

9
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**EVALUACION DEL EFECTO INTERACCIONAL; TIPOS DE
AGUA PARA LAVADO, DOSIS DE MEJORADOR QUIMICO
(POLISULFURO DE CALCIO) Y TIEMPOS DE SU
APLICACION, EN LA RECUPERACION DE SUELOS
SALINO-SODICOS, ZONA EX-LAGO DE TEXCOCO**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA**

P R E S E N T A

CAMPOY OTERO ISMAEL

ASESOR: M. C. VEGA ROJAS EDVINO JOSAFAT

CUAUTITLAN, ESTADO DE MEXICO

1990

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE DE CUADROS, PLANOS Y FIGURAS.

CUADRO	PAGS.
1 Coeficientes de energía, radios iónicos, valencias y secuencias de extracción de iones.	9
2 Categorías de emigración de los elementos.	
3 Cationes y aniones.	10
4 Clasificación de los suelos por su PSI.	19
5 Dimensión de ciertos cationes bajo condiciones de hidratación y no hidratados. (nm)	25
6 Capacidad de adsorción de los cationes por su carga de energía.	
7 Cantidad de microorganismos en suelos con grados de afectación salina a una profundidad de 25 cm.	31
8 Porcentaje de germinación de trigo var. INIA 66 a diferentes potenciales osmóticos ₂	33
9 Área foliar, número de estomas/cm ² y por hoja en trigo sometidas a diferentes niveles de potencial osmótico en la solución del suelo.	36
10 Grosor promedio de la pared celular, en micras, medida en diferentes hojas y en dos edades fisiológicas en plantas de trigo sometidas a diferentes potenciales osmóticos.	37
11 Clasificación de aguas por su concentración de sales.	44
12 Clasificación de la calidad de agua según su origen.	
13 Criterios e índices para la clasificación de aguas de riego por su calidad química.	45
14 Clasificación de sales por su solubilidad e incremento en la presión osmótica.	48
15 Concentraciones permisibles de algunos elementos en aguas negras y uso urbano.	49
16 Técnicas para la recuperación de suelos salinos.	50
17 Grupos de mejoradores químicos.	58
18 % de oxidación de diferentes clases de azufre después de diferentes tiempos en dos cantidades de aplicación.	59
19 Pesos equivalentes de mejoradores químicos.	65
20 Coeficientes de corrección de los mejoradores.	66
21 Formas físicas de los mejoradores.	
22 Solubilidad del CaCO ₃ a diferentes valores de pH.	68
23 Días requeridos para la germinación de semillas de avena a temperaturas indicadas.	72
24 Valores promedio de las constantes de humedad con respecto al suelo en relación a su textura.	80
25 Tratamientos evaluados.	82

CUADRO	PAGS.
26 Determinaciones físicas de muestras para la obtención de agua necesaria para lavado.	85
27 Clases texturales para la obtención del % de C.c. en muestras de suelo a tratar.	86
28 Determinaciones químicas para la obtención de la dosis de mejorador químico de las muestras de suelo a tratar (meq/lt).	
29 Serie de cuadros; parámetros evaluados, análisis de varianza y comparación de medias.	88-102
30 Resultados promedio de las muestras de suelo utilizadas como testigos en el diseño experimental de bloques completamente al azar en cada una de sus repeticiones.	119
31 Cantidad de agua aplicada durante la etapa de lavado a las distintas muestras de suelo de los diferentes tratamientos, mostrándose una amplia diversidad en la cantidad de agua aplicada.	120
32 Datos de C.E. mmhos/cm a 25°C, proporcionados semanalmente en C.L.(Centro del Lago) Comisión Nacional del agua proyecto Lago de Texcoco.	121
33 Resultados de muestras de aguas analizadas, proporcionados por el Laboratorio en San Juan de Aragón, Comisión Nacional del Agua, proyecto Lago de Texcoco.	122
34 Resultados sobre análisis bromatológico del cultivo de avena <u>Avena sativa</u> L. var. Chihuahua, proporcionados por el Laboratorio de la Comisión Nacional del Agua, proyecto Lago de Texcoco.	123
35 Resultados sobre texturas proporcionados por el Laboratorio de San Juan de Aragón, perteneciente a la Comisión Nacional del agua, proyecto lago de texcoco.	124

PLANOS

1 Localización geográfica del área 3B en la zona ex-lago de Texcoco.	78
--	----

FIGURA

1 Porcentaje de germinación de diferentes cultivos en función de la concentración de sales medidas como - C.E. .	34
--	----

INDICE

pags.

	Indice de cuadros, planos y figuras.	
	Resumen.	1
I	Introducción	4
	Objetivos e Hipotesis	7
II	Revisión Bibliográfica	8
	2.1 Generalidades de la salinidad.	
	2.1.1 Origen de las sales.	
	2.1.2 Fuente de sales.	10
	2.1.3 Procesos de salinización y sodificación.	12
	2.1.4 Acumulación de sodio en los suelos.	13
	2.1.5 Formación de los suelos sódicos.	16
	2.1.6 Factores que favorecen la salinidad.	17
	2.1.7 Clasificación de los suelos con problemas de sales.	20
	2.2 Efectos ocasionados por la salinidad.	23
	2.2.1 Efectos de las sales sobre las propiedades físicas del suelo.	
	2.2.1.1 Compactación del suelo.	27
	2.2.2 Efectos de las sales sobre los microorganismos del suelo.	29
	2.2.3 Efectos de las sales sobre el desarrollo de las plantas.	32
	2.2.3.1 Efecto sobre la asimilación de nutrientes.	34
	2.2.3.2 Efecto de la salinidad sobre los cultivos.	38
	2.2.3.3 Sintomatología de las plantas en condiciones de salinidad.	39
	2.2.3.4 Efectos específicos de los iones existentes en suelos salinos.	40
	2.3 Manejo de los suelos salinos y sódicos.	43
	2.3.1 Empleo del agua en la recuperación de suelos.	
	2.3.2 Metodos de recuperación de suelos.	49
	2.3.2.1 Necesidad de lavado.	50
	2.3.2.2 Metodos de recuperación de suelos con problemas de salinidad y sódicidad.	53
	2.3.2.3 Metodos de lavado.	54
	2.3.3 Medidas de combate contra la salinidad.	55
	2.3.4 Medidas de control de salinidad	57
	2.3.5 Aplicación de mejoradores químicos	
	2.3.5.1 Reacciones químicas de los mejoradores.	60
	2.3.5.2 Cantidad de mejorador aplicado.	63
	2.3.5.3 Formas de aplicación de los mejoradores químicos.	66

	pags.
2.3.6 Cálculo del volúmen de agua necesaria.	68
2.3.7 Medidas de adaptación a los problemas de ensalitramiento del suelo.	69
2.3.7.1 Manejo del cultivo.	70
2.4 Características del cultivo de avena(<u>Avena sativa</u> L)	71
2.4.1 Características morfológicas.	
2.4.2 Ciclo de vida.	
2.4.3 Condiciones ecológicas.	73
2.5 Descripción del área de trabajo.	76
III Materiales y Metodos.	79
IV Resultados	85
V Analisis y discusión de resultados.	107
VI Conclusiones y sugerencias.	111
VII Bibliografía	113
Apendice	119



R
E
S
U
M
E
N

El presente trabajo fue realizado tomando en consideración la problemática causada por la salinidad en las diversas áreas que han sido afectadas por la acumulación de sales.

Esto motivo a la formulación de una serie de objetivos, esperando encontrar una respuesta satisfactoria a la necesidad de recuperación de estas áreas.

El experimento busco evaluar la interacción de varios factores; dosis de mejorador químico, 4 tiempos de aplicación y 3 tipos de agua para lavado, haciendo un total de 12 tratamientos a evaluar mediante parametros cuantitativos: C.E., pH, M.O. etc.

El trabajo dio inicio mediante la revisión bibliografica (capitulo II) sobre generalidades, efectos y manejo de suelos áreas invadidas por salinidad y sodicidad.

La parte practica llevo a cabo la evaluación de diversos parametros cuantitativos físicos y químicos.

Está investigación consistio de dos etapas; lavado del suelo y establecimiento de cultivo.

Las muestras de suelo fueron obtenidas del área denominada 3B, ubicada en la parte oriente de la zona ex-lago de Texcoco.

Una vez obtenida la cantidad de suelo y preparada, se obtuvieron varias muestras de suelo para llevar a cabo determinaciones físicas y químicas; textura, % de humedad, capacidad de intercambio catiónico y cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}). Estas fueron utilizadas en la obtención de la dosis de mejorador químico (polisulfuro de calcio) y el % de capacidad de campo (C.c.), indispensables para la obtención de la cantidad de agua necesaria para lavado de las muestras de suelo.

Durante la experimentación se llevaron a cabo diversos análisis de suelos y aguas antes y despues de cada etapa del experimento.

Los resultados del primer análisis de suelos fue considerado como los datos testigos (promedios de muestras) a comparar, mientras que el último se utilizó en la evaluación de la investigación -

ción.

El análisis de aguas se llevó a cabo por cada uno de los tres tipos de agua utilizadas en el experimento, para conocer la calidad de éstas, así como también se llevaron a cabo lecturas sobre conductividad eléctrica (C.E.) en forma semanal durante cada é t a p a. El trabajo realizado durante la é t a p a de lavado, comprendió la aplicación de agua a las muestras de suelo en los diferentes tratamientos por espacio de 45 días. Durante é s t a e t a se llevó a cabo la aplicación de la dosis de mejorador químico en un intervalo de 15 días con base en los tratamientos. La dosis se aplicó en 4 diferentes tiempos; inicio, 15 días, 30 días y fraccionada en 3 partes; una por cada tiempo de aplicación mencionada.

Después de la aplicación del mejorador se dio un periodo de reposo de 15 días para la oxidación microbiológica de éste, durante la cual no hubo levado alguno, reanudándose posteriormente.

En el caso de la dosis fraccionada, el periodo de reposo consistió de 5 días al final de la etapa de lavado.

La oxidación microbiológica permitió el paso del mejorador a la forma necesaria en el suelo para su recuperación (SO_4^-).

El tiempo de duración de é s t a e t a comprendió 2 meses.

Durante la segunda é t a p a; se llevó a cabo el establecimiento del cultivo de avena (*Avena sativa* L.) var. Chihuahua, en las muestras de suelo, con una densidad de 10 semillas por maceta.

Los riegos con los diversos tipos de agua se llevaron en base a la necesidad de humedad por la planta.

La é t a p a comprendió una duración de 2 meses y medio desde la siembra a la cosecha, al observarse el grano con más del 50% de madurez (estado masoso-lechoso).

Los resultados obtenidos mediante los análisis fueron evaluados por medio del diseño experimental de bloques completamente al azar. El diseño presentó significancia en todos los parámetros evaluados; C.E., pH, PSI, CIC, materia orgánica, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- , rendimiento dando lugar a una diferencia en los tra

tamientos.

Los resultados obtenidos en cada parámetro evaluado mediante la comparación de medias con la prueba de Schiffé, dieron lugar a los mejores tratamientos por sus condiciones físicas y químicas, siendo aquellos en los cuales se utilizaron aguas negras tratadas y no tratadas interactuando con la dosis de mejorador químico aplicado al inicio y fraccionada en la etapa de lavado. El rendimiento considerado como un síntoma de recuperación del suelo, fue obtenido con mejor resultado en estos mismos tratamientos sobresaliendo el tratamiento 4 (aguas negras no tratadas y dosis fraccionada). Aun así hubo tratamientos que presentaron condiciones químicas mejores de recuperación, pero su rendimiento fue menor debido al empobrecimiento del suelo a través del lavado de éstos; sales solubles, coloides orgánicos, aniones y cationes.

Los resultados obtenidos manifiestan una serie de respuestas satisfactorias por lo que se sugiere que los tratamientos -- con mejor respuesta sean llevados a la práctica en campo como -- una alternativa en la recuperación de los suelos salinos-sódicos.



I O H
N B I
T J P
R E O
O T T
D I E
U V S
C O I
C S S
I
O N E

CAPITULO I

La necesidad de producir alimentos para satisfacer la demanda alimentaria ha hecho del hombre un ser creativo, de amplio ingenio, talento y capacidad para producir, estableciendo diversos métodos de producción en lugares diversos dependiendo de las condiciones existentes.

Debido al desarrollo acelerado de los distritos de riego, los cuales pusieron mayor énfasis en las obras de captación y distribución de agua que en las de drenaje se produjo como consecuencia el ensalitramiento de los suelos en grados diversos por lo que existen grandes extensiones de tierra como el Valle de Mexicali y la laguna en Coahuila y Durango con este problema, desarrollado por el empleo del método de riego de inundación.

Existen también zonas ensalitradas en forma natural, tal es el caso de La laguna del Carmen en Puebla o la zona de Tehuentepec en el estado de Oaxaca, así como el vaso de Texcoco en el estado de México, área sobre la cual se enfoca la presente investigación.

El valle de México representaba en épocas anteriores una cuenca cerrada, alimentada por ríos provenientes de las cordilleras del Tlaloc y el Tepepón lo que propiciaba el aumento de las áreas inundadas en época de lluvias.

El amplio crecimiento de la ciudad ocasionó el problema de inundaciones, lo que motivó la construcción de obras de desagüe en épocas prehispánicas; el gran canal, el tajo de Nochistongo y los túneles de Tequisquiac, drenando así el lago de Texcoco, convirtiendo el valle de México en una cuenca abierta. (1)

La zona comprende actualmente una superficie aproximada de 10000 hectáreas, encontrándose localizada al sur de la mesa central de la república mexicana, a una altitud de 2200 m.s.n.m. comprendida dentro de las coordenadas geográficas: 19° 22' y 19° 37' lat. N y 98° 54' y 99° 03' long. W. (2)

Producto de los altos volúmenes de agua almacenada y el desequilibrio existente entre la evaporación y la precipitación-

en una relación de 4 - 1 (2247 mm y 697 mm), se acumularon grandes cantidades de sales, las que sedimentaron al mantenerse el agua en forma estática. (1)

El desajuste artificial, al mismo tiempo que disminuyó el problema de inundaciones originó la aparición de condiciones salino-sódicas en los suelos, haciéndolos inadecuados al establecimiento de cultivos, al afectarse sus propiedades físico-químicas, mecánicas, generando una alteración ecológica creándose suelos fríos y propensos a erosionarse. (3)

En México existen actualmente alrededor de tres millones de hectáreas bajo condiciones salino-sódicas propiciando la disminución en la capacidad productiva del país por lo que se busca lograr su recuperación a través del manejo adecuado de estos suelos aplicando técnicas apropiadas de trabajo, obtenidas mediante experiencias en campo y laboratorio.

Las condiciones prevelecientes en la zona del ex-lego de Texcoco, lo hace ser un caso único en el mundo debido a las altas concentraciones de sales, un nivel freático superficial, niveles de pH entre 9 y 10.5 con altos niveles de PSI (75-100%). (2)

La combinación de lavados al suelo y aplicación de diversos mejoradores acidificantes al suelo, hacen una técnica adecuada de manejo en la rehabilitación de los suelos destinados a la agricultura. (4)

Esto ha sido favorecido por el desarrollo de la industria y las edificaciones urbanas, el incremento poblacional al provocar un aumento en el volumen de aguas residuales las que pueden emplearse por su contenido de materia orgánica, alto valor como fertilizante y aceptable calidad como un medio en la recuperación de suelos a través de la técnica de lavados, haciendo de suma importancia la calidad de los tipos de agua a usar para esta fin, siendo satisfactorias en grado óptimo. La función del lego de Texcoco de regular las aguas residuales y escurrimientos, almacenándolas en épocas de lluvias conteniendo una descarga perme-

mente permitiendo la disposición de agua residual, la cual llega a la zona a través del río Churubusco y el río de la Compañía, los que forman el dren general del valle de México. (2)

La llegada de aguas residuales, creó la iniciativa de establecer plantas tratadoras (lodos residuales, facultativa, tratamiento terciario y aereación a contracorriente) de este tipo de aguas.

El agua residual una vez tratada es descargada en el lago artificial Dr. Nabor Carrillo donde se saliniza, producto de la alta evaporación y estaticidad del agua.

Bajo éstas condiciones la zona permite contar con diferentes tipos de agua: residual no tratada, residual tratada y agua salina siendo utilizadas mediante la actividad de lavado en la recuperación de estos suelos.

El empleo de los diferentes tipos de agua utilizadas en la zona, así como el uso de mejoradores cúmicos; yeso y azufre - los cuales presentan reacción lenta en el suelo y cuyos resultados son satisfactorios nos llevo a probar un mejorador cuyo utilización no ha sido evaluada plenamente, tal es el caso del poli sulfuro de calcio, el cual por su solubilidad esperamos una rápida interacción con el suelo permitiendo su recuperación al interaccionar con los tiempos de aplicación y los tipos de aguas existentes.

El experimento motivo la formación de varios objetivos -- así como de hipótesis.

OBJETIVOS

- 1.- Determinar el tratamiento adecuado a seguir como una metodología en la recuperación de suelos salino-sódicos - mediante el análisis de diferentes parámetros cuantitativos.
- 2.- Determinar el tipo de agua para lavado y el tiempo de aplicación del mejorador químico apropiados a utilizar en la recuperación de suelos salino-sódicos.
- 3.- Evaluar el grado de recuperación de suelos salino-sódicos mediante el establecimiento del cultivo de avena (Avena sativa L.) var. Chihuahua.

HIPOTESIS

- 1.- La aplicación de mejorador químico posterior a un periodo de lavado, permite la recuperación del suelo y este se incrementa a medida que el periodo de lavado es mayor.
- 2.- El empleo de aguas con menor grado de concentración de elementos tóxicos (formadores de sales) en el suelo, aunado a una aplicación de mejorador químico, permiten su pronta recuperación, mientras el uso de aguas con mayor grado de concentración la retardan.



R B
E I
V B
I L
S I
I O
O G
N R A P I C A

CAPITULO



2.1 GENERALIDADES DE LA SALINIDAD.

2.1.1 Origen de las sales.

Los problemas de salinidad en el suelo son debido a la existencia en éstos de cantidades en diversas proporciones y tipos de sales, las cuales se presentan en la zona radicular y áreas superficiales alterando en forma directa o indirectamente el desarrollo de los cultivos, disminuyendo la productividad de la tierra. (5)

Las fuentes principales de las sales, son los minerales primarios de la corteza terrestre, liberados mediante procesos químicos y bioquímicos dando lugar a nuevas combinaciones fácilmente atacadas por la intemperización química; hidrólisis, hidratación, solución, oxidación, carbonatación y reducción. (6)

Los constituyentes formados son liberados gradualmente desde así origen a diversos tipos de suelos, las diversas sales adquieren mayor solubilidad siendo variable ésta según el tipo de sal formada. (7,8)

Los distintos tipos de sales son producto de varias proporciones de cationes: K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y aniones: Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^- y NO_3^- los cuales según Fersman (9) su extracción de rocas y minerales, velocidad de emigración y su capacidad de acumulación en forma de sales; es inversamente proporcional a su coeficiente de energía.

Por lo cual, los cloruros, nitratos y carbonatos de iones alcalino terrosos, son de formación más rápida, así también su precipitación ocurre en forma inversa a los valores observados en el cuadro siguiente. (5)

Cuadro 1 : Coeficientes de energía, radios iónicos, valen --
cias y secuencia de extracción de iones.

Secuencias de extracción	Iones	Coeficiente de energía	Radio iónico Å	Número oxidac.
I	Cl	0.23	1.81	-1
	NO ₃	0.18	-	-1
	SO ₃	0.66	-	-2
	CO ₃	0.78	-	-2
	Na ³	0.45	0.95	+1
II	K	0.36	1.33	+1
	Ca	1.75	0.99	+2
	Mg	2.10	0.65	+2
III	SiO ₃	2.75	-	-2
IV	Fe ³	5.15	0.75	+3
	Al	4.25	0.50	+3

Fuente: Pizorro F. 1978 (10)

Polynov y Koude; clasifican los elementos en cinco categorías en base a su capacidad de emigración.

Cuadro 2 : Categorías de emigración de los elementos.

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

Fuente: (5,9)

Los elementos de la cuarta y quinta categorías de emigración son los constituyentes principales de los compuestos que -- producen la acumulación de sales en zonas áridas y semiáridas, -- de los cuales los más importantes son: NaCl, Na_2SO_4 , MgCl_2 , CaSO_4 , -- Na_2CO_3 , NaHCO_3 , CaCO_3 y MgCO_3 . (6)

Las formas en las cuales se presentan las sales en los suelos son 2 respectivamente;

Asociadas: formando parte de los compuestos.

Disociadas: como iones positivos (cationes) y iones negativos (anion)

nes).

De presentarse en forma de iones en el suelo se pueden manifestar en 3 disposiciones;

- a) Solubles en el agua del suelo (solución).
- b) Adsorbido a presión en las arcillas o en el material orgánico muy fino.
- c) Absorbido (retenido) con cargas eléctricas en las arcillas, limos o material orgánico muy fino.

La forma asociada de las sales se presenta por combinación de los iones, siendo los más comunes los mostrados en el cuadro siguiente.

Cuadro 3: Cationes y Aniones

	Cationes		Aniones
Ca	Calcio	Cl	Cloruros
Mg	Magnesio	SO ₄	Sulfatos
Na	Sodio	CO ₃	Carbonatos
K	Potasio	BO ₃	Boratos
Fe	Hierro	HCO ₃	Bicarbonatos
		NO ₃	Nitratos
		SiO	Silicatos

Fuente: (8)

2.1.2 Fuente de sales.

Como ya se ha observado, las fuentes de sales consisten en varias proporciones de cationes y aniones siendo la principal y en forma directa de las que provienen éstos, los minerales primarios. (11)

Otras fuentes son: depósitos fósiles, el océano y otras como las tolveneras de los suelos salino-sódicos (ex-lago de Texaco). (6)

La salinización de zonas de clima árido y semiárido donde el lavado es de naturaleza local y las sales no pueden ser tr

portadas a grandes distancias, son producto de las condiciones extremas de precipitación y evaporación, por lo que las sales tienden a concentrarse en los suelos y en el agua superficial. (11)

El drenaje restringido es otro de los factores contribuyentes a la salinización, además de llevar consigo una capa freática poco profunda (ex-lago de Texcoco) (12) o una permeabilidad baja del suelo, producto del tipo textural, estructura desfavorable, presencia de capas endurecidas de arcilla, caliche o capas silíceas duras que impiden el libre movimiento descendente del agua hacia capas endurecidas. (11)

Por lo general los suelos salinos se encuentran en áreas que reciben sales de otras localidades siendo el agua el factor principal de acarreo. (12)

En zonas de clima húmedo las causas de salinización son diferentes, las sales solubles son llevadas hacia las capas inferiores del suelo donde son transportadas por las aguas subterráneas hacia los océanos, los cuales son las principales causas de la salinización.

En las zonas costeras la capa de agua salada aporta grandes cantidades de sales de sodio al suelo creando mayores daños, al sodificar estas áreas. (13) La brisa es otro medio de transporte de sales al suelo, al transportarles tierra adentro a lo largo de las costas.

Las aguas subterráneas y superficiales presentan sales disueltas y su concentración depende del contenido salino del suelo y los materiales geológicos con los cuales están en contacto.

El empleo de aguas de riego de cultivos e inundación de tierras donde el grado de salinización y/o sodificación depende de la composición del agua utilizada, el balance entre el agua aportada a la superficie del suelo y la eliminación de esta agua

por drenaje. (14)

En base a estas características los suelos con altas concentraciones de sales presentan diferentes orígenes.

- a) Natural; In situ (zona 1), cuencas cerradas, marino (geológico, costero, fenómenos meteorológicos, intrusión (zona 1)).
- b) Inducida. (8, 14)

2.1.3 Procesos de salinización y sodificación.

Las diversas aportaciones de sales al suelo así como los distintos tipos de sales aportadas dan origen a dos diferentes procesos de acumulación de éstas.

Salinización: Es la acumulación de sales solubles (cloruros, sulfatos de Ca, Mg, Na, K) en horizontes salinos dándose en suelos depresivos, con altos contenidos de arcilla y baja permeabilidad, lixiviación reducida. Las sales pueden ser aportadas en forma diversa a través del agua freática ocasionando cambios continuos en la salinidad del suelo (15) que las contienen originalmente o bien a través del agua de riego. El proceso parte del desbalance de humedad del suelo. Las aguas de sobre riego, filtraciones etc. tienden a elevar el nivel freático, acercándolo a la superficie, donde la evaporación de ésta acumula las sales disueltas en la zona radicular y la superficie. Otra de las causas es la existencia de un drenaje deficiente interno, siendo la causa principal del ensplitamiento, aunado a un manejo deficiente del riego, por lo que el proceso se limita al sobre paso de la capacidad natural de drenaje del suelo. (8)

Sodificación: Es el incremento en la concentración del ión sodio con respecto a los cationes divalentes y trivalentes del suelo (14) ocasionando la sodificación producto de un desequilibrio químico eléctrico con relación a los demás cationes adsorbidos. El sodio se incrementa al aumentar las sales que lo contienen o-

al reunirse los cationes dispersos de la solución del suelo (diluida), la eliminación del agua debido a la evaporación y transpiración aumentando la concentración de la solución del suelo y la concentración del ión sodio. (8)

2.1.4 Acumulación de sodio en los suelos.

Todos los cationes en solución participan en reacciones reversibles con los sitios de intercambio de las arcillas o partículas de materia orgánica. (16) Cuando en los suelos se acumula un exceso de sales solubles, el cation sodio, es el que predomina en la solución del suelo y el cual está sujeto el suelo por la precipitación de compuestos de Ca y Mg. La mayor concentración de la solución del suelo debido a la evaporación del agua y a la absorción por las plantas, ocasiona que la solubilidad de los sulfatos y carbonatos se excede, precipitándose, acumulándose en las partes bajas del perfil, aumentando la proporción del ión sodio. Bajo estas condiciones una parte del calcio y magnesio (principales cationes intercambiables en la solución del suelo) son reemplazados por el sodio. (11)

La solubilidad del carbonato de sodio (Na_2CO_3) es mayor, aproximadamente 100 veces que los de calcio y magnesio, por lo que estos precipitan antes que el sodio, el cual queda en la solución reaccionando con los sitios de intercambio y cuya concentración es alta. La precipitación de Ca y Mg se lleva a cabo al desecarse el suelo, por lo que el sodio se liga a los sitios de intercambio de la arcilla y materia orgánica presentándose la sodificación del suelo. (16)

El ion sodio se presenta bajo 2 formas principales:

- a) Saline neutra (cloruro de sodio o sulfato de sodio) los cuales no presentan propiedades alcalinizantes.
- b) Forma de cambio; ligada al complejo absorbente alcalinizando-

La solución del suelo al enriquecerse con sales alcalinas del tipo carbonatos y bicarbonatos sódicos, elevando el pH.

El sodio de cambio presenta 2 orígenes:

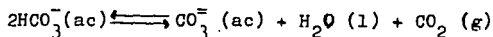
Cloruro sódico y sulfato sódico; cuando una capa de agua salada satura progresivamente el complejo de intercambio con los iones alcalino-terreos; Ca y Mg.

Saturación directa del complejo de intercambio por alteración de rocas que contienen minerales sódicos. (17)

Las sales de sodio, son las más solubles, su incremento en el complejo de cambio es llamado sodificación y su grado de ocurrencia depende de la composición y concentración del agua añadida al perfil del suelo, la cantidad de agua aportada anualmente y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo.

Las combinaciones de cationes de Na, Ca y Mg con aniones Cl y SO_4 producen sales altamente solubles que son transportadas a sitios de acumulación, exceptuando el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

La presencia de carbonatos en cantidades apreciables produce, que los cationes Ca y Mg, disminuyen en la solución debido a su precipitación como sales de carbonatos poco solubles. Los iones bicarbonatos pueden encontrarse presentes en baja concentraciones debido a su facilidad de conversión a iones carbonatos.



La presencia del ion sodio en una posición favorable de competir con el calcio y el magnesio por los sitios de intercambio, al haber una acumulación de sales solubles en el suelo, incrementa el contenido de sodio intercambiable. En la relación Na/Ca + Mg, el exceder del expresado en equivalentes/millón, la acumulación de sodio causa problemas. (4)

El sodio puede ser el ion dominante de la solución del suelo, dependiendo de la cantidad y composición de las sales existentes en la solución o bien tras la precipitación de las sales de

Ca y Mg en forma de sulfatos y carbonatos. La precipitación de éstas se ve favorecida por la absorción selectiva de agua a través de las plantas o la evaporación al incrementar la concentración de la solución de los iones de Ca^{++} y Mg^{++} y otros iones solubles que se ven involucrados en la formación de yeso y cal -- (CaCO_3) . (14)

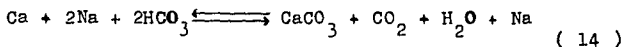
La presencia de metales alcalino-terreos representan una fuente potencial de Ca y Mg solubles en los suelos sódicos que reemplacen al Na intercambiable. (18)

El fenómeno de sodificación se presenta mediante 2 procesos:

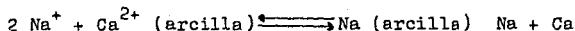
1) Un suelo normal se hace salino o sódico por aportaciones de sales, empleo de aguas superficiales o subterráneas ricas en sales.

2) Aportaciones bajas de sodio; es ocasionada por la evaporación de la solución del suelo que contiene cationes monovalentes (alcalinidad) en mayor proporción a los cationes divalentes. (16)

La formación de CaCO_3 precipita hasta desaparecer la mayor parte del Ca disuelto en la solución, llegando a formarse sales solubles de sodio (NaHCO_3 y Na_2CO_3) acumulándose en la solución. El incremento de las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos disueltos, aumenta la precipitación de CaCO_3 , ocasionando el desplazamiento de Ca intercambiable por sodio, provocándose la sodificación del suelo.



El equilibrio existente entre los cationes intercambiables de los coloides del suelo y los iones de la solución del suelo, al incrementar la proporción de iones de Na^+ mediante el uso de aguas de riego se ve afectado, existiendo una tendencia hacia la alcalinización, del suelo.



Así las reacciones fuertemente alcalinas están dadas por las -- concentraciones de $\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^- de la solución del suelo y no por el exceso de la solución del suelo por sodio (cation alcalino) ya que este puede formar sales neutras NaCl y Na_2SO_4 , sin elevar el pH del suelo.

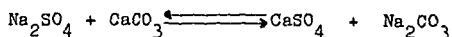
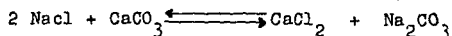
Las concentraciones de Ca y Mg son mantenidas a niveles bajos -- por la presencia de carbonatos disueltos, así la alcalinización -- ocurre al presentarse la salinización producto del agua de riego en la cual la alcalinidad sobrepese la concentración de los iones Ca y Mg . Una vez precipitados totalmente el Ca y Mg se presenta una acumulación de carbonatos de sodio y potasio solubles, saturando el complejo de cambio por lo que el empleo de aguas de riego, causará la acumulación de éstos ocasionando valores de pH cercanos a 10. (14)

2.1.5 Formación de los suelos sódicos.

La presencia de los iones de sodio, carbonatos y bicarbonatos en la solución del suelo además del calcio y magnesio, son -- responsables de la sodificación en el suelo y sus posteriores -- consecuencias.

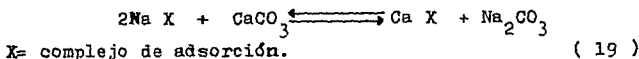
Varios autores han diagnosticado el proceso de sodificación, ligándolo a la formación del carbonato de sodio, aunque en algunos suelos ésta sal no se presenta.

Hilgard menciona que ocurre a partir de reacciones de sales neutras.

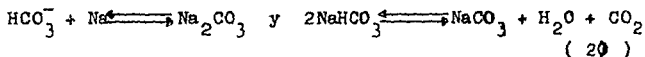


(4)

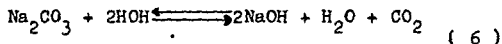
Kelley menciona que el Na_2CO_3 está dado por la reacción - del CaCO_3 con sodio adsorbido:



Eaton menciona que el proceso es producto de los bicarbonatos contenidos en el agua de riego al encontrarse en la solución del suelo; Ca^{2+} , HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$, Na^+ y Mg^{2+} , siendo a partir de los procedimientos de humedecimiento y secado que se forma; CaCO_3 y MgCO_3 - los cuales precipitan quedando HCO_3^- y/o $\text{CO}_3^{=}$ reaccionando con el sodio formando así Na_2CO_3 .



El bicarbonato de sodio es muy soluble por lo que se mueve por capilaridad con la solución del suelo al evaporarse el agua, ocasionando su acumulación en la superficie donde se pierde CO_2 - y se forma Na_2CO_3 , el pH elevado se debe a la hidrólisis de esta sal, formándose NaOH.



2.1.6 Factores que favorecen la salinidad.

El grado de salinización del suelo exhibe fuertes variaciones, temporales y espaciales; el contenido de sales no es una propiedad estable permanente del suelo.

Las variaciones espaciales son producto de factores topográficos hidrológicos y del suelo, distintas profundidades del nivel freático, ascensos capilares, escorrentías y corrientes de agua. (14)

Así tenemos que los factores relacionados a estas características del suelo con excesos de sales son: mal drenaje, aguas freáticas superficiales, aguas de mala calidad, el clima, la topografía, tipo de sales y la relación sales-húmedad del suelo. (15)

La variación llega al grado que pueden encontrarse enormes diferencias en la concentración de sales en sitios separados entre si a menos de 50 cm. (12)

La cantidad, proporción y tipo de sales en el suelo han dado origen a la clasificación de los suelos con problemas de sales. Utilizando para ello parámetros como; conductividad eléctrica (C.E.) expresada en mmhos/cm a 25°C, porcentaje de sodio intercambiable (PSI) así como el pH.

La medida de la salinidad de los suelos se realiza en forma indirecta a través de la determinación de la conductividad eléctrica en un extracto de suelo saturado, debido a la existencia de una correlación directa entre ésta y la presencia de las sales solubles en el suelo.

La conductividad eléctrica como medida de salinidad se deriva de la propiedad que tienen las soluciones de conducir la electricidad partiendo del hecho que una solución conduce mejor la electricidad al aumentar su concentración salina. (5)

El sodio intercambiable presente en los suelos (complejo de cambio) se cuantifica partiendo de lo siguiente:

Los iones se encuentran en la solución o adsorbidos en las arcillas o material orgánico muy fino y tienen la propiedad de intercambiarse con los iones presentes en la solución del suelo (capacidad de intercambio de cationes). (5) La medida de sales adsorbidas o intercambiables se hace cuantificando el valor de las cargas eléctricas en las cuales se encuentran retenidos los cationes siendo la capacidad de intercambio de cationes. Se expresa en miliequivalentes/100 grs. de suelo. El sodio intercambiable existente se mide en forma similar al conjunto de cationes, pero se cuantifica individualmente expresandose en porcentaje con relación de los cationes totales intercambiables siendo el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) multiplicado por la capacidad de intercambio de cationes (CIC), adquiriendo la siguiente ex-

presión:

$$PSI = \frac{SI}{CIC} \times 100 \quad (6)$$

SI= Sodio intercambiable en Meq/100 grs. de suelo.

CIC= Capacidad de intercambio de cationes, que es la cantidad total de cationes que un suelo puede retener expresado en meq/100-grs. de suelo.

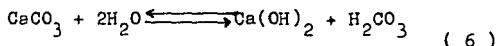
La presencia del sodio intercambiable en los suelos expresado en porcentaje (PSI) dan lugar a la clasificación de suelos.

Cuadro 4 : Clasificación de los suelos por su PSI.

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

Fuente: (5,10)

El pH es un factor importante en la clasificación de los suelos; debido al efecto directo que presentan sobre éste, las sales solubles al aumentar o disminuir su concentración, así como el tipo de sales existentes en la solución. Algunas sales se hidrolizan formando hidroxidos; siendo ésto común en aquellos suelos con exceso de sodio intercambiable y en los cuales el valor de pH llega a ser de 10.5 .



El pH gobernado por el contenido de carbonatos y bicarbonatos -- los cuales se encuentran en equilibrio con la presión parcial -- del CO₂. (6,11)

El pH es un indicador del tipo de sales presentes en el -- suelo. Suelos con valores de pH de 7.5 a 8.5 indican la presen --

cia de bicarbonatos de Ca y Mg, a pH mayor de 8.5 denotan la presencia de sodio intercambiable, valores de 9.5 indican valores mayores en la cantidad de carbonatos. (114) En general la presencia de sales afecta el valor de pH, pero este a su vez afecta la solubilidad de ciertos tipos de sales, como los CaCO_3 , así también la disociación de los grupos activos de la materia orgánica, minerales arcillosos, lo que influye directamente en su valor. (6)

2.1.7 Clasificación de los suelos con problemas de sales.

Tenemos entonces tres características que nos van a permitir la clasificación de los suelos con problemas de sales, dando lugar a la formación de cuatro tipos de suelos, con problemas de sales en grado diferente y características distintas unos de otros:

Normales, salinos, salino-sódicos y sódicos.

Suelos normales: No presentan problemas para las plantas por la concentración de sales que contienen. El valor de C.E. manifiesta un valor menor de 4 mmhos/cm., el PSI es menor del 15%, el pH adquiere valores entre 6.5 a 7.5 .

Las características de estos suelos generalmente son: buena permeabilidad, aireación, estructura bien desarrollada.

Suelos salinos: Contienen altas concentraciones de sales solubles; cloruros, sulfatos y a veces nitratos. Pueden presentar pequeñas cantidades de bicarbonatos, sales relativamente insolubles, como sulfatos de calcio y magnesio. Los principales cationes son; Ca, Mg y Na, el cual rara vez llega ser más de la mitad de los cationes solubles y no es adsorbido en cantidad apreciable sobre la fracción coloidal del suelo. El valor de pH es de 8.5 o menos, PSI menor del 15% y su C.E. adquiere valores mayores de 4 mmhos/cm.

Presentan una estructura favorable debido a los coloides elementales

te floculados por la presencia de sales, permitiendo una permeabilidad igual o mayor que en suelos normales. (11)

Los suelos salinos presentan costras blancas sobre la superficie del suelo (sales sódicas neutras; NaCl o Na_2CO_3) (7) son denominados alcali blanco, presentan una superficie húmeda, aspecto aceitoso, desprovista de vegetación (crecimiento recuítico de las plantas, con considerable variación en el tamaño, follaje de color verde azulado, quemaduras en los bordes de las hojas), características que se presentan en suelos normales causados por otros factores.

Suelos salino-sódico: Presentan altas concentraciones de sales solubles cuyos valores de C.E. son mayores de 4 mmhos/cm, PSI mayor del 15%, el valor de pH rara vez excede de 8.5, si las sales solubles son lixiviadas el pH se incrementa arriba de 8.5, el sodio causa la dispersión de los coloides desarrollándose una estructura desfavorable a la labranza disminuyendo la permeabilidad del suelo dificultando la entrada de agua y penetración de raíces, dando lugar a la formación de suelos sódicos. Debido a la presencia de sales en exceso, su apariencia y propiedades generalmente son similares a los suelos salinos.

Al lixivarse las sales mediante el lavado de estos suelos, el sodio intercambiable se hidroliza, formando hidróxido de sodio, que a su vez forma carbonato de sodio ocasionando la defloculación de las arcillas dándoles una condición desfavorable.

Suelos sódicos: Presentan altas concentraciones de sodio intercambiable por lo que el valor de PSI es mayor del 15%, como consecuencia disminuyen considerablemente las concentraciones de sales adquiriendo los C.E. valores menores de 4 mmhos/cm. y el pH presenta valores variables de 8.5 a 10.

Estos suelos corresponden a los conocidos como alcali negro (dispersión de la materia orgánica en la superficie) por la presencia

de manchas lustrosas. (21)

El sodio presente se hidroliza a partir de los coloides formando-se pequeñas cantidades de carbonato de sodio, la materia orgánica se dispersa fuertemente distribuyéndose sobre la superficie de las partículas dándole un color oscuro (alcali negro, Hilgerd 1906), la dispersión de los coloides ocasiona un suelo difícil de labrar por la defloculación de las partículas del suelo ocasionando una mala permeabilidad del suelo al agua. La solución del suelo presenta pequeñas cantidades de Ca y Mg, grandes cantidades de sodio. A pHs mayores, la presencia de carbonatos y los iones precipitan, por lo que en la solución se encuentran pequeñas cantidades de estos y el predominio del ión sodio.

Los aniones incluyen; sulfatos, cloruros, bicarbonatos, pequeñas cantidades de carbonatos, así como pequeñas cantidades de sales de potasio. (6,11)

El K se puede considerar un elemento aditivo para la formación de éstos suelos, ya que mejora las condiciones físicas haciéndolos más fácilmente recuperables. (11)

Por la dispersión de las partículas saturadas por sodio, éstas son transportadas hacia abajo formando una capa densa superficial de textura gruesa y quebradiza, dando lugar a una baja permeabilidad dificultando su labranza. (6,11)

2.2 EFECTOS OCACIONADOS POR LA SALINIDAD.

2.2.1 Efectos de las sales sobre las propiedades físicas del suelo.

El suelo se compone de tres fases: sólida, líquida y gaseosa, las cuales se encuentran íntimamente relacionadas entre sí.

Fase gaseosa: está comprendida por la presencia de O_2 y CO_2 . La presencia del bioxido de carbono es debido a la intensidad de intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera y parte es disuelto en la humedad edáfica. Su disolución forma ácido carbónico el cual disocia iones H^+ y HCO_3^- acidificando el suelo, evitando la disolución de compuestos minerales (fosfatos, carbonatos de calcio etc.) favoreciendo el paso de estos a formas asimilables.

Fase líquida (solución del suelo): Es la parte móvil y activa del suelo, donde se realizan diversos procesos químicos y del cual las plantas asimilan directamente las sustancias nutritivas. Su composición y concentración cambia constantemente debido a diversos factores; aplicación de fertilizantes, reducción de humedad, mineralización de sustancias orgánicas, asimilación de sustancias nutritivas por las plantas, lavado de compuestos solubles a perfiles inferiores del suelo, el paso de estos compuestos a formas no solubles, así también en su interacción con la fase sólida del suelo, de las reacciones de intercambio entre la solución del suelo y los coloides edáficos.

Fase sólida: es la principal reserva de sustancias nutritivas, se compone de una parte mineral y otra orgánica.

La parte mineral está constituida por partículas de diferentes diámetros, siendo: arenas, limos y arcillas.

Las sustancias orgánicas participan en los procesos de adsorción a mayor cantidad de sustancias orgánicas en el suelo, mayor es su

capacidad de adsorción y amortiguadores, ejerce influencia positiva en la estructura del suelo, capacidad de retención de humedad, permeabilidad y hermeticidad en el régimen térmico. (22) Suministran energía a los microorganismos del suelo, sin los cuales no habría actividad microbiológica ni descomposición de la materia orgánica, actúa como un granulador de las partículas minerales, junto con la baba microbiana forma migajones, creando una estructura desmenuzable y adecuada.

Durante la interacción de la fase sólida y líquida del suelo se lleva a cabo el proceso de intercambio y el cual depende de la composición y concentración de la solución del suelo, volumen y naturaleza de los iones que se intercambian así como las propiedades del suelo. Durante este proceso unos cationes pasan de la solución al estado adsorbido y viceversa. La capacidad de intercambio de los cationes existentes depende además de su concentración, de la valencia y su masa atómica.

El intercambio de cationes de una misma valencia implica, al establecerse un equilibrio, que la misma cantidad de unos en la solución del suelo, sea la misma en el estado adsorbido, por el contrario al ser el intercambio entre elementos de distinta valencia, el cambio depende de la concentración de éstos en la solución. Así al aumentar la concentración de la solución del suelo hay una mayor adsorción de cationes monovalentes, por el contrario al reducirse la concentración, existe una mayor adsorción de cationes divalentes.

Con respecto a la masa atómica y carga de energía, cuanto mayores sean éstas, mayor es su capacidad de adsorción y dificultad para ser desplazados por otros cationes. Por lo que respecta a la masa atómica de los cationes, su capacidad de adsorción en aquellos con mayor masa es mayor, debido a la presencia de una capa de hidratación, la cual es más reducida conforme mayor es su masa

atómica (reduce su grado de hidratación). Cuanto mayor es la dimensión del catión sin capa de hidratación, menor es su dimensión en estado hidratado; los cationes hidratados se adhieren débilmente a la partícula coloidal.

Cuadro 5 : Dimensión de ciertos cationes bajo condiciones de hidratación y no hidratados. (nm)

Cationes	No hidratados	Hidratados
Li	0.078	1.003
Na	0.098	0.79
NH ₄	0.143	0.537
K	0.133	0.532

Fuente: (22)

La presencia de una gran capa de hidratación reduce la energía de adsorción y más fácilmente será desplazado de las partículas coloidales.

Cuadro 6 : Capacidad de adsorción de los cationes por su carga de energía. (forma ascendente)

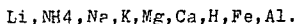
Monovalentes:	Li ⁺ , Na ⁺ , NH ⁺ , K ⁺ , Rb ⁺ .
Divalentes:	Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Co ²⁺ .
Trivalentes:	Al ³⁺ , Fe ³⁺ .

Fuente: (22) .

La capacidad de adsorción en forma ascendente, es para cationes de una misma valencia como en cationes de distinta valencia, así los trivalentes poseen mayor adsorción que los divalentes y éstos mayor que los monovalentes.

La diferente solidez de adherencia y movilidad de los cationes adsorbidos son condicionados por la composición y estructura de las partículas adsorbentes así como por el tamaño de éstas. En partículas de menor tamaño la capacidad de adsorción es mayor, así en los suelos arcillosos y arcillo-limosos su capacidad de adsorción es mayor. Por tanto la capacidad de intercambio depende también del contenido de materia orgánica (contenido de humus)

La reacción que presenta el suelo también influye en la capacidad de adsorción debido a que los coloides edáficos, orgánicos y minerales con carga negativa se manifiestan más fuertemente en condiciones neutras que alcalinas aumentando su capacidad de adsorción de cationes, éstos coagulan los coloides cargados negativamente y su coagulabilidad se incrementa con el aumento en su carga y masa atómica así tenemos que: la coagulabilidad de los cationes en forma ascendente es.



En condiciones de reacción ácida la acción coagulante se incrementa y en condición alcalina se debilita.

El efecto coagulante de los cationes monovalentes es menor que el efecto dispersante de los iones OH^- por esto con reacción alcalina, estos cationes no provocan la coagulación de los coloides del suelo. Por el contrario la presencia de cationes de calcio es mayor su efecto de coagulación que el efecto dispersante de los iones OH^- manifestándose los coloides del suelo en estado coagulado, favoreciendo la formación de agregados estables al agua y el mejoramiento de la estructura del suelo. El Ca adsorbido precipita coloides orgánicos y minerales contribuyendo a la conservación y acumulación de éstos en el suelo incrementando su capacidad de adsorción. La composición de los cationes adsorbidos influye en el estado del complejo adsorbente del suelo, en las propiedades físicas-químicas-mecánicas. (22)

Algunos tipos de suelos son relativamente uniformes lo cual no ocurre en los suelos salino-sódicos, debido a la enorme variabilidad en la concentración y distribución de las sales y del sodio intercambiable. La variación llega a grado tal que se encuentran enormes diferencias en la concentración de sales en sitios separados entre sí a distancias menores de 50 cm. (15)

Los suelos con problemas de altas concentraciones de sales

y sobre todo de sodio (cationes monovalentes); conducen a una fuerte dispersión de los coloides del suelo, reduciendo la estabilidad al agua de los agregados, empeorando las propiedades físicas, el régimen acuoso y aéreo del suelo, el cual en estado húmedo se pone viscoso y adhesivo, al secarse forman una corteza densa dificultando el laboreo de estos suelos. Los coloides orgánicos y minerales son lavados del suelo el cual empobrece de sustancias nutritivas.

Dentro de las propiedades físicas-químicas de los suelos son importantes; la capacidad de retención de humedad, la aireación, la temperatura, propiedades mecánicas, la capacidad de intercambio catiónico, pH, así mismo son importantes la cantidad y tipo de partículas minerales. Todas estas características son modificadas drásticamente dependiendo de la cantidad y tipo de sales presentes en la solución del suelo. (6)

2.2.1.1 Compactación del suelo.

La concentración salina en el suelo permite que las arcillas se mantengan floculadas aun cuando existan altos contenidos de sodio intercambiable (suelos sódicos), sin embargo al lavarse por el agua, las arcillas sufren procesos de expansión o peptización ocasionando a los suelos fuertes compactaciones por su de-sestabilidad trayendo como consecuencia un colapso en el sistema poroso, o bien debido al llenado de éstos por las partículas dispersas del suelo. (14)

Debido a la importancia que tiene el agua en el manejo de los suelos, la C.E. que presenta el suelo es importante. Este determina el movimiento del agua así como su velocidad, es una de las propiedades físicas del suelo que es modificada por el contenido y tipo de sales, ésta determina la efectividad de los procesos de recuperación de suelos ensalitrados. La conductividad hi-

drúlica depende de la combinación de las características del suelo y el agua.

Suelo: porosidad y distribución de poros por tamaño.

Agua: viscosidad y densidad.

En la mayoría de los suelos la conductividad hidráulica no permanece constante debido a diversos procesos químicos, físicos y biológicos los cuales afectan la geometría de los poros y por tanto la permeabilidad del suelo. Las arcillas minerales son vulnerables al ataque químico de las moléculas de agua, ocasionando su expansión lo que ocasiona que las fuerzas de atracción entre las arcillas disminuya considerablemente, comportándose en forma independiente unas de otras, originando la defloculación del suelo, destruyéndose la estructura, haciendo el suelo impermeable al agua y al aire. Las partículas minerales al emigrar al fondo del perfil causa el taponamiento de poros afectando la permeabilidad.

(6)

En suelos de textura franco limosa o mayor contenido de arcilla se producen bajos valores de conductividad hidráulica, como consecuencia un suelo compactado no permitirá el mejoramiento por percolación con agua de alto contenido de Ca disuelto y más aun el remplazamiento de Na por Ca, así la permeabilidad no mostrará mejoría alguna. (14)

La C.H. es una propiedad que depende más del tamaño de los poros del suelo que de la cantidad total, por lo que los suelos arenosos presenten mayor valor de C.H. (10^{-2} y 10^{-3}) que los suelos arcillosos (10^{-4} y 10^{-7}).

Al penetrar el agua en el suelo la C.H. cambia producto de la interacción de las partículas del suelo y las sales disueltas en agua, cambiando la porosidad debido a la presencia de arcillas expandibles en los macroporos los cuales se hinchan reduciendo la macroporosidad. (6)

PSI y valores altos de C.E. el material que se disgrega se infiltra a profundidades mayores que partículas más gruesas formando se costras estructurales, y en la base de éstas se pueden formar capas densas de arcilla impermeable impidiéndose la infiltración y la difusión de gases. (14)

En los suelos sódicos la dispersión de los coloides orgánicos y minerales producen una migración de estos al interior del perfil, los coloides orgánicos se mueven hacia arriba con el agua acumulándose en la superficie dando una coloración negra aceitosa ocasionando una mayor absorción de calor modificando la temperatura. (6)

Los suelos arenosos son menos resistentes a cambios bruscos en su reacción, su pH fluctúa fácilmente, su capacidad de amortiguamiento es pequeña, al contrario de suelos arcillosos y ricos en materia orgánica, los cuales son más resistentes a los cambios bruscos en su pH. (23)

2.2.2 Efecto de las sales sobre los microorganismos del suelo.

La presencia de microorganismos en el suelo radica en las funciones que desempeñan; descomposición de la materia orgánica, intemperismo del suelo, fijación de nitrógeno y formación de la estructura del suelo.

Estos se ven afectados por diversas condiciones del suelo; pH, temperatura, existencia de oxígeno, las cuales son promovidas por la salinidad del suelo, ocasionando la alteración en las proporciones y tipos de microorganismos en el suelo.

Tirado y O. Echegaray realizando trabajos en perfiles del suelo del ex-lago de Texcoco y Chapingo a diferentes grados de salinidad. Encontraron que las cantidades de microorganismos varían en función directa del contenido de sales. Así a medida que aumenta la salinidad del suelo disminuye la cantidad de microor-

La dispersión de las partículas del suelo por el efecto de las sales disminuyen la permeabilidad, la relación de permeabilidad aire:agua representan el grado de deterioro de la estructura del suelo al aplicar agua, una relación elevada indica un alto -- grado de deterioro. (11)

Los suelos arenosos evitan la acumulación de sal más fácilmente mediante el lavado y admiten mayores porcentajes de sodio sin adquirir características físicas inadecuadas. (4)

El fenómeno es más notable cuando existe en los sitios de intercambio de las arcillas, iones de sodio. Cuando los cationes predominantes son Ca y Mg las partículas de arcilla no se expanden ni se repelen entre si manteniendo condiciones favorables de permeabilidad. Suelos de textura migajon-arcillosa con la presencia del ión sodio sufre cambios notables de permeabilidad. (6)

La expansión de los agregados al ocasionar la clausura de los poros inter-agregados (responsables del transporte del agua) reducen la C.H. creando problemas de drenaje. (14)

Las reacciones producidas al suelo dependen del tipo de -- suelo; y de las concentraciones de salinidad en ellos. En los suelos arcillosos el incremento del PSI y el descenso de sales aumenta la expansión de los suelos, por lo que al secarse se forman grietas en la superficie así como la peptización de las arcillas está ocasiona su iluviación al subsuelo y la formación de una capa arcillosa (suelo solotnez) creandose problemas de drenaje al -- disminuir la infiltración de la superficie del suelo. En suelos francos la reacción es diferente, el poco contenido de arcilla actúa como un cementante de los agregados del suelo. Las arcillas se debilitan en sus puntos de unión, al expandirse en condiciones de sódicidad debilitan su estabilidad y resistencia de la estructura, por lo que cualquier fuerza externa o interna la debilita -- produciendose aflojamiento en el subsuelo. A valores bajos de --

ganismos.

Cuadro 7 : Cantidad de microorganismos en suelos con grados de afectación salina a una profundidad de 25 cm.

Perfil	CE x 10 ³ mmhos/cm	M.O. %	pH	Bacterias gr/suelo	Actinomicetos gr/suelo	Hongos gr/sue
Lago 1	80.0	0.36	10.6	16 x 10 ³	1 x 10 ³	6 x 10 ³
Lago 2	3.2	0.98	9.8	70 x 10 ⁶	280 x 10 ³	18 x 10
Chapingo	0.65	1.69	7.8	152 x 10 ⁶	1400 x 10 ³	380 x 1

Fuente: (24)

En los suelos altamente salinos las bacterias nitrificantes desaparecen y solo unas cuantas especies de microorganismos amonificantes se adaptan (seudomonas y actinomicetos).

En condiciones de salinidad, la amonificación, nitrificación, fijación de nitrógeno y celulosis se ven alteradas, los procesos biológicos de amonificación y fijación libre de nitrógeno se aceleran o retardan dependiendo del tipo y cantidad de sales en el suelo.

El tipo de sales existentes presentan influencia distinta sobre los microorganismos. Así los cloruros presentan una mayor influencia negativa sobre la microflora que los sulfatos.

Estos a concentraciones menores de 0.3% estimulan el desarrollo de actinomicetos, hongos, microorganismos fijadores de nitrógeno y bacterias formadores de celulosa.

El sulfato de sodio es sumamente tóxico para el proceso de amonificación mientras que el carbonato de sodio lo estimula hasta con concentraciones de 0.4%.

El cloruro de sodio y el sulfato de sodio en concentraciones de 0.1 y 0.25% son tóxicos a microorganismos amonificantes. (25)

El cloruro de sodio, presenta mayor efecto tóxico en el crecimiento de bacterias nitrificantes que el sulfato de sodio.

La nitrificación se inhibe por la presencia de la sal más tóxica - Na₂CO₃, siendo los porcentajes tóxicos de 0.2% para Na₂CO₃, 0.5% para

ra Na_2SO_4 y 0.4% para NaCl .

Las sales solubles del suelo que contienen CO_3 y HCO_3 , incrementan la presión osmótica, producen un pH elevado inhibiendo el desarrollo de los microorganismos.

Rupela(1978) indica que la pobreza de bacterias oxidantes - del azufre es debido a valores elevados de pH en suelos con alto PSI concordando con Starkey 1966. (26) el cual indica que Thiobacillus tioxidans prefiere condiciones de acidez, no así para Thiobacillus novellus. Rupela(1973) reporta que éstas bacterias pueden desarrollarse en suelos con pH mayor de 10 y elevadas concentraciones de sodio, siendo una buena perspectiva para la utilización del azufre en suelos altamente sódicos. (6)

Guerrero(1961) reporta que los suelos del ex-lago presentan un pH mayor al tolerado por especies estudiadas, Thiobacillus thiopeus, los cuales se desarrollan en medio ligeramente alcalinos, - suspendiendo su metabolismo por falta de adaptación a los suelos altamente alcalinos. (27)

2.2.3 Efectos de las sales sobre el desarrollo de las plantas.

La concentración salina en la zona radicular de los cultivos, afecta su productividad, el crear condiciones desfavorables para su desarrollo. Las plantas por su reacción a las condiciones salinas - se clasifican en 2 grupos:

Halófitas: plantas adaptadas a habitats salinos, mediante diversas formas de adaptación.

- a) Absorción de pequeñas cantidades de sales.
- b) Absorción de mayor cantidad de sales, las que acumulan en tejidos mediante regulación osmótica interna.

Presentan características fisiológicas que les permiten vivir en ambientes salinos:

Capacidad para desarrollar altas presiones osmóticas en el

jugo celular, contrarrestando la presión osmótica de la solución - del suelo.

Capacidad para acumular grandes cantidades de sales en el - jugo de sus tejidos regulando su acumulación con protoplasmas resistentes a la acumulación de sodio.

El desarrollo de mecanismos para eliminar sales directamente.

Glicofitas: plantas no desarrolladas en habitats salinos y su desarrollo se limita a su habilidad de adaptación a la salinidad.

Su importancia económica se debe a que ha esté grupo pertenecen la mayoría de las plantas cultivadas, de ahí estudios de mejoramiento genético en relación a su tolerancia a la salinidad. Las plantas presentan diferencias en cuanto a su adaptación a la salinidad durante las diferentes etapas de desarrollo. Durante la germinación las semillas al imbibirse puede ser inhibida evitando se la germinación (etapa heterotrófica), una vez alimentada del endospermo la planta requiere de nutrientes conjuntamente con sales ocasionándole la muerte (etapa autotrófica).

Niveles moderados de sales retardan la germinación sin afectar su %, a concentraciones elevadas se ve afectada notablemente - la emergencia, esto depende del tipo de cultivo a establecer. (6)

Aceves et al, obtuvo que ha potenciales osmóticos diferentes el porcentaje de germinación es diferente en trigo, variedad INIA 66.

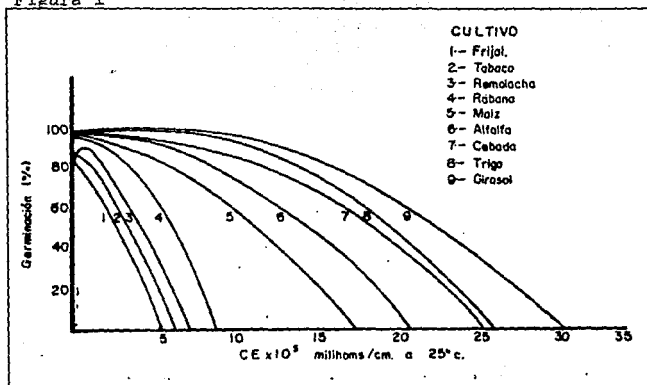
Cuadro 8.: Porcentaje de germinación de trigo var. INIA 66 a diferentes potenciales osmóticos.

Potencial bars	Germinación %
0	100
-4	100
-6	91.7
-10	51.7
-16	1.7

Fuente: (28)

Así también el porcentaje de germinación se ve reducido en varios cultivos.

Figura 1



Porcentaje de germinación de diferentes cultivos en función de la concentración de sales medidas como C.E.

Fuente: (6)

Las sales afectan tanto la parte aérea como la subterránea de las plantas, siendo el efecto más drástico sobre la parte aérea que sobre la subterránea. En cultivos como; trigo, algodón y chile dulce se ven reducidas la parte radical. (29)

2.2.3.1 Efecto sobre la asimilación de nutrientes.

La salinidad causa deficiencias nutricionales, así al aumentar los niveles de salinidad, los rendimientos son menores. El contenido de sales afecta la absorción de micronutrientes como son: Fe, Mn, Zn en cultivos como tomate y calabaza. (6)

La inhibición del crecimiento es manifestado mediante la reducción en la talla y producción de materia seca.

Se han establecido diversas teorías para explicar estos daños:

1) Disponibilidad de agua.

2) Inhibición osmótica o ajuste osmótico.

3) Toxicidad específica.

1) Las sales van a disminuir la energía libre del agua reduciendo su disponibilidad para las plantas y afectando su crecimiento. Las sales aumentan la presión osmótica de la solución -- del suelo haciendo que la disponibilidad de agua a las plantas disminuya. Sufriendo una deficiencia de agua la cual afecta su crecimiento.

Esta teoría no se aplica, ya que si las sales tuvieran influencia en la disponibilidad de agua las plantas se marchitarían y morirían por la deficiencia de ésta. Aunado a esto las plantas presentan hojas turgentes indicando que no existe tal deficiencia y aun así no desarrollan un tamaño normal.

2) Berstein(1961) estableció que las plantas en condiciones salinas realizan ajustes osmóticos para mantener un gradiente favorable en sus células permitiéndoles extraer agua del suelo. Durante el ajuste osmótico la planta consume energía, la cual en condiciones normales utilizaría en su crecimiento. (30)

Se ha comprobado que las plantas dependiendo de las especies realizan ajuste osmótico y aun así las plantas en condiciones salinas no manifiestan un mayor tamaño, por lo que no explica porque las plantas no crecen bajo estas condiciones, el consumo de energía es despreciable.

3) Considera que los efectos tóxicos de las sales sobre las plantas se realiza por cambios sobre la actividad metabólica que son producto de la acumulación de compuestos tóxicos formados debido a cambios producidos en la actividad enzimática, que ocasiona la acumulación de sustancias.

La toxicidad de las sales sobre las plantas o de algunas especies específicas se identifican en forma indirecta, al cambiar las cantidades de ciertas sustancias presentes en la célula o --

cambios ocurridos en ciertos procesos, no revelandose el mecanismo de toxicidad y el porque las plantas no crecen bajo estas condiciones al no haber una relación directa.

En conclusión estas teorías no explican el porque las plantas no crecen en condiciones de salinidad.

Considerando, teorías y sintomatología en cultivos bajo condiciones salinas, evidencias experimentales y algunas hipótesis, se ha propuesto otro enfoque.

Las plantas no crecen debido a que la división celular se ve afectada y la pared celular pierde plasticidad prematuramente, al aparecer en ella sustancias que le dan rigidez impidiendo el crecimiento. Teniendose plantas con menos células de tamaño reducido, por lo que las plantas presentan menos área foliar, como consecuencia hay menos transpiración, área fotosintética, una talla reducida y como resultado menor rendimiento de materia seca por planta.

Experimentos en Chapingo México, en plantas de trigo bajo condiciones de salinidad y no salinas, demostraron el efecto drástico de las sales sobre la división celular y por tanto en el crecimiento de las hojas, encontrandose que ha medida que se incrementaba la concentración de sales disminuían estos parámetros.

Cuadro 9 : Area foliar, número de estomas/cm² y por hoja en trigo sometidas a diferentes niveles de potencial osmótico en la solución del suelo.

Parámetros	Potencial osmótico			
	Solución Hangland	-2	-4	-6
Número promedio de estomas/cm ² .	6,338	6,875	8,924	9,497
Area foliar promedio cm ²	17.35	10.03	6.96	3.47
Número promedio de estomas por hoja.	109.972	68.927	57.749	32.986

Fuente: (31)

También se encontró que a medida que se incrementó la concentración salina, aumentaba el contenido de lignina en las hojas dándoles rigidez a las paredes celulares. El grosor de las células de las plantas sometidas a salinidad siempre fue mayor, por lo que el grosor fue provocado por el incremento de sales.

Cuadro 10 : Grosor promedio de la pared celular, en micras, medida en diferentes hojas y en dos edades fisiológicas en plantas de trigo sometidas a diferentes potenciales osmóticos.

Primera edad fisiológica	Potencial osmótico			
	Solución Hangland	-2	-4	-6
Cuarta hoja expuesta	1.13	1.76	1.53	1.42
Quinta hoja envainada	1.05	1.41	1.09	1.13
Sexta hoja envainada	0.90	0.97	0.87	0.85
Segunda edad fisiológica				
Cuarta hoja expuesta	1.77	1.80	1.97	1.78
Quinta hoja envainada	1.54	1.42	1.60	1.53
Sexta hoja envainada	1.15	1.10	1.25	1.29

Fuente: (31)

Comparando los resultados del engrosamiento de las hojas - en las dos diferentes edades, se observan resultados similares en la primera edad fisiológica, indicando un engrosamiento prematuro de la pared celular y el testigo en la segunda edad fisiológica, al someterse las plantas a salinidad, siendo su efecto irreversible. El efecto prematuro en las primeras etapas de desarrollo de los tejidos se presentó a lo largo de su ciclo vegetativo ocasionando un menor rendimiento en materia seca.

Así las plantas en condiciones salinas no crecen al verse afectadas en su división celular, produciendo el engrosamiento -- prematuro de las paredes celulares impidiéndoles el crecimiento - en las células al afectarse los mecanismos mediante los cuales -

crecen; división celular y el crecimiento celular. El daño irreversible depende del tiempo de exposición a las condiciones salinas y su tolerancia. (32)

2.2.3.2 Efecto de la salinidad sobre los cultivos.

La salinidad afecta en forma variada a las plantas dependiendo de la naturaleza del cultivo, la parte aprovechable y la tolerancia en las diferentes etapas del crecimiento y otros factores interrelacionados con el rendimiento.

En trigo, las sales inhiben la producción de plantulas, reducen el amacollamiento y su rendimiento (similar en otras gramíneas).

La cebada ve afectado su tamaño más no su rendimiento al no ser modificado notablemente.

En arroz, la producción de grano es afectado al disminuir tamaño y número de frutos.

En cultivos; zanahoria, melón y caña, se ven incrementados sus niveles de azúcar, lograndose al aplicar riegos menos frecuentes durante su etapa de maduración. (6)

La toxicidad, producto de alteraciones metabólicas por acción indirecta de iones ejerce influencia sobre los cultivos.

En plantas de tabaco y maíz se acumulan aminoácidos libres; leucina, alanina y tiroxina, perjudicando el desarrollo de los tallos. (33)

La sensibilidad de las plantas varía a menudo de una etapa de crecimiento a otra (Mass y Hofman 1976) así en cebada, trigo, maíz, arroz son más sensibles durante la emergencia y formación del grano que durante la germinación y etapas posteriores al crecimiento y desarrollo del grano. (34)

La interacción entre la fertilidad y la salinidad afectan la tolerancia de muchos cultivos, observandose que presentan mayor tolerancia los cultivos desarrollados en condiciones de baja

fertilidad, afectando los efectos de la salinidad. (18)

El cultivo de pepino presenta efectos negativos en plantas de un mes, durante el periodo de floración observándose un secamiento y enegresimiento entre las nervaduras de las hojas.

La penetración de macro y microelementos a la planta de -- los cuales carecía mejora su estado fisiológico, lo cual conduce a la necesidad de otros elementos nutritivos (sinergismo) y su exceso obstaculiza la entrada de otros (antagonismo). Así el desarrollo del cultivo depende del equilibrio fisiológico de la solución nutritiva. La existencia de una solución monosalina no satisface la demanda nutricional de la planta, al ser desequilibrada fisiológicamente. (22)

La disponibilidad o accesibilidad de elementos nutricionales a las plantas en mayor o menor grado proporciona a éstas -- ciertos aspectos fenotípicos.

2.2.3.3 Sintomatología de las plantas en condiciones de salinidad.

Las plantas bajo condiciones de salinidad presentan ciertos aspectos, los cuales no son indicadores de la salinidad en el suelo, debido a que éstos síntomas, pueden ser producto de la interacción de otros factores.

Presentan achaparramiento, variable en tamaño, follaje de color verde-azul intenso, en campo se presentan manchones sin plantas. Estos síntomas pueden ser ocasionados por factores como; mala nivelación del terreno, dando lugar a un riego inadecuado, deficiencias nutricionales, como consecuencia un desarrollo retardado y color anormal. La presencia de manchones puede ser causado por la sensibilidad durante la germinación a la salinidad.

Cultivos como: remolacha, col, mostaza, treboles y pastos presentan la apariencia verde-azulosa producto de una capa cerosa --

de espesor común sobre la superficie de la hoja, este color es debido al incremento de clorofila.

La presencia de clorosis es producto de la presencia de bicarbonatos en las aguas de riego (Harley Linder 1945) siendo principalmente de Ca. Algunas especies desarrollan áreas necróticas, así como quemaduras en las puntas y márgenes de las hojas: frutales de hueso, aguacate, toronja y algodón.

El enrollamiento de las hojas es producto de la deficiencia de humedad en las plantas siendo un indicativo de salinidad, al existir una humedad adecuada en el suelo, aun así enfermedades de la raíz puede ocasionar síntomas similares. (11)

El contenido de sales a diferentes concentraciones generan diferentes reacciones en los cultivos, así la mayor parte de frutales son más sensibles que los granos básicos, los cultivos forrajeros y las hortalizas. (35)

Concentración de sales:

Mayor de 5 grs/lt ----- inhiben el crecimiento
 10 -- 12 grs/lt ----- mayor inhibición.
 20 -- 25 grs/lt ----- muerte de cultivos.

La falta de disposición de agua, reduce la transpiración, retrazándose la fotosíntesis, el cierre de estomas, por tanto el descenso en la nutrición mineral (elementos nutritivos no disociados e inaccesibles) se reduce la asimilación de Ca, S, Fe, Mn, asimilando se grandes cantidades de Na, Cl, Mg, destruyéndose el almidón de las hojas debilitando el proceso fotosintético, reduciéndose el rendimiento y calidad de las cosechas. (36)

2.2.3.4 Efectos específicos de los iones existentes en suelos salinos.

El efecto ocasionado por estos iones puede ser en forma directa o indirectamente sobre la planta y no es generalizado por-

por la diversidad de especies en función de su tolerancia.

Na^+ : causa quemaduras en hojas (algodón) y lesiones apicales (almendro) (Lilleland et al 1945). Causa efectos secundarios por su acción sobre el suelo.

A concentraciones de 40 - 50% causa alteraciones nutricionales (Thorne 1945) al remover del complejo al Ca de los tejidos radiculares de la planta, la cual puede morir por su deficiencia (Ratner 1944). Originando una menor acumulación de Ca, Mg, K en las plantas. (37)

Ca^{2+} : Su disminución en el suelo genera clorosis al cultivarlo.

Mg^{2+} : Causa al igual que el K^+ efectos tóxicos al incrementarse los iones de Ca.

Cloruros: Disminuye el desarrollo vegetal originando quemaduras en cultivos; nogal, cítricos, aguacate y vid. Junto con el K^+ permiten un ajuste osmótico rápido de la planta al ser absorbido rápidamente acumulándose grandes cantidades en la planta.

Sulfatos: Limita la disponibilidad del Ca, asociándose con Na y K, causando alteraciones con el balance catiónico dentro de la planta.

Bicarbonatos: En frijol reduce la presencia de Ca aumentando la presencia de K. En la remolacha produce un descenso de Mg e incrementa el contenido de Na. Los síntomas son; clorosis por deficiencia de Ca.

Boro: Causa un desarrollo anormal de la planta; quemaduras, clorosis, necrosis, quemaduras marginales o apicales en hojas maduras, acompañado de clorosis del tejido intervenal en cítricos, aguacate, níspero. El algodón, papa, vid y frijol presentan quemadura marginal, enrollamientos, producto de la restricción en el crecimiento. (11)

Cantidades de 0.7 ppm son seguras a las plantas sensibles.

Cantidades de 0.7 - 1.5 ppm son marginales.

Cantidades mayores de 1.5 ppm son inseguras. (4)

2.3 MANEJO DE LOS SUELOS SALINOS Y SODICOS.

2.3.1 Empleo del agua en la recuperación de suelos.

En relación con el amplio desarrollo del riego en muchos países del mundo, ya en estos momentos se observa un déficit de recursos hídricos y un empeoramiento de la calidad del agua de riego, por lo que adquiere gran importancia el problema de la utilización de las aguas fuertemente mineralizadas en el manejo de los suelos (36) y resulta de gran importancia el tipo y calidad del agua utilizada en estos suelos para su manejo. El agua de lluvia como la de riego afectan el comportamiento de los iones en el suelo aumentando o disminuyendo las que se encuentran presentes, cambiando la distribución en el perfil del suelo así como su concentración. (22)

El agua utilizada para riego, se debe evaluar en base a la potencialidad de ésta para predecir efectos dañinos en las plantas, animales y personas que consumen dichos cultivos. La calidad de ésta se subdivide en 2 aspectos; calidad química y calidad agronómica. La calidad química; está dada por la calidad de sales y proporción de diferentes iones presentes en la solución. La calidad agronómica es determinada por la calidad química, el cultivo por regar, el tipo de suelo, condiciones climáticas, métodos de riego, condiciones de drenaje del suelo, prácticas de manejo del agua y de los cultivos.

En conjunto ambos aspectos determinan si el empleo del agua va a causar problemas al suelo, en el rendimiento del cultivo, animales o personas. (6) La calidad del agua desde un punto de vista agrícola es utilizada para indicar la conveniencia o limitación de su empleo para fines de riego.

Los diferentes tipos de agua por su origen presentan diferentes magnitudes de C.E.

Cuadro 11 ; Clasificación de aguas por su concentración de sales.

	Indice(mmhos/cm)	Clase
Agua de baja salinidad	100-250	C ₁
Agua de salinidad medie	250-750	C ₂
Agua altamente salina	750-2250	C ₃
Agua muy altamente salina	mayor a 2250	C ₄

Fuente: (5,10)

Cuadro 12 : Clasificación de la calidad de agua según su origen.

Tipo de agua	C.E. a 25°C (mmhos/cm)
Agua de lluvia	0.15
Agua media de los ríos	0.2 - 0.4
Agua de riego de salinidad media	0.7 - 2.25

Fuente: (9)

Se ha demostrado que la utilización de aguas altamente mineralizadas en el riego del suelo que se forma en condiciones húmedas naturales insuficiente o inestable (desiertos, sabanas, praderas) aumenta el peligro de salinidad y desarrollo de los procesos de formación de solonchaks en los suelos. La intensidad de estos procesos dependen de la mineralización y el quimismo del agua utilizada, el regimen de riego, intercambio de humedad entre las -- aguas del suelo y las aguas freáticas, la CIC y la composición mecánica del suelo. La utilización de aguas con 0.5 - 1 g/lit. provoca la formación de solonchaks en el suelo, requiriendose de sustancias químicas para la mejora del terreno. (36)

En los suelos las sales solubles son transportadas por el agua, siendo básico en el control de la salinidad, siendo controlable si la calidad del agua es satisfactoria y si puede controlarse el flujo del agua a través del suelo. Las sales solubles su-

mentan o disminuyen en la zona radicular dependiendo de su movimiento hacia abajo y el cual sera mayor o menor que su disposición a consecuencia de la irrigación y otras causas. El balance de sales se ve afectada por la cantidad y calidad del agua de riego, siendo importante la efectividad del lavado y drenaje del suelo.

En general, las aguas con alto contenido de sales no deben emplearse para el riego de suelos con bajo poder de infiltración o drenaje deficiente. A mayor contenido de sales en el suelo, mayor la cantidad de agua que debe pasar a través del suelo para mantener el nivel de sales solubles en un estado critico o por debajo de el.

La calidad del agua de riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que con tenga:

- 1) Concentración de sales solubles.
- 2) Concentración relativa de sodio con respecto a otros cationes.
- 3) Concentración de boro u otros elementos tóxicos.
- 4) Concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio y magnesio.

Cuadro 13 : Criterios e índices para la clasificación de aguas de riego por su calidad química.

Criterios	Indices	Abreviat.
Contenido de sales solubles	Conductividad electrica	C.E.
	Salinidad efectiva	S.E.
	Salinidad potencial	S.P.
Efecto probable del sodio sobre las características físicas.	Relación adsorción de Na	RAS
	Carbonato de Na residual	CSR
	Porcentaje de Na posible	PSP
Contenido de elementos tóxicos a las plantas	Contenido de boro	B
	Contenido de cloruros	Cl

Fuente: (13)

La concentración total de sales solubles en el agua de riego para su diagnóstico y clasificación se expresa en términos de C.E. . Las aguas utilizadas por mucho tiempo, usualmente presentan una C.E. de 2250 mmhos/cm, aguas con mayor conductancia afectan el rendimiento de los cultivos. En suelos salinos con una C.E. mayor de 4 mmhos/cm, se tiene en el extracto de saturación una C.E. de 2 a 10 veces mayor que la que corresponde al agua con la que se ha regado. El aumento es producto de la extracción de humedad por las raíces y la evapotranspiración. Así el empleo de aguas entre altas y moderadamente salinas pueden crear condiciones de salinidad, a pesar de la existencia de un buen drenaje.

El uso de aguas con C.E. menor de 0.75 mmhos/cm son satisfactorias para el riego a pesar del efecto en el rendimiento de los cultivos sensibles al variar la C.E. entre 0.25 y 0.75 mmhos/cm. Aguas con C.E. entre 0.75 y 2.25 mmhos/cm son utilizadas en forma común, obteniéndose un crecimiento adecuado de las plantas siempre y cuando se lleve un manejo del suelo y drenaje eficiente. El empleo de aguas con mayor C.E. rara vez dan rendimientos adecuados del cultivo y solamente en cultivos tolerantes a las sales y aplicando agua en abundancia además de la existencia de un buen drenaje. (11)

Aunado a los problemas de salinidad de los suelos, la existencia del ión sodio en las aguas de riego produce un problema mayor; la sodificación. Los componentes inorgánicos solubles de las aguas reaccionan con los suelos en forma iónica (Ca, Mg, Na, K, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, fluoruros). Así el peligro de sodificación queda determinado por la concentración absoluta y relativa de los cationes, el incremento del cation sodio aumenta este riesgo, por el contrario el predominio de Ca y Mg lo disminuyen.

La relación de cationes del agua de riego afectan las propiedades físicas y químicas del suelo, los suelos sódicos se van

a formar por la acumulación de sodio intercambiable. La propor --
 ción de sodio con respecto a otros cationes en el agua de riego --
 se expresa a partir de la relación de adsorción de sodio (RAS) en la
 solución del suelo y éste puede usarse como un índice de sodici --
 dad que presente el agua de riego.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}} \text{ meq/lt}^2 \quad (14)$$

donde, Na, Ca, Mg; son las concentraciones en miliequivalentes/lt de
 estos iones. La relación caracteriza la actividad relativa de la
 adsorción de los iones de sodio en el proceso de las reacciones --
 de intercambio iónico. (36)

Su relación con el PSI está dada por:

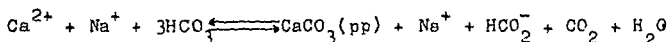
$$\text{PSI} = \frac{100(-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})} \quad (6)$$

Sin embargo ésta no se presenta con frecuencia en campo, de
 bido a que la concentración de la solución del suelo es casi siem
 pre mayor a la del agua utilizada para riego, producto de la ex
 tracción de humedad del suelo por las raíces y la evaporación, --
 así como por la mínima cantidad de sal absorbida por las plantas

El empleo de aguas saladas, puede evitar la acumulación de
 sal en suelos permeables (arenosos) además de administrar mayores
 porcentajes de sodio sin adquirir características físicas inadecu
 das por lo que el uso de aguas de baja calidad se pueden em
 plear mejor en estos suelos que en aquellos que contienen arcilla. (4)

El empleo de aguas con cantidades de 0.1 a 5 ton/ha de sal
 con leminas de 30 cm y espesores de 1.5 m. aportan grandes cantida
 des de sales solubles. Además la presencia de la capa freática
 a profundidades de 1.5 a 1.8 m. de la superficie del suelo, perm
 ite que el agua se mueva hacia arriba llegando a la zona radica --

ler del cultivo y superficie del suelo, contribuyendo a la acumulación de sales. Se sabe que la presencia de carbonatos y bicarbonatos tienen un efecto indirecto sobre la calidad del agua, al precipitar el Ca y Mg aumentando el porcentaje de sodio. (20)



La reacción se ve favorecida por el secado del suelo que contiene soluciones con elevados contenidos de iones de bicarbonatos y Ca. (4)

El peligro que producen las sales contenidas en las aguas de riego incrementan el potencial osmótico de la solución del suelo denominada salinidad efectiva; la cual considere la precipitación de carbonatos de Ca y Mg y parte de los sulfatos de Ca. Por su solubilidad y participación en el incremento de la presión osmótica, las sales se clasifican:

Cuadro 14 : Clasificación de sales por su solubilidad e incremento en la presión osmótica.

Na Cl	Na SO ₄	<u>Na₂ CO₃</u>
Mg Cl ₂	<u>Mg SO₄</u>	Mg CO ₃
<u>Ca Cl₂</u>	Ca SO ₄	Ca CO ₃

Fuente: (35)

Donde la salinidad efectiva es causada por las sales presentes arriba de la línea, no siendo dañinas las de abajo por su baja solubilidad y tendencia a precipitarse. Los carbonatos incluyen a los bicarbonatos ya que éstos precipitan como carbonatos.

El empleo de aguas negras para fines agrícolas pueden llegar a ocasionar daños a los seres vivos por la degradación de su calidad química, biológica y agronómica. (38)

Por su composición tienen un gran valor fertilizante, presentan --

sustancias contaminantes como: minerales (arena, arcillas, limos), soluciones y emulsiones de sales, ácidos, alcalis, aceites minerales y otros. Orgánicos: origen vegetal y animal. Bacterianas: microorganismos representados por hongos, mohos, bacterias etc. (36)

La clasificación de éstas aguas se realizan desde 2 puntos de vista:

- 1) Agronómica: considerando el peligro de contaminación de microelementos y elementos pesados.

Cuadro 15 : Concentraciones permisibles de algunos elementos en aguas negras y uso urbano.

Elementos	Agua para uso urbano. meq/lt	Agua para uso agrícola.	
		Continuo	esporadico
As	0.1	0.1	2,0
B	-	0.75	2.0
Cd	0.01	0.01	0.05
Cr	0.05	0.1	1.0
Cu	1.0	0.2	5.0
Hg	0.002	0.2	5.0
Mo	-	0.01	0.15
Ni	-	0.2	2.0
Pb	0.05	5.0	10.0
Se	-	0.02	0.02
Zn	0.05	2.0	10.0

Fuente: (38)

Experimentos han demostrado que la absorción de éstos elementos - por las plantas aumentan a medida que aumenta la concentración de la solución del suelo.

- 2) Microbiológica: no son recomendables, por lo que su uso requiere de un tratamiento completo, incluyendo la eliminación de elementos químicos. (6)

2.3.2 Metodos de recuperación de suelos.

En la recuperación de los suelos salinos existen técnicas - de recuperación; lavado de sales y mejoras químicas, además de técnicas auxiliares (subsoleos, abonados orgánicos etc.).

El lavado para la extracción de sales, consiste en hacer pasar cierta cantidad de agua a través del suelo, arrastrando sales, presentes requiriéndose un drenaje eficiente. (10)

Cuadro 16 : Técnicas para la recuperación de suelos salinos.

Técnicas básicas	Métodos químicos	Aplicación de correctivos químicos.
	Método hidrotécnico	Aplicación de láminas de agua (lavado).
Técnicas Auxiliares	Métodos físicos	Mejoradores orgánicos. Vegetación tolerante Abonados. Mejora de resistencia de cultivos.
	Técnicas de riego.	Bordeos. Láminas parciales. Técnicas de riego.

Fuente: (39)

2.3.2.1 Necesidad de lavado.

El lavado de sales solubles presentes en la zona radicular es indispensable en suelos de riego. El lavado debe establecerse de modo que en caso contrario las sales tienden a acumularse en proporción directa a la cantidad contenida en las aguas de riego y a la lámina aplicada. Así la necesidad de lavado depende de la concentración de sales presentes en el agua de riego y de la máxima concentración de las sales que permite la solución del suelo, la cual en términos de C.E. debe ser menor a 4 mmhos/cm en cultivos sensibles y hasta 8 a 12 mmhos/cm en cultivos tolerantes. (11)

Pizarro 1976 considera que uno de los recursos necesarios-

y fundamental en la rehabilitación de los suelos salinos es su lavado. (10)

Acevez 1979 hace notar la importancia que tiene determinar con precisión la cantidad y forma de aplicación de agua de lavado, ya que por lo general se requieren de grandes volúmenes y es un recurso limitado en las regiones donde se presentan problemas de ensalitramiento. (6)

El lavado del suelo puede cambiar la concentración de iones, transformándolos de suelos salino-sódicos a suelos normales, dependiendo de la cantidad de agua añadida y el método de lavado empleado. La inundación del suelo produce una percolación más rápida que la irrigación intermitente, por lo que se debe considerar la infiltración y drenaje existentes. (14)

Es recomendable que los lavados se realicen con cultivos en crecimiento, en ambientes sumergidos debido a la actividad de las raíces al incrementar la presión parcial del CO_2 , ocasionando que parte del Ca disuelto se intercambie por el Na adsorbido causando una mayor solubilidad del CaCO_3 (aumento de la fuerza iónica de la solución). Además la incorporación de desperdicios orgánicos usados como abonos activen este proceso, al producir CO_2 por la descomposición de la materia orgánica. (40)

Dependiendo de las concentraciones salinas y de la presencia o no de Na intercambiable en el suelo, el procedimiento a seguir en la recuperación de los suelos es distinto. Cuando el problema es de sódicidad, las sales son menos importantes, el sodio se presenta adsorbido al complejo de cambio mediante enlaces químicos y no es suficiente el lavado. Para lo cual surge la necesidad de liberar el sodio, mediante aplicaciones de sustancias aportadoras de Ca (yeso) u otros compuestos aportadores que eliminen el Na del complejo dejándolo en posición de ser lavado. Cuando el problema es de salinidad, las sales se presentan disueltas en

Los ácidos resultantes de los agregados de azufre disuelven el CaCO_3 presente en el suelo proviniendo de Ca soluble, reemplazado al sodio intercambiable, mejorando la condición física del suelo.

La aplicación de abonos verdes, materia orgánica, produce una estructura granular, una vez aplicados los productos químicos.

(41)

En la recuperación de los suelos sódicos la concentración de sales es muy importante, por lo que el agua utilizada para lavar es importante en cuanto a su concentración. El uso de aguas -- con baja concentración produce un desmoronamiento del suelo en una zona intermedia al reducir su concentración salina el nivel del agua empleada, dejando el porcentaje de sodio intercambiable -- en un valor original del suelo no recuperado, ocasionando condiciones físicas desfavorables retardando su recuperación. (41)

La prevención de estas condiciones se puede realizar mediante la mezcla con aguas de riego y aguas de alta concentración salina (agua de mar, subterráneas). La mezcla ocasiona la reducción -- del PSI incrementando la concentración salina (método lavado salino).

Anguiano y Becerra utilizando diluciones sucesivas de aguas salinas en zonas del ex-lago de Texcoco con altos niveles de PSI -- encontrando una reducción en la concentración de sodio. (42)

Una vez lograda la recuperación del suelo sin que exista un deterioro de éste se inicia una segunda etapa de recuperación, usando aguas con valores bajos de RAS y de concentración salina, lo cual se realiza sucesivamente hasta concentraciones bajas de PSI permitiendo la incorporación de mejoradores químicos. El empleo de agua salina mejorará las condiciones del suelo siempre y cuando -- las concentraciones de Ca , Mg y Na se encuentren balanceados y el proceso de lixiviación sea posible. (44)

la solución del suelo y son fácilmente arrastrados. (5)

Estó da origen a diversos métodos de recuperación de los suelos tomando como base el problema del suelo.

2.3.2.2 Metodos de recuperación de suelos con problemas de salinidad y sódicidad.

—Recuperación de suelos salinos.

Este tipo de suelos debe poseer un drenaje eficiente que permita la eliminación del exceso de sales al aplicar el agua, la cual las transportara a partes más profundas.

No se debe permitir que el nivel freático rebese una profundidad de 8 a 10 pies. (Kelley) (19)

Así se recomienda:

- 1) Mantener el suelo húmedo, de forma que la solución del suelo no este concentrado y dañe al cultivo.
- 2) Aplicar suficiente agua en los riegos para establecer el lavado de sales en aguas de drenaje.
- 3) Lotes nivelados en el terreno para una infiltración uniforme del agua. (41)

—Recuperación de suelos sódicos.

Por la presencia del ión sodio presentan mayor problema y actividades.

- 1) Aplicar los requisitos anteriores.
- 2) Una buena preparación del suelo, que mejore las características físicas del suelo.
- 3) Aplicar sustancias químicas que reemplacen el Na de la fracción coloidal por Ca y la conversión del Na reemplazado o cualquier cantidad de carbonato de sodio presente en sulfato de sodio -- neutro.

Entre los cuales tenemos: sulfato de calcio (yeso), ácido sulfurico, sulfato de fierro y aluminio.

2.3.2.3 Metodos de lavado.

En la recuperación del suelo el metodo de lavado cumple dos objetivos;

- 1) Reducción de sales solubles iniciales hasta niveles tolerantes por los cultivos a establecer.
- 2) Evitar la resalinización en los suelos recuperados, llevando a cabo lavados de mantenimiento.
 - Lavado aprovechando el riego, para lo cual se aproveche el agua en exceso al cultivar el suelo.
 - Realización de lavados periodicos, independientes del riego: anuales o semestrales, en función de factores: época de siembra, cosecha y disponibilidad de agua. (5)

Los metodos principales son: Inundación, surcos y subirrigación.

- 1) Inundación: puede aplicarse en melgas o cajetes, empleando se en áreas niveladas, donde existe un libre flujo de agua sin la existencia de bordos.
- 2) Melgas: emplea bordos en el control del agua confinada fluyendo libremente, siguiendo la pendiente en dirección de los bordos, el agua es excedida en la regadera y al final de los bordos.
- 3) Cajetes: aplicado en áreas rectangulares, permitiendo un mejor control de las láminas de agua y una mayor uniformidad de las aplicaciones.
- 4) Surcos: Recomendable en lugares accidentados, siendo surcos de fondo ancho.
- 5) Aspersión: su empleo es en forma extensiva dando un mejor control del agua aplicada permitiendo una mejor distribución, se puede emplear en áreas de pendiente excesivas a otros métodos, aplica muy poca agua, no lograndose un balance

adecuado de sales al no obtenerse lavados necesarios, produce una distribución más regular del agua.

- 6) Subirrigación: Es poco empleado y poco recomendable utilizarlo por largo tiempo, al menos que se tengan lavados periódicos con agua de lluvia o riegos superficiales. (11)

Los riegos por gravedad pueden provocar mayor salinidad aun que sus lavados son más enérgicos.

El riego por goteo, al ser el suelo salino debe ser desechado, al no proporcionar lavado de sales. (5)

Aunado a los métodos de recuperación existen medidas contra la salinidad encaminadas a combatir las causas y efectos producidos por ésta.

2.3.3 Medidas de combate contra la salinidad.

Para su aplicación es necesario contar con información y poder elegir las técnicas de combate apropiadas.

- 1) Superficie afectada por sales en diferentes grados.
 - 2) Volumen de agua disponible así como canales, drenes, fuentes superficiales y subterráneas existentes en el área.
 - 3) Profundidad del nivel freático (necesidad de drenaje).
 - 4) Datos propios del suelo y aguas; C.E., pH, CIC, SI, PSI, contenido de carbonatos de Ca, Mg y C.H. y el % de saturación.
- En aguas es indispensable utilizar; C.E., RAS y el contenido de elementos tóxicos.
- 5) Profundidad óptima de enraizamiento del cultivo, tolerancia relativa a las sales, densidad del suelo, etc. (1)

Los métodos más comunes son: Físicos, biológicos, químicos y los hidrotécnicos.

Físicos: Consiste en el tratamiento del suelo en forma mecánica; subsoleo, arado profundo, aplicación de arena, inversión del --

perfil. La finalidad es romper cepes duros, de carbonatos y sulfatos precipitados que impiden el paso del agua a través del perfil del suelo.

Propiciar la mezcla de materiales con diferentes características texturales; arena, arcilla y limos o bien poner en la parte superficial algún elemento de Ca, precipitados en cepes profundos. (5,6)

Biológicos: consisten en la aplicación de materia orgánica y plantas tolerantes, propiciando una mejor permeabilidad al suelo. (6)

La aplicación de estiércol y compostes ayudan a la recuperación del suelo mediante:

- Mejora la estructura y permeabilidad del suelo.
- Liberación de CO_2 , disminuyendo el pH, aumentando la solubilidad del calcio existente en forma precipitada.

El establecimiento de cultivos reduce la evaporación y movimiento de sales hacia la superficie provocando el descenso de la capa freática facilitando el lavado de sales. (5,6)

Hidrotécnicos: consisten en el manejo y calidad química de aguas disponibles, para mantener las sales solubles y los intercambiables a un nivel tal que no afecten el desarrollo de los cultivos, para lo cual se requiere de:

- Bordeos: construcción de bordos y camellones de tierra para evitar salida de agua del predio a regar.
- Laminas parciales; aplicación de aguas en etapas, es decir primero una cantidad posteriormente el resto. (5) El agua es más eficiente al aplicarse en forma fraccionada e intermitente sin permitir la redistribución de sales por la prolongación en tiempo de lavados. (6)
- Efectividad del tiempo; es importante el tiempo que se emplea para realizar el lavado, por lo que se debe regar sin empleo de

tiempos excesivos que impiden otras labores. (5)

Químicos; Son usados en la recuperación de suelos sódicos y ocasionalmente en suelos salino-sódicos, consistiendo en agregar sustancias químicas al suelo con la finalidad de solubilizar el Ca existente o agregarlo directamente en forma soluble en el caso de que no existe, propiciando un intercambio catiónico sustituyendo al Na^+ por Ca^{++} , lográndose la floculación de los coloides del suelo. El uso de estas sustancias depende de las características del suelo, velocidad de recuperación así como las limitaciones económicas. (6)

2.3.4 Medidas de control de salinidad.

Estas son realizadas una vez llevadas a cabo actividades de mejoramiento en los suelos de recuperación.

Actividades como:

- Verificación de la C.E. determinado la eficiencia de lavado o la acumulación de sales.
- Lecturas de pH para verificar el grado de oxidación en el suelo una vez aplicadas sustancias ácidas o formadores de ácido.
- PSI; para ver si se está dando el proceso de intercambio de Na^+ por Ca^{++} en el complejo de cambio.
- Determinación de la profundidad del manto freático, fundamental en el lavado del suelo permitiendo saber si habrá o no salinidad secundaria por el ascenso capilar. (5)

2.3.5 Aplicación de mejoradores químicos.

Con base en las características del suelo se lleva a cabo la selección del mejorador, características como; contenido de carbonatos de Ca y el pH del suelo, dando lugar a tres tipos de suelos.

- 1) Suelos con carbonatos de Ca.

- 2) Suelos practicamente libres de Ca y pH mayor de 7.5 .
 3) Suelos libres de carbonatos de Ca y pH menor de 7.5 . (11)

Así para cada grupo se tiene el mejorador químico apropiado, siendo para:

- 1) Sales solubles de Ca o sustancias formadoras de ácidos.
 2) Sales solubles de Ca a excepción de la roca caliza por su baja solubilidad e pH elevado.
 3) Sales solubles de Ca y roca caliza molida.

En suelos que no presenten CaCO_3 no es necesario la aplicación de sustancias acidificantes. (6)

El empleo de mejoradores químicos en los suelos ha dado lugar a 3 grupos:

Cuadro 17: Grupos de mejoradores químicos.

Sales solubles de calcio.	Cloruro de calcio Yeso
Acidos o formadores de ácidos.	Azufre Acido sulfúrico Sulfato de fierro Sulfato de aluminio Cal-azufre (polisulfuro de Ca)
Sales de Ca de baja solubilidad.	Roca caliza molida Subproductos de la cal usada en ingenios azucareros.

Fuente: (11,21)

La velocidad de reacción o de sustitución es otro parámetro en la selección de los mejoradores.

Los ácidos reaccionan inmediatamente al entrar en contacto con el suelo.

Las sales solubles de Ca dependen de su solubilidad. Así CaCl_2 es más soluble que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

En suelos salinos su solubilidad varía con la composición de la solución. El yeso presenta una solubilidad de 30 meq/lt.

En suelos sódicos, con pH mayor de 9.0 y la existencia de Na_2CO_3 y NaHCO_3 la solubilidad del yeso se reduce grandemente, debido a la finura de sus partículas. Así también influyen en la solubilidad factores como; humedad del suelo, forma de aplicación y la pureza del producto.

Las sustancias formadoras de ácidos son de reacción lenta (azufre y polisulfuro de Ca) ya que tiene que formarse ácido sulfúrico mediante oxidación microbiológica del azufre elemental (insoluble en agua. (6)

Experimentos realizados en California con azufre: mostrarán diversos tiempos de oxidación, en la cual ésta fué muy lenta y en ninguno de los casos, aun después de 9.5 meses de aplicación llegó a oxidarse en un 100%, siendo el máximo de 70%. (43)

Cuadro 18: % de oxidación de diferentes clases de azufre después de diferentes tiempos en dos cantidades de aplicación.

Cantidad aplicada (ppm).	Clase de azufre.	Porcentaje de oxidación Tiempos en semanas.				
		5	8	12	20	38
750	inoculado	50.8	61	59.2	69.8	73.4
	elemental	27.9	38	60.8	68.3	72.2
	grueso	3.4	13.5	37	40.8	45.7
	coloidal	34.5	43.6	65.5	68	72.7
	concentra.	38.1	42.9	60	68.2	70.7
1500	inoculado	45.6	51.3	56	59.4	75.3
	elemental	32.4	39.6	47.5	53	75.3
	grueso	8.3	21.8	27.5	28.4	32
	coloidal	37.2	42.8	48.7	52.7	66
	concentra.	36.4	45.5	50	50.9	70.6

Fuente: (6)

Los sulfatos de fierro y aluminio son de reacción lenta por el paso a la formación de ácido sulfúrico y al reaccionar con el CaCO_3 del suelo, forma yeso.

La velocidad de reacción de la caliza depende del pH que presente el suelo.

El uso del azufre junto con el yeso es el mejorador más utilizado (USDA 1980) y uno de los más efectivos en la recuperación de los suelos sódicos. (Rubela 1973) (6)

Usualmente se utiliza en forma elemental con una pureza de 50 a 99% y para su eficiencia requiere de ciertas condiciones en el suelo:

- Contenido de CaCO_3 menor o igual a 1%.
- Presencia de bacterias oxidantes del azufre.
- Condiciones adecuadas de humedad, pH, solubilidad, los cuales permiten el desarrollo de poblaciones bacterianas oxidantes del azufre (Aceves 1981).

Starkey 1966, reporta que la gran parte de la oxidación del azufre está dada por bacterias del genero Thiobacillus. Ver reacción del azufre en el suelo (reacciones químicas de los mejoradores). En suelos muy afectados el empleo de azufre es una desventaja debido a que la reacción depende de la acción de los microorganismos del suelo y su cantidad. (44)

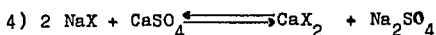
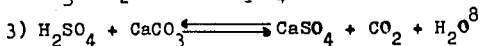
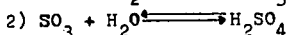
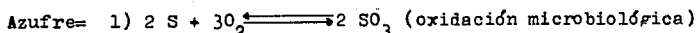
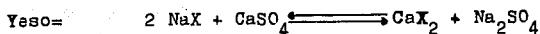
Becerra reportó que la oxidación del azufre en la zona del ex-lago de Texcoco en los dos primeros meses de incubación fue la mayor en proporción al azufre aplicado, reduciéndose grandemente el pH del suelo. El % de oxidación a los 120 días de tiempo de incubación fue del 40.6, esto es en los primeros 40 cm de profundidad manifestándose con mayor intensidad antes del lavado del suelo, una vez transcurridos a lo menos 4 semanas de la incorporación del azufre. (45)

2.3.5.1 Reacciones químicas de los mejoradores.

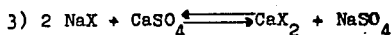
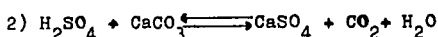
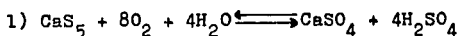
Las reacciones muestran la forma en la cual reaccionan los distintos mejoradores en los diferentes tipos de suelos sódicos.

X= representa el complejo de cambio del suelo.

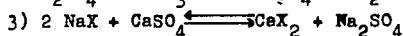
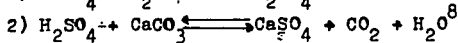
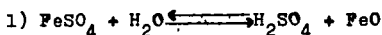
Grupo 1: suelos con carbonatos alcalino-terreos.



Cal-azufre (polisulfuro de calcio).



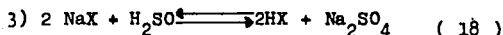
Sulfato de fierro=



Grupo 2: Suelos que no contienen carbonatos alcalino-terreos, con pH de 7.5 o más alto.

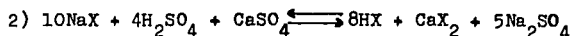
Yeso= Igual reacción que el grupo 1.

Azufre= Los pasos 1 y 2 son igual al grupo 1.

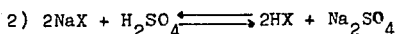


No se recomienda la aplicación de sustancias formadoras de ácido, por de hidrógeno al complejo de cambio acidificando el suelo; azufre, cal-azufre, sulfato ferroso y de aluminio así como ácido sulfúrico. (6)

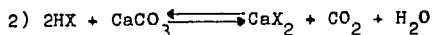
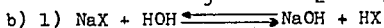
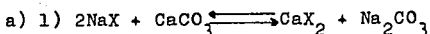
Cal-azufre= El paso 1 igual al grupo 1.



Sulfato de fierro= El paso 1 igual al grupo 1.



Caliza= Se sugieren dos posibilidades.

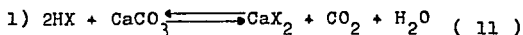


(18)

Grupo 3: Suelos que no contienen carbonatos alcalino-terreos, con pH menor de 7.5

Los mejoradores; yeso, cal-azufre, sulfato de hierro: presentan la misma reacción que en los grupos anteriores.

Caliza= Presentan igual reacción a los demás grupos, salvo al encontrarse el hidrógeno intercambiable, la reacción es distinta.



El empleo del polisulfuro de calcio en el presente trabajo nos lleva a dar una mayor descripción de éste.

Actualmente existe gran interés con respecto a su uso.

Es un líquido de reacción fuertemente alcalina con un contenido aproximado de 23 a 24% de S 6% de Ca, al ser su composición un tanto indefinida, presenta algo de tiosulfato de Ca. El contenido de Ca es generalmente de una cuarta parte con respecto al azufre y del cual, depende principalmente la reacción del compuesto.

Al reaccionar con el agua, el azufre precipita en forma elemental, el cual debe sufrir un proceso de oxidación microbiológica en condiciones anaeróbicas para luego transformarse a sulfato de calcio y ácido sulfúrico, estos compuestos participaran en el proceso de recuperación del suelo sódico. Su aplicación es recomendable con agua al no presentar efectos corrosivos. (39)

La fórmula química de este mejorador CaS_5 nos indica su coordinación entre el Ca y S y el cálculo del peso equivalente es $\frac{\text{Ca}}{1}$

culado en base al % de S del polisulfuro, el cual es de 24%, así nos indica que por cada Kg. de mejorador existen 240 grs. de azufre y debido a que por cada cinco azufres hay un calcio, existen 48 grs. de Ca.

Para el calculo de los equivalentes, se realiza primero el calculo del azufre y posteriormente el calculo del calcio.

Así;

Eq. de azufre= 16 grs.

Eq. de calcio= 20 grs.

por lo que de un Kg. de mejorador, existen;

De azufre= $240/16 = 15$ eq.

De calcio= $48/20 = 2.4$ eq.

Por lo tanto de un Kg de mejorador polisulfuro de calcio se producen 17.4 equivalentes de calcio y azufre. (6)

2.3.5.2 Cantidad de mejorador aplicado.

La cantidad de mejorador químico a aplicar depende de; la CIC del suelo, PSI, siendo este el que se desea substituir en el complejo de cambio, contenido de bicarbonatos y carbonatos solubles, pureza del mejorador a usar, profundidad y superficie del suelo por recuperar y el volumen de agua a utilizar para disolver el mejorador químico.

Por lo que respecta a la cantidad de agua para disolución del mejorador químico se deben considerar las condiciones de cada suelo y el mejorador a emplear más la densidad del suelo.

Acaves(1979) reporta que se deben considerar;

- Las sales de calcio de baja solubilidad no deben ser utilizadas en suelos de elevado pH, pues serían insolubles.

En suelos con exceso de Na adsorbido se deben emplear dos criterios;

1) La cantidad de agua necesaria para solubilizar al mejorador.

(lámina de disolución)

2) La cantidad de agua que se requiere para abatir la C.E. hasta un nivel deseado (lámina de lavado).

De acuerdo al grado de afectación salina; C.E. y PSI es recomendable utilizar la mayor magnitud para lograr ambos propósitos. (6)

Una vez determinadas estas láminas es recomendable fraccionarlas en láminas parciales de 25 cm. ya que la fracción de láminas totales es más eficiente que la aplicación continua. (Aceves 1981)

La necesidad de mejorador se calcula mediante la fórmula;

$$N.M. = \frac{PSI_i' - PSI_f}{100} \text{ CIC}$$

Donde= N.M. = Necesidad de mejorador por cada 100 grs/suelo.
 PSI_i' = Porcentaje de sodio intercambiable inicial.
 PSI_f = Porcentaje de sodio intercambiable final que se desea dejar en el suelo.
 CIC = Capacidad de intercambio catiónico en meq/100 g. de suelo.

Para la aplicación del mejorador por ha, se requiere de conocer otros parámetros; densidad aparente del suelo, profundidad a recuperar y el peso equivalente del mejorador químico.

$$Dt = \frac{PSI_i - PSI_f}{100} \cdot CIC \cdot Pe \cdot h \cdot da$$

Donde= Dt= dosis teorica (meq/lt).
 Pe= peso equivalente del mejorador.
 h = profundidad del suelo por recuperar (cm).
 da= densidad aparente del suelo.

La aplicación del mejorador químico al suelo depende del tipo de suelo y la forma de aplicación.

La reacción entre el mejorador y el Na intercambiable, es una reacción de equilibrio por lo que no es completa y dependerá de va-

rios factores; diferencias en la energía de sustitución del Ca y el sodio, PSI y la concentración catiónica total de la solución del suelo.

Cuadro 19: Pesos equivalentes de mejoradores químicos.

Mejorador químico	Pe
Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	86
Caliza ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	73.5
Azufre (S)	16
Polisulfuro de calcio (CaS_5)	100
Acido sulfúrico (H_2SO_4)	49
Sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	139
Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)	111
Caliza (CaCO_3)	50

Fuente: (5)

Así, cuando el PSI es mayor del 25 al 90% o más del calcio aplicado en el mejorador reemplaza el Na intercambiable, a medida que el suelo es lavado. El % de calcio agregado que reemplaza al sodio intercambiable es mayor del 50% hasta que el PSI llega a 10% o menos, condiciones bajo las cuales no es reemplazado totalmente el sodio sustituible a la profundidad deseada pero si la mayor parte. De esta manera la cantidad de mejorador por aplicar será multiplicada por un factor 1.25 para compensar la sustitución cuantitativa, dando lugar a una dosis práctica. (18)

$$D_p = D_t \cdot C$$

Donde:

D_p = Dosis práctica.

D_t = Dosis teórica.

C = Factor de corrección.

Otros valores de corrección en los mejoradores se ven en el cuadro siguiente.

Cuadro 20: Coeficientes de corrección de los mejoradores.

Mejorador químico	Coefficiente (C)
Yeso	1.25
Cloruro de calcio	1.10
Azufre	1.25
Polisulfuro de calcio	1.25
Acido sulfúrico	1.10
Sulfatos de fierro y aluminio	1.10
Calize	1.25

Fuente: (11)

2.3.5.3 Formas de aplicación de los mejoradores químicos.

La eficiencia de sustitución del sodio intercambiable depende de la eliminación de las sales solubles, mediante el lavado, por lo que éste es necesario antes de la aplicación del mejorador, al permitir que una mayor proporción de Ca agregado por el mejorador se adsorbido al complejo de intercambio del suelo (cuidando junto con la salinidad la estructura del suelo que podría colapsarse) aumentando la sustitución de mayor cantidad de sodio intercambiable, dependiendo de la permeabilidad del suelo.

Tomando como base la cantidad y el tipo de mejorador por aplicar, se debe determinar el método de aplicación, dependiendo del estado físico del mejorador.

Cuadro 21: Formas físicas de los mejoradores.

Estado físico	Mejorador químico
Líquidos	Acido sulfúrico. Polisulfuro de calcio.
Sólidos	Sales solubles e insolubles de Ca. Sulfatos de fierro y aluminio Azufre. Yeso.

Fuente: (6)

Los mejoradores sólidos, se deben aplicar lo más finamente-pulverizados al suelo, al voleo o con una sembradora de trigo, los cuales se deben incorporar en los primeros 15 cm mediante dos pasos de rastra cruzadas, para una buena mezcla con el suelo. La incorporación debe ser completa para una rápida oxidación a la forma de sulfato, (11) aumentando la velocidad de reacción y la eficiencia del mejorador.

Las sales solubles de calcio pueden aplicarse en agua de lavado a la entrada a la parcela, así también con el polisulfuro de calcio y el ácido sulfúrico, teniendo cuidado al controlar la dosificación, de forma tal que la cantidad aplicada esté de acuerdo al volumen de agua usada, considerando que el agua solo va a mojar la superficie por recuperar.

La aplicación de ácido sulfúrico, no se recomienda al suelo en forma directa por oxidar los minerales y la materia orgánica. Su aplicación se recomienda en forma intermitente en pequeñas líneas de agua (10 cm) poniendo la dosis del ácido en la regadera de la parcela, asegurando mayor eficiencia, ya que una mayor aplicación puede no quedar bien distribuida en el área y si se aplica en láminas de lavado muy grandes, el ácido puede ser desplazado a profundidades que la desecha de recuperación, disminuyendo el reemplazamiento de Cs por Na en el complejo de intercambio, de igual forma se realiza con el mejorador polisulfuro de Ca. (6)

El yeso puede ser aplicado en algún vertedor donde se genera turbulencia de agua distribuyéndose en la parcela.

Para la aplicación del azufre, se recomienda la aplicación de lavado después de la aplicación del mejorador, ya que este lo disuelve transportándolo hacia abajo, eliminando las sales solubles formadas por el intercambio catiónico, permitiendo además la oxidación del azufre a yeso, el suelo húmedo es indispensable para la oxidación microbiana. (11)

2.3.6 Cálculo del volumen de agua necesaria.

La cantidad de agua necesaria para la disolución del mejorador es indispensable, por lo que es necesario conocer si se cuenta con los volúmenes suficientes para disolverlo y obtener los resultados esperados. El cálculo de agua necesaria se puede conocer mediante la fórmula:

$$VAN = \frac{NMH}{SM}$$

Donde:

VAN = Volúmen de agua necesaria (ml).
 NMH = Necesidad de mejorador por Ha.
 SM = Solubilidad del mejorador en meq/lt. (6)

El cálculo de la lámina de agua necesaria para disolver el mejorador cuando éste es un ácido o una sustancia formadora de ácido, se debe considerar en base a la cantidad que se formara de yeso cuando el ácido reaccione con el $CaCO_3$ existente en forma natural en el suelo. Cuando conocemos cada que por cada meq. de ácido o formador de ácido que se aplique al suelo, se formara un meq de yeso, suponiendo que hay $CaCO_3$ suficiente en el suelo, entonces la necesidad de mejorador por Ha expresado por meq/Ha es dividido entre la solubilidad del yeso en meq/lt obteniendose el volúmen total de agua necesaria para disolverlo.

Cuadro 22: Solubilidad del $CaCO_3$ a diferentes valores de pH.

pH de la solución saturada con $CaCO_3$	Solubilidad del $CaCO_3$ en meq/lt.
6.21	19.30
6.50	14.40
7.15	7.10
7.85	2.70
8.60	1.10
9.20	0.80
10.12	0.36

Fuente: (11)

El cálculo anterior no debe realizarse para mejoradores en base a su solubilidad; sulfatos de aluminio y fierro, polisulfuro de calcio y azufre, sino solo aplicar un riego ligero. (6)

2.3.7 Medidas de adaptación a los problemas de ensaltramiento del suelo.

San.prácticas: de manejo de suelos, aguas y plantas que permiten la obtención de rendimientos, bajo condiciones de escasez de agua o restricciones muy fuertes de drenaje que impiden la eliminación total de sales del suelo.

Manejo del suelo: La nivelación del suelo permitirá manejarlo uniformemente manejando el agua con facilidad, sin dejar partes por húmedecer.

Preparación mediante labores culturales: subsoleos, barbechos, rastreos, nivelaciones, que permiten una mejor penetración del agua de riego.

Selección del cultivo a establecer: se realiza en base a la tolerancia presentada por los cultivos a las sales, así como del aprovechamiento de la infraestructura existente en la zona.

Manejo del agua de riego: los riegos deben darse con mayor frecuencia para impedir que se concentren demasiado las sales y afecten el desarrollo de las plantas. Aplicar mezclas que permitan C.E. deseadas, usando diferentes proporciones de cada tipo de agua empleada en la mezcla.

Dosis de fertilización: La misma que para condiciones normales. (6)

El establecimiento del cultivo se recomienda en etapas intermedias o al alcanzar un nivel de salinidad deseado en el suelo.

El cultivo a establecer debe reunir varias características:

- 1) Tolerancia a sales.

- 2) Riegos por inundación con bordos de nivel.
- 3) Alta densidad de población.
- 4) Costo bajo del cultivo. (35)

2.3.7.1 Manejo del cultivo.

Siembra en seco: Esto permitiría que las semillas no estén el momento de la inbibición, lo cual a concentraciones altas impiden la germinación.

Aplicar la densidad de siembra al doble de la recomendada en suelos no salinos, compensando así la reducción en la germinación por el exceso de sales.

Sembrar en melgas rectas o en contornos con la amplitud en gasta más posible, para un mejor control del agua y no dejar superficie sin mojar. No sembrar en surcos para evitar la acumulación diferencial de sales muy fuertes, sobre todo en la parte superior del surco. (6)

Las aplicaciones de riego de postsiembra lo más pesado posible (20 cm de lámina o más).

La fertilización se debe realizar durante los riegos de auxilio, no antes para evitar la pérdida por lavado.

Una vez que se presente una salinidad deseada ligera o mediana afectación, se presentan cambios en el aspecto del suelo como en la presencia de plantas, éstos cambios son:

- Cambio del color oscuro a claro.
- Reestructuración de la parte superficial del suelo, el cual se logra al aparecer grietas y formación de costras.

Por lo que respecta a las plantas, éstas nacen al secarse el suelo, siendo preferentemente "chamizos" y pastos, los que indican el momento de sembrar. (35)

2.4 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO AVENA (Avena sativa L.)

2.4.1 Características morfológicas.

Es una planta originaria del Asia menor, planta herbácea -- anual de 60 a 90 cm. de altura, el tallo es erecto liso o escabroso abajo de la panícula. Las hojas son simples envainantes lanceoladas de 0.5 a 1.2 cm. de ancho y de 18 a 36 cm. de largo, ligeramente escabrosas con ligula corta y dentada, forma una panícula terminal de 15 a 30 cm. de largo, tienen generalmente dos flores finamente pediceladas, la raquilla es vellosa con desarticulación arriba de las glumas y entre los flosculos, glumes más o menos iguales, membranosas o papiraceas con 7 o 8 nervaduras, con excepción de la parte apical que tiene de 5 a 9 nervaduras, son bidentadas y sostienen una arista dorsal recta y reducida. El fruto es un cariopside de 0.6 a 0.8 cm. de longitud, delgado con los lados casi paralelos, vellosa y con canales sobre las caras. (46)

2.4.2 Ciclo de vida.

El ciclo de vida de la planta de avena se divide en 4 etapas:

Vegetativa, transición, reproducción y madurez de grano. Cada etapa se distingue una de otra por sus características morfológicas.

Vegetativa: se producen hojas, brotes, retoños axilares y el sistema permanente de raíces (adventicias) inicia su desarrollo, el ápice del tallo principal brota primero y los demás tallos cortos alrededor de la punta, el sistema de entrenudos es usualmente muy corto.

Transición: es de corta duración y dificulta la identificación en avena, puesto que solo consiste en una ligera elongación del ápice del tallo que precede a la formación de la panícula.

Reproductiva: la perífula y sus partes se diferencian y de sarrollan, los entrenudos del tallo se alargan.

Madurez del grano: se inicia con la fecundación y termina con la madurez del mismo. (47,48)

La germinación requiere de una temperatura óptima de 25°C, si la temperatura se excede, se presenta una germinación irregular, la temperatura mínima es de 3.9 a 5°C. En condiciones favorables se inicia entre 4 y 5 días después de la siembra, pudiendo haber diferencias en la velocidad de esta. (49,50)

Cuadro 23: Días requeridos para la germinación de semillas de avena a temperaturas indicadas.

Temperaturas	4.4	12.2	15.5	18.9 °C
Días a la germinación	7.0	3.75	2.75	2.0

Fuente: (49)

El crecimiento de las raíces: son de tipo fibrosas y el sistema principal de raíces brota adventiciamente de los nudos del tallo principal y de los tallos secundarios, los cuales se encuentran bajo la superficie del suelo. (47,51)

El amacollamiento presente en cada planta de 3 a 5 macollos, los cuales son huecos. Principia cuando el tallo principal incrementa su tamaño y número de hojas. Son producto del desarrollo de las yemas axilares de las hojas para formar brotes, cuyos entrenudos permanecen muy cortos, al igual que aquellos del tallo que proceden. El establecimiento de siembras demasiado profundas reducen el amacollamiento además de características varietales, bajas densidades de siembra promueven el amacollamiento, densidades elevadas lo reducen así como el tamaño de semilla pequeña que las que proceden de semilla grande, la fertilidad y la humedad del suelo en condiciones óptimas le estimulen, el igual que las bajas temperaturas del suelo y del aire al principio del cultivo. (50,52)

Cerca del amacolleamiento principia la parte reproductiva. La panícula inicia su formación cerca de los 22 a 36 días después de la siembra, dependiendo de la variedad, la fecha de siembra y las condiciones posteriores a la siembra. Aparentemente la precocidad de la variedad conjuntamente con el fotoperiodo y la temperatura son los factores principales que determinan el inicio de la panícula. El tallo es una caña herbácea y herguida con nudos llenos y entrenudos huecos en número de 4 a 8, generalmente crecen de 0.6 a 1.5 metros y tienen de 3 a 5 tallos cada metro, que varían de 0.32 a 0.64 cm. de diámetro. (53,54,55)

La floración: la inflorescencia inicial puede ser observada en un estado avanzado de la plántula, la panoja no emerge de la vaina de la hoja envolvente, se presenta hasta las 6 a 7 semanas. (47,48)

2.4.3 Condiciones ecológicas.

Su distribución se presenta entre los 65°C lat. N y 45°C lat. S, exceptuando las regiones ecuatoriales calientes y húmedas. (56)

La avena es un cultivo que se encuentra desde altitudes de 0 a 3000 m.s.n.m. (17) se adapta a gran variedad de climas secos y presenta cierta tolerancia al frío, siendo su mejor adaptación en lugares de clima templado. Se puede cultivar en climas semicálidos templados y fríos. En climas semicálido puede presentar una prematura maduración del grano al estar en desarrollo mesocoleoso; en climas calientes y húmedos se presentan incidencia de enfermedades; roya del tallo y hoja.

Temperatura: existe una relación directa entre el crecimiento y la temperatura en ésta especie. Temperaturas moderadas de 10 a 12°C permiten un crecimiento continuo de las plantas, el cual cesa a los 4.4°C cuando la temperatura asciende a 7.2°C existe un ligero crecimiento de la planta. (48,54)

Temperaturas mayores de 33°C durante la floración dan lugar a la marchitez o a la caída de las flores por lo que no es tolerante al calor. Los límites de temperatura en avena son: mínima 4 - 8°C, óptima 25 - 31°C y máxima 31 - 37°C.

Humedad: se adapta a regiones con 640 mm o más de precipitación anual, es muy exigente en comparación a otros cereales, para sintetizar un Kg. de materia seca. (54)

Suelos: es poco exigente en cuanto al tipo de suelo cuando los factores de temperatura y humedad son favorables.

Simonson (1957) indica que los mejores suelos para el cultivo de avena en orden de importancia son: podzoles (clima húmedo templado) incluyendo muchos suelos orgánicos. Chernozems (clima templado subhúmedo o semiárido y los latosoles). (56)

Textura: los mejores suelos son limosos y aluviones por sus características físicas y químicas que retienen mayor humedad, pero también pueden cultivarse en suelos arenosos y arcillosos, requiriendo por su sistema radicular fibroso, una buena preparación del suelo.

El mejor pH del suelo varía de 5 - 7, siendo muy sensible a la salinidad. (17)

Para la producción de altos rendimientos requiere suelos moderadamente fértiles y por lo cual los minerales deben estar cuidadosamente equilibrados evitando el exceso de nitrógeno.

La aplicación de más de 70 Kgs. de N/ha puede dar lugar a la formación de nitratos y por tanto al acameo de la planta debido al crecimiento vegetativo excesivo. En zonas húmedas la falta de fosforo produce una maduración tardía y los rendimientos son bajos, por lo que se requiere de fertilizantes fosfatados.

Epoca de cosecha: Es muy importante esta etapa debido a que el rendimiento de forraje verde y heno se ven afectados por el estado en que se encuentre la planta al momento de realizar el

corte. (51)

A medida que se retrasa la época de siembra, disminuye el % de proteínas, digestibilidad, vitamina A y el caroteno afectándose la producción y calidad del forraje.

Por lo tanto se recomienda el corte cuando la planta se encuentra en un 50% de grano mesoso-lechoso, pues es cuando se obtiene el equilibrio de máxima calidad y alto rendimiento.

Se ha demostrado que la producción total de materia seca aumenta rápidamente de la fase lechosa del grano a la madurez total. Además la digestibilidad de la avena cortada en floración disminuye en fase de maduración. (54)

2.5 DESCRIPCION DEL AREA DE TRABAJO.

Como ya se menciono la zona del ex-lago de Texcoco comprende una superficie de 10000 hectáreas aproximadamente, de las cuales algunas ya presentan sintomas de recuperación (establecimiento de vegetación).

Las condiciones que prevalecen en la zona son:

- a) Climatología: la zona se encuentra situada al sur del paralelo 20°N, ubicándose geográficamente dentro de la zona tropical, sin embargo el hecho de estar a una altitud de más de los 2000 m.s.n.m. la hacen presentar características de una zona templada.

Con base en la clasificación de Thorthwaite el clima de la zona se clasifica como; C_{1d} , B_2O ; semiseco con poca o mucha agua, templado frío con baja concentración térmica en verano. El periodo de lluvias se presenta en los meses de mayo octubre y la estación seca hacia fines de octubre abril.

La distribución de lluvias (precipitación) se distribuye en forma irregular y torrencial, siendo julio el mes más lluvioso y febrero el de mínima precipitación.

De acuerdo al sistema de Koeppen modificado por Enrique Gerzica, el clima corresponde; $Bs, kw(x)(i)$: semiseco con verano fresco, la temperatura del mes más caliente inferior a los 18°C y lluvioso en invierno con un total de lluvias menor del 5% del total anual.

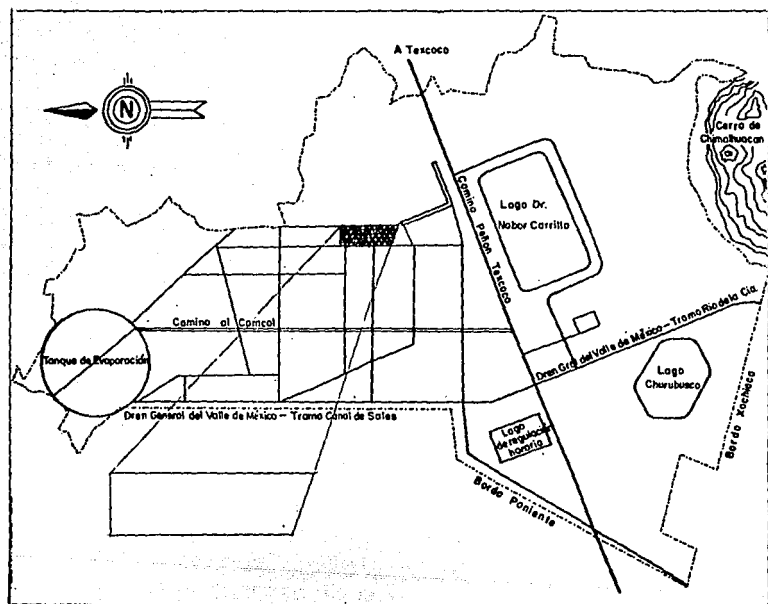
Se presentan diversos tipos de vientos; altura, resacas, poleas, del sureste y convectivos. La presencia de heladas es en los meses de noviembre y abril. (2)

- b) Suelos: con base en la clasificación de suelos FAO-INEGI, el área presenta tres órdenes de suelos dominantes en superficie dentro de la zona; endosol, litosol y chernozems siguiendo este orden en dominancia. (15)

- c) Hidrología: se encuentra manifestada por diversos escurrimientos de diversos ríos; San Juan Teotihuacan, Papelotla, Malapango, Coxcoaco, Texcoco, Chapingo, San Juan Bernardino, Santa Monica, Coatepec, San Francisco, Canal de Ayotla y Churubusco. Característica de la zona es la existencia de un acuífero de alta concentración salina, localizado a una profundidad de 30-metros.
- d) Vegetación: presenta una vegetación inducida, adaptada por sus características fisiológicas como anatómicas, siendo las especies en la zona; Bouteloua, Muhlenbergia repens, Hordeum jubatum, Cynodon dactylon y Chenopodium.

Dentro de la zona ex-lego de Texcoco, ubicada en la parte-oriental se localiza el área denominada 3B la cual comprende una superficie de 24 has. Esta área presenta el establecimiento de drenaje superficial y una profundidad de 1.7 metros y separados a una distancia de 40 metros entre éstos, siguiendo una dirección de este a oeste, de este área se obtuvieron los muestres de suelo a una profundidad de 0 a 0.3 metros, realizándose la apertura de 9 pozos de muestreo.

Plano 1: Localización geográfica del área 3B en la zona ex-lago de Texcoco (área sombreada).





M Y
A
T M
E E
R T
I O
A D
L O
E S
S

CAPITULO



El trabajo experimental fue llevado a cabo en el invernadero de la Comisión Nacional del Agua proyecto Ex-lago de Texcoco. Este se realizó mediante el empleo de muestras de suelo en bolsas de polietileno negro. El desarrollo del experimento fue dividido en varias etapas durante las cuales se realizaron diversas actividades.

1.- MANEJO DEL SUELO.

a) Obtención y preparación del suelo.

La parte experimental dio principio mediante el muestreo de suelos en el área de interés (3B zona oriente) el cual se realizó en zig zag y comprendió la apertura de 9 pozos de muestreo con dimensiones de 50 x 40 x 30 cms. .

El suelo obtenido en cada pozo de muestreo se preparó y tamizó obteniéndose una muestra de suelo de 1 kg. por cada pozo de muestreo dando lugar a la formación de 9 muestras las cuales fueron analizadas para la obtención del % de humedad del suelo a partir de 10 grs. de suelo empleando la balanza hidrométrica, obteniéndose de los resultados una media promedio.

(Ver cuadro 26 de resultados pag. 7)

El resultado promedio de % de humedad se utilizó en la determinación de agua higroscópica contenida en estos suelos por lo que se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Agua higroscópica} = \frac{(\% \text{ de humedad})(\text{peso del suelo})}{100} = \text{ml} \quad (57)$$

Peso del suelo: cantidad total de suelo por muestra utilizada en el experimento; siendo un total de 5 kgs.

El resultado de agua hidrosópica se muestra en el apartado - (a) de resultados página 7 .

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

El resultado obtenido al igual que otros valores como son: % de capacidad de campo(% de C.c.), el peso del suelo fueron sustituidos para obtener la cantidad de agua necesaria -- que requiere el suelo para mantenerse a su capacidad de campo y el cual fue aplicado durante el experimento en la etapa de lavado de las diferentes muestras de suelo, para lo cual se empleo la formula:

$$\text{Agua necesaria} = (\% \text{ C.c.}) (\text{peso de suelo}) - \text{agua higroscopica} \\ = \text{ lts.}$$

El resultado se muestra en el apartado (b) de resultados pagina 7 .

% de C.c.: fue obtenido apartir del tipo textural que presenta el suelo, para lo cual se obtuvo la clase textural de las 9 -- muestras de suelo, apartir de las cuales se llevo a cabo un -- promedio de texturas (ver cuadro 27 de resultados pagina 7).

Tomando como base este promedio el % de C.c. aduquirio un valor de 25, el cual se observa en el cuadro siguiente.

Cuadro 24: Valores promedio de las constantes de humedad con respecto al suelo en relación a su textura.

Textura	O.s.	C.c.	Pmp	Ha
Arenoso	38	10	6	4
Franco	50	25	13	12
Arcilloso	60	45	23	22

Fuente: (58)

Para la obtención de la dosis de mejorador químico ha aplicar a las muestras del suelo, fue necesario determinar las características químicas del suelo: Ca, Mg, Na, CIC de las 9 muestras de suelo realizandose por igual un promedio de éstas -- determinaciones.

(Ver cuadro 28 de resultados pagina 7).

Los resultados promedio fuerón manejados sustituyendo - en las formulas de RAS y PSI, dichas formulas y sus resultados se presentan en el apartado (c) de resultados pagina 7 .

El valor de PSI optenido es considerado como un valor de éste parámetro presente en el suelo, así se requiere llevar éste va lor hasta un nivel no dañino a las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de cultivos, valor considera do de 10%. (10)

Estos valores además del valor promedio de capacidad de intercambio catiónico(CIC) fuerón sustituidos en la formula de necesidad de mejorador químico para obtener la dosis de mejo rador químico a aplicar a las muestras de suelo.

$$N.M. = \frac{(PSI_i - PSI_f)}{100} \text{ CIC meq/100 grs. de suelo} \quad (6)$$

.El resultado se presenta en el apartado (d) de resultados -- pagina 7 .

La dosis de mejorador químico fue aplicado en muestras de suelo de 5 kgs. por lo que ésta dosis se vio aumentada.

Ver apartado (e) de resultados pagina 7 .

El contenido de azufre y calcio por cada kg. de polisulfuro - de calcio(CaS_5) es de 17400 meq. por lo que para satisfacer la necesidad de mejorador que presenta el suelo para su recupera ción se realizo una simple regla de tres, ver apartado (f) de resultados pagina 7 .

El resultado obtenido como dosis de mejorador químico es con siderado como una dosis teorica por lo que se multiplico por un factor de corrección del mejorador químico: 1.25 para obte ner la dosis práctica a aplicar. (12) ver apartado (g) de re sultados pagina 7 , a los diferentes tratamientos del experi mento

Cuadro 25: Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Simbología
1	Mq(I)Annt.
2	Mq(15)Annt.
3	Mq(30)Annt.
4	Mq(f)Annt.
5	Mq(I)Ant.
6	Mq(15)Ant.
7	Mq(30)Ant.
8	Mq(f)Ant.
9	Mq(I)As.
10	Mq(15)As.
11	Mq(30)As.
12	Mq(f)As.

Mq(I,15,30,f)= aplicación de mejorador químico a distintos tiempos.

Annt= lavado con agua negra no tratada.

Ant = lavado con agua negra tratada. .

As = lavado con agua salina.

b) Análisis de suelos y aguas.

Suelos: los resultados promedios obtenidos fueron considerados como referencia para la evaluación del experimento. (ver cuadro 30, apéndice)

Aguas: se realizaron para cada uno de los tres tipos de aguas empleadas a través del experimento. (ver cuadro 33, apéndice)

Agua negra no tratada: se obtuvo de los canales de desagüe.

Agua negra tratada: se obtuvo de la planta tratadora de aguas segundo creador.

Agua salina: se obtuvo del lago artificial Dr. Nabor Carrillo.

2.- ETAPA DE LAVADO.

- a) Aplicación de agua para lavado a capacidad de campo a las -- muestras de suelo con base en los diferentes tratamientos, realizándose diariamente durante 30 días de lavado. Esto presenta cierta variación en la cantidad de agua aplicada por el diferente manejo de las muestras de suelo. (ver cuadro 31, apéndice)

- b) Aplicación de la dosis de mejorador químico polisulfuro de calcio.

Se llevo a cabo cada 15 días de acuerdo a los tratamientos, empleándose cuatro diferentes tiempos de aplicación; Inicio, 15, 30 días y dosis fraccionada.

Para la dosis fraccionada la aplicación del mejorador químico fue dividido en tres fracciones una por cada tiempo mencionado.

Posterior a la aplicación del mejorador se dio un periodo de reposo de 15 días para su oxidación microbiológica (permite el paso del mejorador polisulfuro de calcio a la forma de sulfatos, indispensables en el suelo para su recuperación) durante el cual no hubo lavado de las muestras, reanudándose posteriormente. Para la dosis fraccionada el periodo de reposo fue de 5 días después de cada aplicación, haciendo un total de 15 -- días al final de la etapa.

- c) Analisis de los diferentes tipos de aguas empleadas.
- d) Toma de lecturas de conductividad eléctrica de los tipos de -- agua utilizadas en el lavado de las muestras de suelo. (ver -- cuadro 32, apéndice)

3.- ETAPA ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO.

- a) Siembra del cultivo de Avena Avena sativa L. var. Chihuahua -- en las muestras de suelo a una densidad de 10 semillas por -- maceta.

- b) Riegos aplicados en base a la necesidad de humedad por la --
planta, aplicando el tipo de agua correspondiente a cada tra-
tamiento.
- c) Lecturas de conductividad eléctrica de las aguas empleadas -
en el riego del cultivo. (ver cuadro 32, apéndice)
- d) Análisis de las muestras de suelo; los resultados fueron con-
siderados para la evaluación de el experimento. (ver serie de
cuadros, resultados)



R
E
S
U
L
T
A
D
O
S

CAPITULO **IV**

Resultados obtenidos en los laboratorios de suelos, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. (Campo 4)

Cuadro 26: Determinaciones físicas de muestras para la obtención de agua necesaria para lavado.

Muestra	Peso suelo húmedo en grs.	% de humedad	Peso suelo seco en grs.
1	10	9.2	9.08
2	10	9.5	9.05
3	10	9.4	9.06
4	10	9.7	9.03
5	10	9.3	9.07
6	10	9.4	9.06
7	10	9.1	9.09
8	10	9.6	9.04
9	10	9.8	9.02
\bar{x}	10	9.44	9.055

Apartado (a)

$$\text{Agua higroscópica} = \frac{(9.44)(5)}{100} = 0.472 \text{ lts.}$$

Apartado (b)

$$\begin{aligned} \text{Agua necesaria} &= (25\%)(5 \text{ kgs}) - 0.472 \text{ lts.} \\ &= 1.245 \text{ lts.} \end{aligned}$$

Resultados proporcionados por La Comisión Nacional del Agua
proyecto ex-lago de Texcoco.

Cuadro 27: Clases texturales para la obtención del % de
C.c. en muestras de suelo a tratar.

Muestra	Clase textural
1	Franco-arenoso
2	Areno-arcilloso
3	Franco-arenoso
4	Arenoso
5	Franco-arcilloso
6	Arenoso
7	Arcillo-arenoso
8	Franco-limoso
9	Franco-arenoso
\bar{X} textural	Franco

Cuadro 28: Determinaciones químicas para la obtención de la
dosis de mejorador químico de las muestras de --
suelo a tratar. (meq/lt)

Muestra	C.E.	pH	Ca	Mg	Na	K	CIC
1	16.18	8.85	8.85	1.5	257.4	13.13	52.0
2	28.4	9.7	1.0	1.0	422.0	19.5	55.0
3	15.24	9.0	1.5	1.0	281.0	7.73	53.33
4	15.33	8.4	1.5	1.0	286.2	12.61	56.66
5	12.59	9.0	2.0	1.0	315.5	6.43	53.33
6	15.36	9.1	1.5	1.0	335.2	7.49	55.0
7	19.8	8.65	2.0	1.5	291.9	5.04	51.66
8	28.4	9.75	1.0	1.0	544.0	25.0	60.0
9	22.5	9.45	1.5	1.0	339.0	11.3	57.0
\bar{X}	19.31	9.10	1.55	1.11	341.35	12.02	54.88

Apartado (c)

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}/2}} = \frac{341.35}{\sqrt{1.55 + 1.11/2}} = 296.05(\text{meq/lt})^{1/2}$$

$$\text{PSI} = \frac{100(-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})} = 81.38 \%$$

Apartado (d)

$$\text{NM} = \frac{(81.38 - 10)}{100} 54.88 = 39.17 \text{ meq/100 grs de suelo.}$$

Apartado (e)

$$(39.17 \text{ meq})(5000 \text{ grs}) = 1958.67 \text{ meq/5 kgs de suelo.}$$

Apartado (f)

$$17400 \text{ meq} \text{ ----- } 1 \text{ kg de CaS}_5$$

$$1958.67 \text{ meq} \text{ ----- } X = 0.1125 \text{ kgs. dosis teórica.}$$

Apartado (g)

$$0.1125 \text{ kgs. (dosis teórica)} \times 1.25 \text{ (fc)}$$

$$= 0.140 \text{ kgs.}$$

fc= factos de corrección.

El diseño experimental utilizado en el procesamiento de datos fue bloques completamente al azar al facilitar el manejo de los resultados, para cada uno de los parámetros cuantitativos, así como la prueba de Scheffé para la comparación de medias, utilizada por su mayor estricticidad en el manejo de datos.

El modelo de análisis fue: $Y_{ij} = M + B_i + t_j + e_{ij}$

donde:

$$i = 1 \dots \dots \dots r = 3$$

$$j = 1 \dots \dots \dots t = 13$$

M = Efecto medio del experimento.

B = Efecto medio de bloque.

t_j = Efecto de tratamiento.

e_{ij} = Error experimental causado por las repeticiones --
(bloques) y por los tratamientos.

Diseño experimental aplicado:

Parámetro: Conductividad eléctrica mmhos/cm a 25°C					
Repeticiones(bloques)	I	II	III	Y _j	\bar{X}
Trat. muestras					
1 (3,15,9)	10.57	11.8	10.88	33.25	11.08
2 (18,23,2)	21.00	12.39	13.40	46.79	15.60
3 (10,30,11)	19.13	14.62	19.13	52.88	17.13
4 (34,5,28)	11.57	10.60	10.97	33.14	11.05
5 (16,29,32)	11.57	10.50	10.70	32.77	10.92
6 (6,13,27)	11.10	16.00	15.61	42.71	14.24
7 (35,17,7)	25.15	22.30	28.30	75.75	25.25
8 (14,21,4)	10.88	11.37	9.87	32.12	10.71
9 (31,25,26)	18.73	17.50	18.13	54.36	18.12
10 (22,20,36)	31.43	24.14	19.64	72.21	24.07
11 (1,12,8)	20.60	27.19	33.00	80.79	26.93
12 (24,19,33)	17.40	17.72	18.40	53.52	17.84
13 (testigos)	21.93	21.94	21.96	65.13	21.71
Y _{ij}	231.06	217.37	229.99	678.48	17.395

$$C = \frac{(Y \dots)^2}{r \times t} = \frac{(678.48)^2}{3 \times 13} = \frac{460335.11}{39} = 11803.46$$

$$SCB = \frac{(Bli)^2 - C}{t} = \frac{(231.06)^2 + (217.48)^2 + (229.99)^2}{13} - 11802.46 = 7.84$$

$$SCt = \frac{(t^2) C}{r} = \frac{(33.25)^2 + (46.79)^2 + \dots + (65.13)^2}{3} - 11802.46 =$$

$$.. = 1084.15$$

$$SCTotal = (Y_{ij})^2 - C = (10.57)^2 + (11.80)^2 + \dots + (21.96)^2 - 11802.46 = 1474.78$$

$$SCError = SCTotal - CCtratamientos - SCBloques =$$

$$= 1474.78 - 1084.15 - 7.84 = 383.79$$

Table	ANDEVA					
FV	G1	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	7.84	3.92	0.246	3.4	5.61
Trat.	12	1084.15	90.35	5.66 ⁺	2.18	3.03
Error	24	383.79	15.95			
Total	38	1474.78				

+ Significancia

$$CM = \frac{SC}{G1}$$

$$Fc \text{ de bloques} = \frac{CMB}{CME}$$

$$Fc \text{ de tratamientos} = \frac{CMt}{CME}$$

La comparación de medias fue realizada mediante la prueba de Schffé.

$$= (t-1)F_{,t-ln} \frac{2^2}{r}$$

Donde;

(t-1) = Número de tratamientos.

F_{,t-1} = Valor de F de tablas al 0.05, 0.01

n = Gl del error.
 2 = CM del error.
 r = repeticiones.

Así tenemos que: $(12)(2.18)$ $\frac{2(90.35)}{3} =$

DSH = 11.95

a = 26.93
 $\frac{-11.95}{14.98}$

c = 24.07
 $\frac{-11.95}{12.12}$

b = 25.25
 $\frac{-11.95}{13.30}$

d = 21.71
 $\frac{-11.95}{9.76}$

Dando lugar a la tabla de comparación de medias;

Tratamiento	valor \bar{X}	
11	26.96	a
7	25.25	a b
10	24.07	a b c
T	21.71	a b c d
9	18.12	a b c d
12	17.84	a b c d
3	17.63	a b c d
2	15.60	a b c d
6	14.24	b c d
1	11.08	d
4	11.05	d
5	10.92	d
8	10.71	d

Nota: El diseño experimental aplicado al parámetro C.E. fue aplicado a los demás parámetros, siendo omitidos los cálculos y solo se establecieron cuadros de resultados.

Parámetro: pH					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	X
Tratamientos					
1	7.21	7.16	7.12	21.49	7.16
2	7.57	7.44	7.48	22.49	7.50
3	7.46	7.44	7.62	22.52	7.51
4	7.26	7.32	7.47	22.05	7.35
5	7.08	7.16	7.18	21.42	7.12
6	7.32	7.43	7.47	22.22	7.41
7	7.60	7.57	7.43	22.60	7.53
8	7.25	7.31	7.25	21.81	7.27
9	7.52	7.49	7.55	22.56	7.52
10	7.80	7.61	7.61	23.02	7.67
11	7.49	7.45	7.80	22.74	7.58
12	7.44	7.49	7.50	22.43	7.48
13(testigo)	9.01	8.91	8.96	26.88	8.96
Yij	98.01	97.78	98.44	294.23	7.54

Tabla

ANDEVA

PV	Gl	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	0.0138	0.0069	0.885	3.4	5.61
Trat.	12	7.41	0.617	79.10 ⁺⁺	2.18	3.03
Error	24	0.186	0.0078			
Total	38	7.61				

++ Alta significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
T	8.96	a
10	7.67	b
11	7.58	b c
7	7.53	b c d
9	7.52	b c d e
3	7.51	b c d e f
2	7.50	b c d e f g
12	7.48	b c d e f g h
6	7.41	b c d e f g h i
4	7.35	c d e f g h i
8	7.27	d e f g h i
1	7.16	i
5	7.14	i

Parámetro: Capacidad de intercambio catiónico (CIC)					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{X}
Tratamientos					
1	40.05	40.85	39.36	120.26	40.09
2	40.36	41.49	40.06	121.91	40.37
3	39.40	47.25	39.99	126.64	42.21
4	42.79	41.80	47.97	132.56	44.19
5	40.62	40.39	40.48	121.89	40.63
6	41.85	42.73	48.18	132.76	44.25
7	47.19	42.04	41.06	130.29	43.43
8	44.22	42.93	44.77	131.92	43.97
9	47.96	46.86	49.86	144.68	48.23
10	40.52	46.53	47.36	134.41	44.80
11	42.53	47.54	48.39	138.46	46.15
12	45.67	42.12	46.46	134.25	44.75
13(testigo)	54.06	54.12	54.45	162.65	54.21
Yij	567.22	576.65	588.79	1732.66	44.43

Tabla

ANDEVA

FV	G1	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	17.99	8.995	1.415	3.4	5.61
Tret.	12	503.71	41.975	6.605 ⁺	2.18	3.03
Error	24	152.52	6.355			
Total	38	674.22				

+ significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento.	valor \bar{X}	
T	54.21	a
9	48.23	a b
11	46.15	b c
10	44.80	b c
12	44.75	b c
6	44.25	b c
4	44.19	b c
8	43.97	b c
7	43.43	b c
3	42.21	b c
5	40.63	c
2	40.37	c
1	40.09	c

Parámetro: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)					
Repeticiones(b)	I	II	III	Y _j	\bar{X}
Tratamientos					
1	10.0	12.14	11.59	33.73	11.24
2	32.24	18.48	22.46	73.58	24.53
3	30.83	22.40	29.12	82.35	27.45
4	14.44	10.00	11.22	35.66	11.89
5	11.72	10.26	11.03	33.01	11.00
6	14.20	24.86	23.27	62.33	20.78
7	38.04	32.88	23.35	94.27	31.42
8	9.37	13.16	9.99	32.52	10.84
9	28.59	25.43	24.91	78.93	26.31
10	41.26	32.44	31.76	105.46	35.15
11	31.77	37.83	43.07	112.67	37.56
12	22.77	27.85	23.98	74.60	24.87
13(testigo)	<u>81.53</u>	<u>82.44</u>	<u>82.27</u>	<u>246.24</u>	<u>82.08</u>
Y _{ij}	367.16	350.17	348.02	1065.35	27.32

Tabla

ANDEVA

FV	G1	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	16.91	8.455	0.430	3.4	5.61
Trat.	12	12821.37	1068.45	54.37 ⁺⁺	2.18	3.03
Error	24	471.62	19.65			
Total	38	13309.91				

++ Alta significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
T	82.08	\bar{a}
11	37.56	b
10	35.15	b c
7	31.42	b c d
3	27.45	b c d
9	26.31	b c d
12	24.87	b c d
2	24.53	b c d e
6	20.78	d e f
4	11.89	e f
1	11.24	e f
5	11.00	f
8	10.84	f

Parámetro: % de materia orgánica					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{X}
Tratamientos					
1	2.792	2.938	3.318	9.048	3.016
2	3.148	2.915	2.965	9.028	3.009
3	3.312	3.027	3.581	9.920	3.307
4	2.336	2.723	2.561	7.620	2.540
5	2.654	2.654	2.576	7.899	2.633
6	2.930	3.134	2.810	8.874	2.958
7	2.721	3.178	3.849	9.748	3.249
8	2.987	2.604	3.474	9.065	3.022
9	3.308	3.390	3.401	10.099	3.366
10	3.101	3.726	2.961	9.788	3.263
11	3.413	3.357	4.046	10.816	3.605
12	3.206	3.148	2.848	9.202	3.067
13(testigo)	<u>5.073</u>	<u>5.137</u>	<u>5.393</u>	<u>15.603</u>	<u>5.201</u>
Yij	40.996	41.931	43.783	126.710	3.249

Tabla

ANDEVA

FV	Gl	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	0.307	0.154	1.90	3.4	5.61
Trat.	12	15.35	1.279	15.79 ⁺⁺	2.18	3.03
Error	24	1.943	0.081			
Total	38	17.6				

++ Alta significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
T	5.201	a
11	3.605	b
9	3.366	b c
3	3.307	b c
10	3.263	b c
7	3.249	b c
12	3.067	b c
8	3.022	b c
1	3.016	b c
2	3.009	b c
6	2.958	b c
5	2.633	c
4	2.540	c

Parámetro: Ca ⁺⁺					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{X}
Tratamientos					
1	29.092	30.838	29.491	89.421	29.807
2	27.395	28.992	28.543	84.930	28.310
3	25.000	26.547	25.998	77.545	25.848
4	29.890	30.838	34.331	95.059	31.686
5	31.437	33.134	28.593	93.164	31.055
6	30.988	27.144	28.842	87.974	29.325
7	25.748	26.697	49.850	102.295	34.098
8	32.884	32.335	32.335	97.554	32.518
9	31.537	35.429	35.379	102.345	34.173
10	34.841	29.242	32.535	96.618	32.206
11	29.790	31.936	28.643	90.369	30.123
12	37.624	27.725	34.780	100.129	33.373
13(testigo)	1.673	1.660	1.674	5.007	1.669
Yij	367.899	363.517	390.994	1122.41	28.779

Tabla

ANDEVA

FV	Gl	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	33.529	16.765	0.867	3.4	5.61
Trat.	12	2592.55	216.045	11.229 ⁺⁺	2.18	3.03
Error	24	461.76	19.24			
Total	38	3078.84				

++ Alta significacia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
9	34.173	a
12	33.376	a b
8	32.518	a b
10	32.206	a b
4	31.686	a b
5	31.055	a b
11	30.123	a b
1	29.807	a b
6	29.325	a b
2	28.310	a b
3	25.848	a b
7	24.098	a b
T	1.669	c

Parámetro: Mg ⁺⁺					
Repeticiones(b)	I	II	III	Y _j	\bar{X}
Tratamientos					
1	23.899	25.751	26.984	76.634	25.545
2	16.001	13.492	12.340	41.833	13.944
3	15.138	15.014	17.441	47.593	15.864
4	18.346	17.935	17.647	53.928	17.976
5	26.656	21.349	21.802	69.807	23.269
6	14.561	14.389	15.385	44.343	14.781
7	16.043	19.909	49.362	85.314	28.438
8	18.757	17.894	17.317	53.968	17.989
9	12.834	13.739	15.631	42.208	14.068
10	15.549	11.065	10.426	37.040	12.346
11	12.546	15.097	14.027	41.670	13.890
12	15.055	14.891	13.534	43.480	14.490
13(testigo)	<u>0.312</u>	<u>0.303</u>	<u>0.328</u>	<u>0.943</u>	<u>0.314</u>
Y _{1j}	205.697	200.836	232.224	638.780	16.378

Tabla

ANDEVA

FV	G1	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	43.09	21.545	0.761	3.4	5.61
Trat.	12	1739.89	144.99	5.12 ⁺	2.18	3.03
Error	24	679.89	28.33			
Total	38	2462.87				

+ significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
7	28.438	a
1	25.545	a b
5	23.269	a b
8	17.989	a b
4	17.976	a b
3	15.864	a b
6	14.781	a b
12	14.493	a b
9	14.068	a b
2	13.944	a b
11	13.890	a b
10	12.346	b
T		c

Parámetro: K^+					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{X}
Tratamientos					
1	6.69	7.08	6.97	20.74	6.91
2	12.85	9.46	10.00	32.31	10.77
3	13.85	11.80	13.85	39.50	13.16
4	6.59	7.00	6.44	20.03	6.68
5	6.77	5.92	6.18	18.87	6.29
6	7.90	10.20	11.59	29.69	9.90
7	15.03	15.87	33.08	63.98	21.33
8	6.87	7.31	6.58	20.76	6.92
9	11.97	10.21	11.95	34.13	11.38
10	22.82	14.62	14.03	51.47	17.16
11	13.87	19.13	21.54	54.54	18.18
12	12.49	11.62	11.77	35.88	11.96
13(testigo)	<u>11.71</u>	<u>12.00</u>	<u>10.83</u>	<u>34.54</u>	<u>11.51</u>
Yij	149.41	142.22	164.81	456.44	11.70

Tabla

ANDEVA

FV	G1	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	20.488	10.244	0.798	3.4	5.61
Trat.	12	792.32	66.03	5.148 ⁺	2.18	3.03
Error	24	307.83	12.826			
Total	38	1120.64				

+ significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
7	21.33	a
11	18.18	a b
10	17.16	a b c
3	13.16	a b c d
12	11.96	a b c d
T	11.51	a b c d
9	11.38	a b c d
2	10.77	a b c d
6	9.90	b c d
8	6.92	c d
1	6.91	c d
4	6.68	c d
5	6.29	d

Parámetro: Na ⁺					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{X}
Tratamientos					
1	40.043	54.348	51.739	146.130	48.710
2	157.700	74.826	92.608	325.134	108.378
3	139.130	93.152	133.800	366.052	122.027
4	60.369	49.391	47.935	157.695	52.565
5	53.130	44.913	46.467	144.510	48.170
6	57.609	107.370	100.650	265.559	88.200
7	194.130	164.57	151.400	510.101	170.030
8	43.969	55.761	48.739	148.462	49.487
9	131.850	118.910	117.930	368.690	122.900
10	242.330	150.000	150.000	542.330	180.780
11	149.170	204.020	240.980	594.170	198.060
12	106.960	124.840	109.130	340.930	113.640
13(testigo)	<u>208.620</u>	<u>208.210</u>	<u>198.840</u>	<u>615.670</u>	<u>205.220</u>
Yij	1585.01	1450.310	1490.200	4525.520	116.040

Tabla ANDEVA

FV	Gl	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	736.52	368.26	0.508	3.4	5.61
Trat.	12	120854.83	10071.24	13.888 ⁺⁺	2.18	3.03
Error	24	17403.89	725.16			
Total	38	542540.58				

++ Alta significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
T	205.220	a
11	198.060	a b
10	180.780	a b c
7	170.030	a b c d
9	122.900	b c d e
3	122.027	b c d e
12	113.640	c d e
2	108.378	c d e
6	88.200	e
4	52.565	e
8	49.487	e
1	48.710	e
5	48.170	e

Parámetro: HCO_3^-					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{X}
Tratamientos					
1	1.379	1.609	2.299	5.287	1.762
2	2.299	1.954	1.839	6.092	2.031
3	2.849	2.299	4.139	9.287	3.096
4	2.759	2.069	1.839	6.667	2.222
5	1.379	1.724	1.839	4.942	1.647
6	2.414	2.299	2.184	6.897	2.299
7	1.954	2.299	2.874	7.127	2.376
8	2.299	0.689	2.069	5.057	1.686
9	1.450	1.839	2.529	5.818	1.939
10	8.508	2.299	1.839	12.650	4.215
11	1.954	2.550	1.550	6.054	2.018
12	2.184	2.299	1.839	6.322	2.107
13(testigo)	<u>30.196</u>	<u>27.603</u>	<u>30.990</u>	<u>88.750</u>	<u>29.584</u>
Yij	61.624	51.332	57.829	170.990	4.380

Tabla

ANDEVA

FV	G1	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	3.955	1.977	1.238	3.4	5.61
Trat.	12	2080.86	173.41	108.65 ⁺⁺	2.18	3.03
Error	24	38.32	1.596			
Total	38	2123.13				

⁺⁺ Alta significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
T	29.584	a
10	4.215	b
3	3.096	b
7	2.376	b
6	2.299	b
4	2.222	b
12	2.107	b
2	2.031	b
11	2.018	b
9	1.939	b
1	1.762	b
8	1.686	b
5	1.647	b

Parámetro: SO_4^-					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{x}
Tratamientos					
1	105.040	109.310	95.045	309.760	103.250
2	178.320	101.100	104.100	383.520	127.840
3	134.950	119.920	203.470	458.340	152.780
4	87.834	83.280	83.280	254.390	84.800
5	93.690	83.280	89.000	265.970	88.660
6	83.280	129.340	129.920	342.540	114.180
7	231.330	205.050	255.330	691.710	230.570
8	83.280	83.280	83.280	249.840	83.280
9	111.040	109.310	105.040	325.390	108.460
10	223.620	116.590	129.920	470.130	156.710
11	134.100	200.620	250.250	584.970	194.990
12	84.320	99.545	105.400	289.270	96.420
13(testigo)	33.110	32.580	30.990	96.680	32.230
Yij	1554.270	1473.200	1665.000	4692.480	120.320

Table

ANDEVA

FV	Gl	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	1423.77	711.89	0.739	3.4	5.61
Trat.	12	105034.16	8752.84	9.094 ⁺	2.18	3.03
Error	24	23098.61	952.44			
Total	38	129556.54				

+ significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{x}	
7	230.57	a
11	194.99	a b
10	156.71	a b c
3	152.78	a b c d
2	127.84	b c d e
6	114.18	b c d e f
9	108.46	b c d e f f
1	103.25	b c d e f f
12	96.24	c d e f f
5	88.66	c d e f f
4	84.80	c d e f f
8	83.28	c d e f f
T	32.23	f

Parámetro: Cl^-					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{X}
Tratamientos					
1	20.910	11.454	20.010	52.374	17.460
2	33.366	24.390	29.320	87.076	29.025
3	27.390	24.410	26.390	78.190	26.060
4	25.398	24.402	25.398	75.198	25.070
5	22.410	22.410	11.454	56.274	18.760
6	23.406	28.386	24.900	76.690	25.564
7	25.398	23.104	25.398	73.900	24.630
8	26.394	28.904	24.398	79.696	26.565
9	74.700	65.238	73.206	213.14	71.050
10	82.170	85.814	75.198	243.18	81.060
11	70.200	80.676	78.186	229.06	76.350
12	88.140	77.190	75.686	241.02	80.340
13(testigo)	143.41	134.900	137.240	415.55	138.520
Yij	663.29	631.280	626.780	1921.350	49.270

Tabla ANDEVA						
FV	Gl	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	60.52	30.26	4.91*	3.4	5.61
Trat.	12	48930.35	4077.53	661.19**	2.18	3.03
Error	24	148.01	6.167			
Total	38	49138.88				

** Alta significancia.

* significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
T	138.520	a
10	81.060	b
12	80.340	b c
11	76.350	b c d
9	71.050	d e
2	29.060	f
8	26.565	f g
3	26.060	f g h
6	25.564	f g h i
4	25.070	f g h i j
7	24.630	f g h i j k
5	18.760	h i j k
1	17.460	k

Parámetro: Rendimiento Ton./ha.					
Repeticiones(b)	I	II	III	Yj	\bar{X}
Tratamientos					
1	4.289	6.111	5.822	16.222	5.407
2	2.133	4.466	5.022	11.621	3.874
3	1.378	3.200	4.978	9.556	3.195
4	8.311	12.222	11.556	32.089	10.696
5	3.867	2.933	2.578	9.378	3.126
6	4.044	6.044	5.800	15.888	5.296
7	1.947	1.333	1.058	4.338	1.446
8	7.822	7.822	9.667	25.311	8.437
9	1.022	1.511	1.622	4.155	1.385
10	0.494	0.627	0.756	1.827	0.609
11	0.622	0.577	0.636	1.835	0.612
12	<u>0.369</u>	<u>0.476</u>	<u>0.267</u>	<u>1.102</u>	<u>0.367</u>
Yij	36.298	47.312	49.762	133.370	3.705

Tabla ANDEVA

FV	Gl	SC	CM	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Bloques	2	8.585	4.29	4.83 ⁺	3.44	5.72
Trat.	11	353.98	32.18	36.24 ⁺⁺	2.265	3.19
Error	22	19.45	0.888			
Total	35	382.11				

++ Alta significancia.

+ significancia.

Tabla de comparación de medias.

Tratamiento	valor \bar{X}	
4	10.696	a
8	8.437	a b
1	5.407	c
6	5.296	c d
2	3.874	c d e
3	3.190	c d e f
5	3.126	c d e f g
7	1.446	e f g h
9	1.385	e f g h
11	0.612	f g h
10	0.609	f g h
12	0.367	f g h
T ⁺	0.000	h

+ El testigo no fue utilizado durante el procesamiento de datos mediante el diseño de bloques completamente al azar, debido a que presenta datos de 0.0 y estadísticamente no es manejable -- siendo solo incluido en la última tabla de comparación de medidas, para realizar ésta.

Los resultados obtenidos mostrarán alta significancia estadística a Ft 0.05 y 0.01 para los tratamientos en las determinaciones de los parámetros; pH, PSI, materia orgánica, Ca^{++} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- y rendimiento en Ton/ha.

Se presentó significancia estadística en las determinaciones de los parámetros; C.E., CIC, Mg^{++} , K^+ y SO_4^{--} al igual se obtuvo significancia estadística entre bloques para Cl^- y rendimiento -- con respecto a Ft 0.05.

- 1.- Por lo que se refiere a los tratamientos en relación al parámetro C.E. los más eficientes fueron (8,5)seguidos de (4,1) Con respecto al testigo éste presentó una concentración media y los demás una igualdad estadística, salvo el tratamiento ll que presentó el valor mayor.
- 2.- En relación al parámetro pH los tratamientos más eficientes al presentar el menor valor fueron; (5,1)seguidos de (8,4)- el testigo presentó el más alto valor, presentando igualdad estadística los demás tratamientos.
- 3.- En relación al parámetro C.I.C. los tratamientos (1,2,5)presentan el valor más bajo, siendo el testigo el valor más alto, los demás tratamientos presentaron igualdad estadística.
- 4.- En relación al PSI los tratamientos más eficientes al presentar los valores más bajos fueron (3,5)seguidos de (1,4), los demás tratamientos presentaron igualdad estadística mientras el testigo presentó el valor mayor.
- 5.- En relación al parámetro materia orgánica, el testigo presentó el valor mayor en contenido mientras los tratamientos (4,5)- presentaron el menor valor, presentando los demás tratamientos una igualdad estadística.
- 6.- En relación al parámetro Ca^{++} ; el tratamiento (9)presentó la mayor concentración, los demás tratamientos presentaron igualdad estadística, el testigo presentó una mínima concentración.

- 7.- En relación al parámetro Mg^{++} ; el tratamiento (7) presentó la mayor concentración, mientras los demás tratamientos dieron una igualdad estadística, el testigo presentó la menor concentración.
- 8.- En relación al parámetro K^+ ; el tratamiento (7) presentó la mayor concentración seguido de los tratamientos (11, 10), mientras que los tratamientos con menor concentración fueron: (5) seguido de (4, 1, 8), el testigo presentó una concentración media.
- 9.- En relación al parámetro Na^+ ; los tratamientos más eficientes al reducir sus concentraciones fueron: (5, 1, 3, 4), el testigo presentó la mayor concentración, mientras los demás tratamientos presentaron igualdad estadística.
- 10.- En relación al parámetro HCO_3^- ; el testigo presentó la mayor concentración, mientras los tratamientos presentaron igualdad estadística, donde la menor concentración la presentaron los tratamientos (5, 8, 1, 9).
- 11.- En relación al parámetro SO_4^{--} ; el tratamiento (7) presentó la mayor concentración seguido del tratamiento (11), mientras la concentración menor fue presentada por el testigo, mientras que los tratamientos (8, 4, 5, 12) relativamente mayor a éste.
- 12.- En relación al parámetro Cl^- ; el tratamiento (1) fue el más eficiente al presentar una menor concentración seguido de los tratamientos (5, 7, 4), con respecto al testigo el cual presentó la mayor concentración los tratamientos donde se utilizó agua salina mantienen una igualdad estadística, por debajo de la concentración del testigo.
- 13.- En relación al parámetro rendimiento Tnr/ha. el mejor tratamiento fue el (4) seguido del tratamiento (8), en orden de creciente el (1, 6), los demás disminuyen su rendimiento considerablemente. Por lo que respecta al testigo éste no pre-

sento rendimiento alguno.

- 14.-En relación al parámetro $\text{CO}_3^{=}$; los tratamientos no fueron procesados estadísticamente ya que los resultados finales no demostraron la existencia de carbonatos mientras que las muestras -- testigo presentarán cierta concentración.

Nota: Los números entre parentesis representan el número de tratamiento evaluado en éste capítulo de resultados.



A D R
N I E
A S S
L C U
I U L:
S C T
I I A
S O D
N O
Y S
D E

CAPITULO **V**

Los resultados obtenidos demuestran el comportamiento variable de los diferentes tratamientos con respecto a los parámetros evaluados, así como su efecto en las propiedades físico-químicas del suelo.

Se hacen notar entre los tratamientos, el comportamiento de 4 de ellos; (1,4,5,8) los cuales mantienen ventajas sobre los demás en parámetros de suma importancia; C.E., pH, PSI, CIC, materia orgánica, K^+ , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- en los cuales mantienen valores bajos. En el parámetro; Ca^{++} mantienen un nivel medio, mientras en Mg^{++} elevan sus contenidos en comparación a los demás tratamientos. Los parámetros mencionados tienen la particularidad de que las diferencias entre ellos son mínimas, lo que los considera en igualdad estadística, en la mayoría de los parámetros.

De éstos tratamientos, el número 5 es el que presenta las condiciones químicas más favorables a la recuperación de éstos suelos, manteniendo el siguiente orden los demás tratamientos (1,8,4).

Esto hace notar que el empleo de aguas negras tratadas y no tratadas así como la aplicación de mejorador químico a inicio de la etapa de lavado permite las mejores condiciones químicas del suelo (5,1). Dejando en segundo término éste tipo de aguas con la aplicación de mejorador en dosis fraccionada (8,4).

En los demás tratamientos; (6,2,3,7) el empleo de éstas aguas les permiten condiciones medias de recuperación al suelo, siendo los mejores aquellos donde la aplicación de mejorador se llevo a cabo a los 15 días de lavado (6,2) dejando en segundo término los tratamientos con aplicación de mejorador a los 30 días de lavado (3,7).

En relación al empleo de aguas salinas, en el manejo de éstos suelos los resultados denotan condiciones pobres de recuperación, al presentar valores altos en los parámetros evaluados salvo en Mg^{++} , donde presentan valores bajos de concentración, siendo los tratamientos (12,9,10,11).

Observando los resultados ocasionados por éste tipo de aguas los mejores resultados son aquellos donde la aplicación de mejorador químico se llevó a cabo en dosis fraccionada y a un inicio de lavado(12,9), mientras los tratamientos, donde se aplico el mejorador a 15 y 30 días de lavado(10,11) ocupan un segundo lugar.

El parámetro rendimiento, fue considerado aparte debido a la importancia que tiene en el grado de recuperación del suelo; el cultivo de avena Avena sativa L. es considerado semitolerante a las condiciones salino-sódicas, por lo que mantiene cierto desarrollo en estos suelos tratados y por tanto en rendimiento.

Los resultados obtenidos nos demuestran que los tratamientos con mayor producción fueron aquellos con aguas negras tratadas y no tratadas, siendo los mejores tratamientos aquellos con dosis de mejorador fraccionada(4,8) mientras los de inicio de lavado quedan en segundo término(1) así como el tratamiento con agua negra tratada y aplicación de mejorador a los 15 días de lavado(6).

Respecto al tratamiento(5), el cual presento las condiciones químicas más adecuadas, ocupa un lugar secundario, incluso comparado con tratamientos donde la aplicación de mejorador fue después de los 15 y 30 días de lavado(6,2,3) y con condiciones mejores días de recuperación.

Considerando en última instancia los tratamientos con agua salina, los rendimientos se presentan en un orden de mayor a menor producción(9,11,10,12).

Las respuestas en la comparación de las condiciones químicas de los tratamientos y sus rendimientos, dan valores contradictorios así el tratamiento(5), el cual presenta las mejores condiciones químicas, es un tratamiento con rendimiento bajo (nivel medio), esto sucede con los demás tratamientos(1,8,4) los cuales -

poseen condiciones químicas relativamente menores que el tratamiento(5) y sus rendimientos son mayores en sentido inverso(4,8,1) dentro de éste nivel de condiciones químicas superior.

Los tratamientos con condiciones químicas medias(6,2,3,7) mantienen el mismo nivel en rendimiento exceptuando el tratamiento(6), el cual mantiene un nivel de rendimiento superior.

Los tratamientos con las condiciones químicas mínimas(12,9 10,11) manifiestan rendimientos bajos(nivel inferior) en sentido inverso a las condiciones químicas(9,11,10,12).

Esto es debido a la efectividad del tratamiento en las muestras de suelo(testigo), donde el tratamiento mejor, causa el empobrecimiento del suelo al eliminar el contenido de materia orgánica aprovechable, coloides orgánicos(el contenido de materia orgánica en estos suelos, se encuentra en forma de humatos no aprovecha -- bles por la planta) sales solubles(aniones y cationes) trayendo como consecuencia la falta de elementos nutritivos al cultivo, debilitando su desarrollo y por ende en su rendimiento, todo mediante el lavado llevado a cabo y en su interacción con la dosis de mejorador químico.

Algo importante de mencionar, es el comportamiento del testigo(T) en relación a los tratamientos evaluados. Este mantiene condiciones químicas más inadecuadas y que lo condicionan a presentar las características físicas-químicas no deseables en estos suelos, ocasionando el que no se presenta rendimiento alguno.

Los resultados obtenidos nos llevan a rechazar la primera hipótesis planteada ya que los mejores resultados se presentaron en aquellos tratamientos en los cuales la aplicación de la dosis de mejorador químico se aplicó al inicio y en forma fraccionada-anteriormente al periodo de lavado.

La segunda hipótesis es aceptada al presentarse los mejores resultados en los tratamientos donde se aplicó aguas menos -

tóxicas al suelo(negra no tratada y negra tratada)mientras que -
los tratamientos donde se aplico agua con mayor concentración de
elementos tóxicos(agua salina)a pesar de que presentaron cierta-
recuperación,retardan ésta.

----- 0 -----



C Y
O
N S
C U
L G
U E
C R
I E
O N
N C
E I
S A S

CAPITULO **VII**

- 1) El empleo de los tres tipos de aguas permitieron, mediante el lavado, cierta recuperación del suelo al proporcionar comparado con los testigos, mejores condiciones químicas, sobresaliendo los tratamientos donde se llevo a cabo la interacción con la dosis de mejorador químico aplicado al inicio de la etapa de lavado y en forma fraccionada.
- 2) Considerando las condiciones químicas del suelo, el tratamiento adecuado para la recuperación del suelo salino-sódico consiste en el empleo de aguas negras tratadas y la aplicación del mejorador químico al inicio de la etapa de lavado.
- 3) El mayor rendimiento obtenido, fue proporcionado por aquellos tratamientos donde se utilizo aguas negras no tratadas y tratadas con tiempo de aplicación de mejorador químico en forma fraccionada.
- 4) La efectividad de el tratamiento en las muestras de suelo salino-sódico causo el empobrecimiento de éste, al eliminar materia orgánica, partículas minerales y elementos iónicos (cationes y aniones).

SUGERENCIAS

- Llevar a la práctica los tratamientos óptimos recomendados (5,4,8) resultado de la investigación realizada.
- Una vez efectuados los tratamientos recomendados, en campo realizar un manejo óptimo para la aportación de nutrientes al suelo; producto de la incorporación de materia orgánica y fertilizantes, para enriquecerlo, ayudando al mejoramiento de sus propiedades físicas como químicas.
- Establecer un manejo adecuado del recurso agua mediante el lavado de éstos suelos así como la selección de cultivos y su manejo.

----- 0 -----



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

CAPITULO **VIII**

- 1.- Llerena F. Alberto, Tarín Vazquez Miguel (1978). XI Congreso Nacional de la sociedad mexicana de la ciencia del suelo. Establecimiento de pasto selado (Distichis spicata) como cubierta vegetal en los suelos extremadamente salino-sódicos del ex-lago de Texcoco. Villa Hermosa Tabasco.
- 2.- Velazquez L. Alejandro, Luna O. Pedro (1981). Programa agrícola de salinidad y drenaje, estudio desarrollado del ex-lago de -- Texcoco, SARH. Comisión Lago de Texcoco.
- 3.- SARH, Comisión lago de Texcoco, boletín informativo año 1 vol. -- 1, Abril 1985.
- 4.- D. W. Thotne, Ph.D., Técnica del riego, fertilidad y explotación de los suelos. Editorial C.E.C.S.A. México 1978.
- 5.- Camarillo G. Miguel, Tellez L. J. (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, Tesis profesional, UNAM FES-Cuautitlan. -- Cuautitlan Izcalli, Edo. de México.
- 6.- Aceves Navarro Everardo (1979). El enselitramiento en los suelos bajo riego. Colegio de Postgraduados Chapingo México.
- 7.- P. H. Duchaufour (1984). Edafología, Edafogénesis y clasificación. Masson S.A. Barcelona España.
- 8.- SARH, El yaqui agrícola, boletín informativo No. 44 año 14. Ventajas de la inclusión del trigo durante la recuperación de -- suelos afectados por sales. C.D. Obregon Sonora México 1977.
- 9.- FAO-UNESCO Hutchinson 1973. Irrigation, drainage and salinity 510 p.
- 10.- Pizarro, Fernando (1978). Drenaje agrícola y recuperación de -- suelos salinos. Ed. Agrícola Española S.A. Madrid España.
- 11.- Personal del laboratorio de salinidad de los E.U.A., Diagnóstico y rehabilitación de los suelos salino-sódicos. Ed. Limusa México 1982.

- 12.- Martínez E. Americano, Caracterización de la afectación salina de los suelos del ex-lago de Texcoco. Depto. Salinidad y drenaje. Reporte No. 2, SARH, Comisión Lago de Texcoco, programa agrícola.
- 13.- Palacios V.O. y Aceves Navarro E. (1970) Instructivo para el muestreo y registro de datos e interpretación de la calidad del agua para el riego agrícola. E.N.A. C.P. serie de apuntes No. 15 Chapingo México. 49 pag.
- 14.- Aguirre A. G. (1989) Apuntes para el curso de Química de suelos salinos y sódicos. Departamento de ciencias químicas. - FES-Cuautitlan Edo. de México.
- 15.- Ortiz Olguin Miguel (1986), El muestreo de suelos salino-sódicos. UACH Depto. de suelos. Chapingo México.
- 16.- F.D. Hole, R.J. McCracken, S.W. Buol (1983). Genesis y clasificación de suelos. 1^a edición en español, Ed. Trillas, D.F.- México. 417 pag.
- 17.- Robles S.R. y C.H. Merlo (1978). Cultivo de la avena. En R.S. Robles, Producción de granos y forrajes. Segunda edición -- Ed. Limusa México.
- 18.- Bernstein L.; Francois, L.E.; Clark R.A. (1974). Interactive -- effects of salinity and fertility on yields of grains and -- vegetables. Agron Journal Vol. 58; pp 489-493 and 503-507.
- 19.- Kelley W.P. (1951). Alkali soils rein hold Publishing Corporation New York, 155 p.
- 20.- Eaton Frank M.G.W. Mclean, G.S. Bredell and H.E. Doner (1968) Significance of silica in the last of magnesium from irrigación water soil science vol 105 No. 4 p. 260-280.
- 21.- National Plant Food Institute, Manual de fertilizantes. Editorial Limusa México 1986.
- 22.- B.A. Yágodin, Agroquímica I, Editorial Mir Moscú 1986.
- 23.- Manual para educación agropecuaria, Area suelos y agua, No. 34

suelos y fertilización. Editorial Trillas México 1982.

- 24.- Tirado y Oliva, J.F. y Echeagaray A. (1969) Estudio biológico de algunos suelos del lago de Texcoco. Revista Iat-Amer Microbrial 12 Pag.93-101.
- 25.- Lipman, C.B.(1914) Toxic, effects of alkali salts in soils on soil bacterie. Bot Gaz vol. 84 No. 2 pag.105; vol. 49 No. 1 - pag. 41; vol. 49 No. 3 pag. 207.
- 26.- Rupela O.P. and P. Tauro(1973) Isolation and characteriza -
tión of Thiobacillus from alkali soils. Soil Biol. Biochem-
Vol. 5 pp 891-897.
- 27.- Guerrero M.E.(1961) Efectos de las bacterias Thiobacillus, -
Thioparus y Thioxidans en suelos del lago de Texcoco. Tesis
profesional UNAM, México D.F.
- 28.- Aceves N.E., L.H.Stolzy and G.R. Mehuys (1975). Effects of -
soil osmotic potential produced with two salt species on --
plant-water potential, growth and grain yield of wheat. Plant
and soil.
- 29.- Richards, L.A.(1959). Availability of water crops on saline-
soils. Agriculture information. Bulletin No. 210 Agricultu-
ral Research Service. United States Departament of agricul-
ture. 10 pag.
- 30.- Bernstein Lepn.(1961). Osmotic adjustment of plant to saline
media, I. Steady State American Journal of Botany. Vol. 48-
No. 10 Pp 909-918.
- 31.- Rodríguez H.A. y Aceves N.E.(1977). Causas de la reducción-
del crecimiento del trigo bajo condiciones de salinidad. A-
grociencias C.P. Chapingo México. En prensa.
- 32.- Espinosa, M.H. y Aceves, N.E.(1979). Reversibilidad de los da-
ños producidos por la salinidad en plantas de jitomate. A -
grociencia C.P. Chapingo México.
- 33.- Serrano Perez M.R.(1985). Evaluación de un sistema de dreña.

- je subterráneo en suelos del ex-lago de Texcoco, SARH, Comisión Lago de Texcoco.
- 34.- G.J. Hoffman, F.V. Mass. Tolerancia de los cultivos a las sales, evaluación de los datos exigentes. Boletín técnico No.-9. UACH Depto. de irrigación. Chapingo México.
 - 35.- SARH, Operación de distritos de riego, curso a nivel técnico-superior. Tomo II. Cuarta edición México 1978.
 - 36.- I.P. Aidarov, A.I. Golovanov, M.G. Mamaev. El riego, ed Mir -- Moscú 1985.
 - 37.- Bower C.A., L.V. Wilcox, G.W. Akin and P Mary G. Keyes (1965). An index of the tendency of CaCO_3 to precipitate from irrigation waters. 555 Ap Vol 29 No. 1 P. 91-92.
 - 38.- Chang, C.A. and A.L. Page. (1977). Trace elements in waste water. California agricultur. Vol 31 pp 32-33.
 - 39.- Moctezuma H. Maricela. Uso de los mejoradores en la recuperación de los suelos salinos y sódicos. México 1987. Pag -- 152. Tesis Ingeniería agrícola. UNAM, FES-Cuautitlan. Cuautitlan Izcalli, Edo. de México.
 - 40.- Boyko, Hugo (1966). Salinity and aridity new approaches to -- old problems. Junk Publishers.
 - 41.- C.E. Millar; L.M. Turk; H.D. Foth (1985). Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. C.E.C.S.A. México D.F.
 - 42.- Anguiano L.J., Becerra M.A., Leyva S.R., Velazquez I.A. (1984). Evaluación de la metodología de diluciones sucesivas de aguas freáticas y aguas negras en los suelos salino-sódicos del ex-lago de Texcoco. Reporte interno. Comisión Lago de -- Texcoco, SARH.
 - 43.- Thomas, E.E. (1963). Reclamation black-alkali soils with various kinds of sulfur. Hilgardia Vol. 10 No. 5 pp 127-142.
 - 44.- Starkey, R.L. (1966). Oxidation and reduction of sulfur compounds in soils. Soil Science. 101(4): Pag. 297-307.
 - 45.- Becerra M.A., Evaluación del efecto recuperativo de los mejo

- radores del suelo; Biofer y azufre en un suelo salino-sódico del ex-lago de Texcoco. SARH-Comisión Lago de Texcoco.
- 46.- SARH, Instituto Nacional de investigaciones agrícolas (INIA), Ciclo de cultivos, diagrama de las principales especies vegetales en México. Depto. de difusión técnica 1982.
- 47.- Coffman, A.F. (1961) oats; an oat improvement. American Society of agronomy Madison, Wisconsin E.U.A.
- 48.- Medina Montes Saul. Dosis de eficiencia de la fertilización en avena forrajera Avena sativa L. var. Chihuahua. FES-Cuauhtitlan UNAM. Edo. de México.
- 49.- Wilsie P.C. (1966). Cultivos; aclimatación y distribución. Ed. Acribia. Zaragoza España.
- 50.- Reeves D.L. y S.H. Sraon (1976). How an oat plant develops. Bolletín 643 Agricultural experiments station. South Dakota State University. Dakota del Sur E.U.A.
- 51.- Martínez E.A. (1981). Efecto de diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra en avena. Tesis profesional - UACH, Chapingo México.
- 52.- Chapman S. y L. Carter (1976). Crop production, Editorial WH. Freeman y Co. San Francisco California. E.U.A.
- 53.- Díaz del Pino A. (1953). Cereales de primavera. Primera edición, Editorial Salvat. Barcelona España.
- 54.- Elizondo G.F. (1976). Efecto y evaluación económica de la época de cosecha y fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad forrajera de una variedad de avena. Tesis profesional, I.T.E.S.M. Monterrey México.
- 55.- Shery W.R. (1972). Plants forman, segunda edición, Editorial - Prentice Hall Englewood Cliffs New Jersey E.U.A.
- 56.- Clerici M.E. (1972). Determinación de la función-producción para forraje en avena. Tesis profesional I.T.E.S.M. Monterrey México.

- 57.- Aguilar, C.M. y E. Martinez(1980). Relaciones Agua-suelo- --
planta-atmosfera. Segunda edición, Editorial UACH, Chapingo --
México.
- 58.- Fernandez Gonzales Ramón(1983). El agua en el sistema suelo-
planta-atmosfera(apuntes del curso). C.P. Centro de Hidró- --
ciencias. Chapingo México.



A
P
E
N
D
I
C
E

Cuadro 30: Resultados promedio de las muestras de suelo utilizadas como testigos en el diseño experimental de bloques completamente al azar en cada una de sus repeticiones.

Parámetros	Repeticiones		
	I	II	III
Conductividad eléctrica (mmhos/cm a 25°C)	21.93	21.24	21.96
pH	9.05	8.91	8.96
Capacidad de intercambio catiónico.	54.06	54.12	54.45
Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	81.53	82.44	82.27
Materia orgánica.	5.073	5.137	5.393
Ca ⁺⁺ (miliequivalentes/lt.)	1.673	1.660	1.674
Mg ⁺⁺ (miliequivalentes/lt.)	0.312	0.303	0.328
K ⁺ (miliequivalentes/lt.)	11.710	12.000	10.830
Na ⁺ (miliequivalentes/lt.)	208.62	208.21	198.84
HCO ₃ ⁻ (miliequivalentes/lt.)	30.196	27.603	30.990
CO ₃ ⁼ (miliequivalentes/lt.)	13.523	19.293	11.463
Cl ⁻ (miliequivalentes/lt.)	143.410	134.90	137.24
SO ₄ ⁼ (miliequivalentes/lt.)	33.11	32.58	30.99
Rendimiento Ton/ha.	0.0	0.0	0.0

Cuadro 31: Cantidad de agua aplicada durante la etapa de lavado a las distintas muestras de suelo de los diferentes tratamientos, mostrándose una amplia diversidad en la cantidad de agua aplicada.

Repeticiones	I	II	III
Trat. muestras			
1 (3,15,9)	32.172	33.521	35.156
2 (18,23,2)	16.992	21.523	20.164
3 (10,30,11)	17.898	19.031	16.766
4 (34,5,28)	30.813	32.625	31.719
5 (16,29,32)	33.984	32.172	32.625
6 (6,13,27)	23.789	22.883	16.539
7 (35,17,7)	21.297	18.252	18.352
8 (14,21,4)	31.266	32.172	31.266
9 (31,25,26)	32.625	32.625	33.078
10 (22,20,36)	18.352	29.453	22.656
11 (1,12,8)	28.773	20.844	17.672
12 (24,19,33)	33.109	32.625	33.078

Cantidades consideradas en litros/meceta.

Cuadro 32: Datos de C.E. mmhos/cm a 25°C, proporcionados semanalmente en C.L.(Centro del Lago)Comi --
ción de aguas proyecto Lago de Texcoco.

Etapa de lavado del suelo.			
Muestras	1	2	3
Medidas			
1	1.75	1.40	4.25
2	1.91	1.40	4.06
3	1.87	1.73	4.47
4	1.74	1.62	4.28
5	1.82	1.47	4.25
6	1.84	1.57	4.37
7	2.03	1.50	4.36
8	2.34	1.65	4.45
9	1.72	1.62	4.54
Etapa de esta blecimiento del cultivo.			
1	1.30	1.20	4.62
2	1.33	1.31	2.85
3	1.57	1.40	2.57
4	1.30	1.57	2.54
5	1.74	1.45	2.70
6	1.72	1.34	2.63
7	1.93	1.48	3.48

Muestras 1.- Canal Texcoco norte (agua negra no tratada).
2.- Planta de tratamiento (agua negra tratada).
3.- Lago Dr. Nabor Cerrillo (agua salina).

Cuadro 33: Resultados de muestras de aguas analizadas, proporcionados por el Laboratorio en San Juan de - Aragón, Comisión de aguas, proyecto Lago de Texcoco.

Determinaciones	1 ^o análisis			2 ^o análisis		
	1	2	3	1	2	3
pH	8.78	8.06	10.08	7.49	7.94	9.46
C.E. mmhos/cm 18°C	2458	1739	4083	1361	1537	2722
Fenolftaleina	22.66	0.0	327.35	0.0	0.0	120.74
Carbonatos	45.32	0.0	654.70	0.0	0.0	241.48
Total +	757.97	554.03	1018.74	431.74	205.15	741.54
Bicarbonatos	712.65	554.03	364.04	431.67	205.15	500.06
Total ++	818.331	990.779	823.161	173.586	186.947	144.895
Calcio	111.625	97.641	64.892	95.892	99.888	89.399
Magnesio	706.706	893.138	758.734	77.694	87.059	55.496
Cloruros	408.78	222.22	817.57	156.53	194.75	515.67
Sulfatos	78.222	83.556	204.44	85.454	97.727	177.631
Sodio	631.5	420.50	1332.0	261.4	374.5	768.0
Potasio	72.0	44.0	131.0	38.7	53.1	97.0
Boro	1.997	1.648	4.095	0.973	1.434	2.218
Plomo	0.000144	0.0030	0.00362	0.0	0.0	0.0
Cobre	0.0	0.02	0.0	0.03	0.13	0.02
Cromo	0.04	0.06	0.04	0.0	0.0	0.0
Fierro	0.150	0.150	0.170	0.44	0.33	0.38
Zinc	0.028	0.002	0.0	0.106	0.137	0.0
Manganeso	0.01	0.04	0.01	0.11	0.01	0.05

- Muestras: 1.- Canal Texcoco norte. Agua negra no tratada.
 2.- Planta de tratamiento 2^o aeresador Agua negra t.
 3.- Lago Dr. Nabor Cerrillo Agua salina.

+ Suma de Fenolftaleina, carbonatos y bicarbonatos (alcalinidad).
 ++ Suma de calcio y magnesio (dureza CaCO_3).

Cuadro 34: Resultados sobre análisis bromatológico del cultivo de avena Avena sativa L. var. Chihuahua, - proporcionados por el laboratorio de la Comisión nacional del agua, proyecto ex-lago de Texcoco.

Tipo de muestra	I	II	III
% de materia seca total	93.182	92.331	91.841
% de humedad total	6.818	7.669	8.159
% de Nitrogeno	2.82	2.76	0.583
% de proteina cruda	17.612	17.264	3.644
% de extracto etéreo	0.8	1.3	0.426
% de fibra cruda	29.088	28.666	26.987
% de cenizas	37.5	21.4	19.8
% de E.L.N.	15.00	31.370	49.143
% de Manganezo	0.001499	0.01087	0.00759
% de Niquel	0.001109	0.00093	0.000934
% de Cromo	0.000664	0.000277	0.000534
% de Selenio	0.0	0.0	0.0
% de Plomo	0.000015	0.000021	0.0000003
% de Zinc	0.001267	0.000698	0.00123
% de Aluminio	0.3663	0.1553	0.11767
% de Magnesio	1.2008	0.7016	0.3381
% de Calcio	1.4776	0.3944	0.7734
% de Fierro	0.2024	0.0880	0.0554
% de Sodio	2.3935	1.9663	3.5408
% de Bario	0.0022	0.000499	0.0
% de Cloruros	0.00186	0.001995	0.002189
% de Potasio	2.3353	1.9524	1.2623

Cuadro 35: Resultados sobre texturas proporcionados por los Laboratorios de San Juan de Aragón, perteneciente a la Comisión Nacional del Agua, proyecto ex-lago de Texcoco.

Muestra	Textura	1 ^{er} análisis (Testigos)		
		%	Arena	Arcilla
1)	F A A	66.228	22.152	11.520
2)	F A	73.992	13.432	12.576
3)	F A	76.712	13.432	9.856
4)	F A	76.28	11.432	12.288
5)	F A A	68.568	21.872	9.560
6)	F A	76.352	11.792	11.856
7)	F A	76.928	13.152	9.920
8)	F A	78.928	13.152	7.920
9)	F A A	67.208	20.872	11.920
10)	F A	76.746	13.152	10.102
11)	F A	76.432	14.14	9.428
12)	F A	76.568	13.872	9.560
13)	F A A	65.488	21.592	12.920
14)	F A A	68.712	20.592	10.696
15)	F A	74.928	14.872	10.200
16)	F A	74.568	15.592	9.840
17)	F A A	68.563	21.592	9.840
18)	F A	74.712	13.592	11.696
19)	F A	70.568	15.592	13.840
20)	F A	70.208	15.592	14.200
21)	F A A	64.848	22.152	13.000
22)	F A	73.712	14.000	12.288
23)	F A	69.280	15.432	15.288
24)	F A	70.712	15.072	14.216
25)	F A A	65.120	24.872	10.000
26)	F A	72.712	14.152	13.136
27)	F A	74.568	17.152	8.280
28)	F A	74.568	15.152	10.280
29)	F A A	63.848	24.872	11.280
30)	F A	72.928	14.152	13.568
31)	F A	74.566	16.152	9.282
32)	F A	74.928	16.152	8.920
33)	F A A	65.128	25.592	9.280
34)	F A	68.568	14.872	16.560
35)	F A	68.568	18.872	12.560
36)	F A	70.208	17.872	11.920

Muestra	Textura	2º análisis(evaluación)		
	%	Areña	Arcilla	Limo
1)	F A	67.848	18.312	13.84
2)	F A	66.208	15.952	17.84
3)	F A	70.208	13.592	16.20
4)	F A	73.848	13.952	12.20
5)	F A	75.848	14.312	9.84
6)	F A	67.488	15.952	15.56
7)	F A	67.208	16.592	17.20
8)	F A	72.848	17.312	9.84
9)	F A	65.128	11.952	22.92
10)	F A	71.128	17.952	10.92
11)	F A	66.488	18.952	14.56
12)	F A	65.488	19.932	14.56
13)	F A	70.468	17.392	12.20
14)	F A	66.768	17.032	16.20
15)	F A	67.128	14.672	18.20
16)	F A	67.768	14.032	18.20
17)	F A	71.488	12.392	16.12
18)	F A	73.128	13.032	13.84
19)	F A	71.128	13.032	15.84
20)	F A	71.128	13.032	15.84
21)	F A	71.768	13.312	14.92
22)	F A A	65.128	22.672	12.20
23)	F A	66.768	16.672	16.56
24)	F A	64.768	18.032	17.20
25)	F A A	64.688	21.752	13.56
26)	F A A	66.408	21.392	12.20
27)	F A	66.408	15.392	18.20
28)	F A	64.408	17.392	18.20
29)	F A	71.328	17.192	11.48
30)	F A	65.328	17.752	16.92
31)	F A	72.328	16.472	11.20
32)	F A	72.328	14.832	12.84
33)	F A	71.688	16.832	11.48
34)	F A	69.688	16.472	13.84
35)	F A	63.688	19.112	17.20
36)	F A	69.688	17.472	12.84

Simbología: F A; Textura Franco arenoso.

F A A; Textura Franco Arcilloso arenoso.

La razón de vivir;
consiste en dar siempre.

Porque el dar, te dara
satisfacción total de realización,
y una alegría plena de ser útil.

Da a la tierra, los cuidados que requiere,
dale la semilla, a la que protegera y abrigara,
dale el agua para saciar su sed,
dale el abono para que se alimente y rejuvenesca,
dale trabajo y paciencia, y obtendrás
el fruto, esencia de la vida.

Da a manos llenas,
lo poco que tengas.

Al amigo, una limpia amistad.
Al pobre, una moneda.
Al hambriento, el que comer.
Al desnudo, el vestir y cobijo.
Al caído, un apoyo para que levante.
Al que llora, el consuelo a su pena.
Al abandonado, la compañía que necesita.
Al triste, la alegría que requiere.
Al enfermo, la esperanza de la salud.
Al amargado, la jovialidad de una sonrisa.
Al frustrado, el anhelo de triunfo.
Al ciego de soberbia, la sencillez de una mirada.
Al que ha partido, el conservarlo en la memoria.
Al niño, un mundo de felicidad,
A tus padres e hijos, la tranquilidad en la vida.

Y a ti, la oportunidad de dar a los demás.

Porque esto es amor,
y al que ha amado tanto
se le dara a menos llenas y con alegría,
lo poco que tengan los demás.

Ismael.