas de la unidad de permeabilidad están determinadas por la ecuación que se usa para expresar el escurrimiento.

**PLANTA INDICADORA:** Una planta nativa que indica en general, y a veces en forma específica, la naturaleza de las condiciones del suelo con respecto a humedad y salinidad. Las especies dominantes son las indicadoras más importantes en tales condiciones.

**PORCIENTO DE HUMEDAD:** 1. Base de suelo seco. El peso de agua por 100 partes de peso del material secado a temperatura constante a una temperatura estándar. 2. Base a profundidad. La profundidad de agua equivalente a 100 unidades de profundidad del suelo. Numéricamente este valor se aproxima al volumen de agua por 100 unidades del volumen de suelo.

**PORCIENTO DE MARCHITEZ PERMANENTE:** El porcentaje de humedad en el cual las plantas se marchitan sin recobrar turgidez. Generalmente se determina usando girasoles enanos. La expresión solamente tiene significado para suelos no salinos.

**PORCIENTO DE SATURACION:** El porcentaje de humedad de una pasta saturada del suelo, expresado con base a suelo seco.

**PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE:** Grado de saturación con sodio del complejo de intercambio. Se puede calcular con la fórmula:

$$PSI = \frac{\text{Sodio intercambiable (m.e./100 g. de suelo)}}{\text{Capacidad de intercambio de cationes (m.e./100 g. de suelo)}} \times 100$$

**PORCIENTO DE SODIO SOLUBLE:** Un término que se usa relacionado a aguas de irrigación y extractos del suelo para indicar la relación de iones de sodio en solución, con relación a la concentración total de cationes. Se puede calcular con la fórmula:

$$PSS = \frac{\text{Concentración de sodio soluble (m.e./litro)}}{\text{Concentración total de cationes (m.e./litro)}} \times 100$$

**POROSIDAD:** La fracción del volumen del suelo no ocupada por las partículas del mismo, la relación de la suma de volúmenes de las fases líquida y gaseosa a la suma de los volúmenes de las fases sólida, líquida y gaseosa del suelo.

**PRESION OSMOTICA:** La presión negativa equivalente que tiene influencia en el grado de difusión del agua a través de una membrana semipermeable. Su valor experimental directo para una solución es la diferencia de presión requerida para igualar los grados de difusión entre la solución y agua pura a través de una membrana semipermeable. La presión osmótica se puede calcular y expresar en atmósferas utilizando el punto de abatimiento de la congelación T en °C al aplicar la fórmula  $PO = 12.06 \Delta T - 0.021 \Delta T^2$ .

**REHABILITACION:** El proceso de eliminar exceso de sales solubles o exceso de sodio intercambiable en el suelo.

**RELACION DE ADSORCION DE POTASIO:** Una relación entre extractos del suelo y aguas de irrigación que se usa para expresar la actividad relativa de los iones potasio en reacciones de intercambio en el suelo. Donde las concentraciones iónicas se expresan en m.e./lt.

**RELACION DE ADSORCION DE SODIO:** Una relación para extracto del suelo y aguas de irrigación, que se usa para expresar la actividad relativa de iones de sodio en reacciones de intercambio con el suelo. Donde las concentraciones de iones se expresan en miliequivalentes por litro.

**SALINIZACION:** El proceso de acumulación de sales en el suelo.

**SODIFICACION:** Proceso por el cual se aumenta el contenido de sodio intercambiable en un suelo.

**SUELO ALCALINO:** Un suelo con reacción alcalina, o sea, aquel cuyo pH de la pasta saturada es mayor de 7.

**SUELO DISPERSADO:** Suelo en el cual la arcilla forma fácilmente un sol coloidal. Los suelos dispersados tienen generalmente poca permeabilidad. Tienden a contraerse, agrietarse y a endurecerse cuando se secan y a desmoronarse y ser plásticos cuando húmedos.

**SUELO SALINO:** Un suelo no sódico que contiene sales solubles en tales cantidades que impiden el crecimiento de la mayor cantidad de cultivos. La conductividad del extracto de saturación es mayor de 4 milimhos por centímetro (a 25°C) y el porcentaje de sodio intercambiable es menor de 15. El pH de la pasta saturada, generalmente es menor de 8.5.

**SUELO SODICO:** Un suelo que contiene suficiente sodio intercambiable para impedir el crecimiento de la mayor parte de los cultivos, ya sea con alto contenido de sales solubles o en ausencia de ellas.

**SUELO SODICO NO SALINO:** Un suelo que contiene suficiente sodio intercambiable que impide el crecimiento de la mayor parte de los cultivos y no contiene cantidades grandes de sales solubles. El porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15 y la conductividad eléctrica del extracto de saturación es menor de 4 milimhos por centímetro a 25° C. La lectura del pH de la pasta saturada es usualmente de 8.5.

**SUELO SODICO - SALINO:** Un suelo que contiene suficiente sodio intercambiable para impedir el crecimiento de la mayor parte de las plantas y además contiene altas cantidades de sales solubles. El porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15 y la conductividad del extracto de saturación es mayor de 4 milimhos por centímetro a 25° C. El valor del pH de pasta saturada es generalmente menor de 8.5.

**USO CONSUNTIVO:** El agua que usan las plantas en transpiración y crecimiento, más el agua que se pierde en forma de vapor de una superficie adyacente de suelo o nieve, o de precipitación interceptada en cualquier tiempo. generalmente se expresa como lámina de agua por unidad de tiempo.

**VELOCIDAD DE INFILTRACION; CAPACIDAD DE INFILTRACION:** El grado máximo a que un suelo, bajo ciertas condiciones y en un tiempo dado, puede absorber lluvia. También es el grado de adsorción de agua, cuando ésta se almacena sobre una gran superficie con poca profundidad, o cuando se toman precauciones para evitar corriente divergente en los bordos. Es el volumen de agua que pasa el suelo por unidad de área en unidad de tiempo y tiene las dimensiones de velocidad (LT-1).

## SIMBOLOS QUIMICOS Y NOMBRES COMUNES

SIMBOLO QUIMICO O FORMULA	NOMBRE COMUN
<b>Iones:</b>	
Ca <sup>++</sup>	Ion Calcio.
Mg <sup>++</sup>	Ion magnesio.
Na <sup>+</sup>	Ion sodio.
K <sup>+</sup>	Ion potasio.
Cl <sup>-</sup>	Ion cloruro
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ion sulfato.
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ion carbonato.
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ion bicarbonato.
<b>Salas:</b>	
CaCl <sub>2</sub>	Cloruro de calcio.
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de calcio.
CaSO <sub>4</sub> *2H <sub>2</sub> O	Yeso.
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de calcio.
MgCl <sub>2</sub>	Cloruro de magnesio.
MgSO <sub>4</sub>	Sulfato de magnesio.
MgCO <sub>3</sub>	Carbonato de magnesio.
NaCl	Cloruro de sodio.
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de sodio.
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de sodio.
NaHCO <sub>3</sub>	Bicarbonato de sodio.
KCl	Cloruro de potasio.
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de potasio.
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de potasio.
KHCO <sub>3</sub>	bicarbonato de potasio.
<b>Mejoradores químicos:</b>	
S	Azufre.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acido sulfúrico.
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> *18H <sub>2</sub> O	Sulfato de aluminio.
FeSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O	Sulfato de fierro (ferroso).

## **X. BIBLIOGRAFIA.**

- 1.- Aguirre Gómez Arturo, 1989, Apuntes para el curso: Química de los suelos salinos y sódicos, **FES-CUAUTITLAN, UNAM, México.**
- 2.- Agro Visión, Mayo 1994, Kochia, Una Opción Forrajera, *Revista de la Sociedad Rural, México.*
- 3.- Buckman Harry, 1977, *Naturaleza y propiedades de los suelos*, Editorial Montaner y Simon, España.
- 4.- B. Ortiz Villanueva, 1984, *Edafología*, Universidad Autónoma de Chapingo (Suelos), México.
- 5.- C. A. Black, 1975, *Relaciones suelo-planta*, Tomo I, Editorial Hemisferio Sur, Argentina.
- 6.- Donahue Roy, 1981, *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas*, Editorial Dossat, España.
- 7.- García Aldape Javier, 1992, *Alternativas para la producción de forraje en tierras degradadas por salinización*, Tesis, U.A.CH., Departamento de Zootecnia, México.
- 8.- INEGI, 1990, *Guías para la Interpretación de Cartografía "Edafología"*, México.
- 9.- L.A. Richards, 1977, *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*, Editorial Limusa, México.
- 10.- López Ritas Julio, 1978, *El diagnóstico de suelos y plantas*, Ediciones Mundi-Prensa, España.
- 11.- M.L. Jackson, 1976, *Análisis químicos de suelos*, Ediciones Omega, España.
- 12.- Narro Farias Eduardo, 1994, *Física de suelos con enfoque agrícola*, Editorial Trillas, México.
- 13.- *Revista Agroproductividad*, Junio 1992, Kochia, Una Opción para la Producción de Forraje, Colegio de Postgraduados, México.
- 14.- R. V. Tamhane, 1983, *Suelos: Su química y fertilidad en zonas tropicales*, Editorial Diana, México.
- 15.- Sampat A. Gavande, 1982, *Física de suelos*, Editorial Limusa, México.
- 16.- Teuscher Henry, 1980, *El suelo y su fertilidad*, C.E.C.S.A., México.

- 17.- Tellez López J. Luis, 1985, Determinación del tipo de suelo y formulación de un programa para la rehabilitación de suelos con problemas de salinidad en la unidad de riego Santiago Atocan del Municipio de Santa Ana Nextlalpan en el Estado de México, UNAM, México.
- 18.-Valencia Islas Celia E., 1991, Muestreo de suelos para Ingenieros Agrícolas, FES-  
CUAUTITLAN, UNAM, México.
- 19.-Velásco Molina Hugo A., 1983, Uso y manejo del suelo, Editorial Limusa, México.

***LAS PERSONAS INTERESADAS EN ADQUIRIR MAYOR INFORMACION SOBRE KOCHIA, DIRIGIRSE A:***

**Dr. Manuel Anaya Garduño.  
Colegio de Postgraduados  
Centro de Edafología  
Montecillo, Estado de México  
CP 56230  
Teléfono: 595-45701  
Fax: 595-45723**

***LAS PERSONAS INTERESADAS EN ADQUIRIR SEMILLA DE KOCHIA, DIRIGIRSE A:***

**Forrajes y semillas para zonas áridas  
Productor y distribuidor:  
Ing. Alejandro Velázquez Loera  
1a. cerrada de Alborada No. 6  
Fraccionamiento el Retiro  
Texcoco, Edo. de México  
Teléfono: 595-41528  
Fax: 595-43594**