

UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



EVALUACION DE LOS PROBLEMAS DE SALINIDAD Y SUS SUGERENCIAS DE SOLUCION DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE EL-EJIDO CATARINO RODRIGUEZ Y EL C.B.T.A. N° 48 DE ---GALEANA, N. L.

SEMINARIO DE TESIS  
( OPCION 11-A )

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA

ENRIQUE CASTILLO TOVAR

T  
S59  
C3  
C.1

FEBRERO DE 1986

T  
S595  
C3  
C. 1





1080061194

UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



EVALUACION DE LOS PROBLEMAS DE SALINIDAD Y SUS SUGERENCIAS DE SOLUCION DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE EL-EJIDO CATARINO RODRIGUEZ Y EL C.B.T.A. N° 48 DE ---GALEANA, N. L.

SEMINARIO DE TESIS  
( OPCION 11-A )

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA

ENRIQUE CASTILLO TOVAR

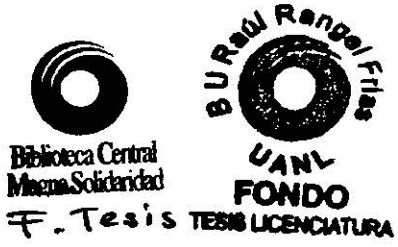
MARIN, N. L.

05897

FEBRERO DE 1986



T  
5595  
C3



040.631  
FA1  
1986  
C5

A la memoria de mi madre:

Sra. Consuelo Yolanda Tovar R.

La que, con su gran presencia  
de ánimo y sus sabios consejos  
me estimuló y apoyó con gran amor  
mostrandome el camino para llegar a ser.

A mi padre:

Sr. Enrique Castillo Chavarria

Porque más que padre

Ha sido mi mejor amigo

Compañero y sobre todo

Un digno ejemplo a seguir.



A mi esposa e hijos:

Ligia Saavedra de Castillo

Enrique Castillo Saavedra

Eliud Castillo Saavedra

Por la hermosa familia que integramos  
colmada de amor y mutua comprensión.

A mis hermanos:

David Alberto Castillo T,

Antonio Castillo T.

Diana Elizabeth Castillo T.

Debora A. Castillo T.

Deyanira Iliana Castillo T.

A mi cuñada:

María de la Luz Garza de Castillo  
por su inestimable ayuda.

### AGRADECIMIENTOS

- A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por haber dado albergue a mis inquietudes y satisfecho mis anhelos de superación, con ese excelente grupo de Profesionistas, que integran su cuerpo docente.
  
- A mi asesor, ph D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado que es una de las principales personas que, con sus enseñanzas, orientación y atinados consejos, hizo posible la realización del presente trabajo.



I N D I C E

	PAGINA
I. INTRODUCCION . . . . .	1
II. LITERATURA REVISADA . . . . .	3
1. La Descripción de fuentes de las sales solu- bles . . . . .	3
2. La salinización de los suelos . . . . .	7
3. La alcalinización ó acumulación de sodio in- tercambiable en los suelos . . . . .	12
4. Descripción de la acción específica de los - iones cuyos efectos se dejan sentir en forma más frecuente en lo que respecta a problemas de salinidad del suelo . . . . .	14
5. Principales parámetros que definen el grado de salinidad de un suelo . . . . .	16
6. Diferentes procesos y técnicas utilizadas pa ra la recuperación de suelos con problemas - de sales . . . . .	20
III. MATERIALES Y METODOS . . . . .	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES . . . . .	58
V. CONCLUSIONES . . . . .	68
VI. SUGERENCIAS . . . . .	69
VII. RESUMEN . . . . .	70
VIII. BIBLIOGRAFIA . . . . .	71

LISTA DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1. RESULTADOS DE UNA MEJORA REALIZADA EN FRESNO, U.S.A., CON YESO COMBINADO CON LAVADOS - - - - -	29
2. RESULTADOS DE LA MEJORA DE SUELOS SODICOS CON CLORURO CALCICO - - - - -	30
3. COMPARACION DE RESULTADOS DE MEJORAS REALIZADAS CON CLORURO CALCICO Y YESO - - - - -	31
4. RESULTADOS DE UNA MEJORA CON AZUFRE - - -	32
5. RESULTADOS DE UNA MEJORA CON ACIDO SULFURICO - - - - -	35
6. COMPOSICION QUIMICA MEDIA DE LA CALI <u>ZA</u> AGRICOLA - - - - -	36
7. SOLUBILIDAD DEL $CaCO_3$ A DIFERENTES VALO <u>RES</u> DE pH - - - - -	37
8. VALORES PARA DIFERENTES CONTENIDOS DE CLORUROS Y TIPOS DE SUELOS - - - - -	44
9. ECUACIONES PARA CALCULAR EL RENDIMIENTO RELATIVO ESPERADO DE DIFERENTES CULTIVOS DESARROLLADOS BAJO CONDICIONES DE SALINI <u>DAD</u> - - - - -	47
10. CONCENTRACION DE DATOS DE CAMPO PARA LA ZONA DE INFLUENCIA DE EL EJIDO CATARINO	



	PAGINA
RODRIGUEZ Y EL C.B.T.a No. 48 - - - - -	60
11. CONCENTRACION DE DATOS ANALITICOS DE LAS MUESTRAS PARA LA ZONA DE INFLUEN- CIA DE EL EJIDO CATARINO RODRIGUEZ Y . EL C.B.T.a No. 48 - - - - -	61

LISTA DE FIGURAS

FIGURA.

1. CARTA GEOLOGICA DE LA ZONA DE INFLUEN- CIA DE EL EJIDO CATARINO RODRIGUEZ Y EL C.B.T.a No. 48 - - - - -	62
2. CARTA EDAFOLOGICA DE LA ZONA DE IN- FLUENCIA DE EL EJIDO CATARINO RODRIGUEZ Y EL C.B.T.a No. 48 - - - - -	64

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

La Región Agrícola de el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 48 y de el Ejido Catarino Rodríguez, Municipio de Galeana N.L., tienen fundamentalmente por su altitud (1850 metros sobre el nivel del mar) un clima frío.

Las heladas tempranas se presentan desde principios de Octubre hasta finales de Abril y excepcionalmente en Mayo lo que trae como consecuencia una limitación en los cultivos de verano, aún cuando prosperan bien en esta región los cultivos de Invierno.

El clima además de frío es seco, por lo cuál son limitadas las plagas y enfermedades, a excepción hecha de las que toleran estas condiciones climatológicas.

El suelo en esta región es de reacción alcalina propia de los suelos normales y salinos, de las zonas áridas, las cuáles están determinadas por el clima prevaleciente, esto es, escasa precipitación pluvial (400 mm. anuales) alto grado de insolación y un alto índice de evaporación.

Se observa también en esta región una condición física que podría denominarse correlación entre las áreas salinas y la profundidad de sus suelos; queriendo significar con esto en forma específica que a mayor profundidad del sue

lo, se puede apreciar una disminución paulatina en las cantidades relativas de sales solubles.

En lo referente a el origen geológico del suelo en la región de estudio, tenemos que la cartografía del - - - I.N.E.G.I., nos reporta la presencia de Rocas Sedimentarias en sus modalidades de caliza (cz) y lutita (lu), esta última muy excepcionalmente. En el aspecto de suelos, se aprecia que el tipo dominante en la zona de estudio, es el de Aluvi<sup>o</sup>n (Al) y el lacustre (la), este último, es indicativo de que en tiempos pasados, existió en esa zona, un lago y actualmente se aprecia en el mapa la presencia de agua intermitente.

A partir del año de 1985 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, inició un Programa de Electrificación de Pozos Profundos tanto en el ejido como en otros circunvecinos, para lo cuál primeramente se están aforando los mismos, para determinar, cuanto ha variado su gasto original.

En la totalidad de las 13,000 Has., que comprende el Ejido Catarino Rodríguez se localizan 40 pozos profundos en producción, y por lo que toca a la zona de estudio del - presente trabajo, la misma abarca un total de 28 pozos profundos que en promedio tienen un gasto de 60 litros por segundo y 8" de diámetro en la descarga.

Como los terrenos no tienen pendientes considerables y por otra parte, la precipitación pluvial es baja, se observa en la región la influencia del fenómeno de eolización que en forma parcial, contribuyen a la reducción conspícua pero persistente de la capa arable de estos suelos, a excepción de los terrenos en los que se toma la precaución de dejar los residuos de la última cosecha ó en aquellos en donde se deja crecer la maleza.

La finalidad del presente trabajo es enfocar y analizar los datos recopilados sobre la problemática que constituye la salinidad del suelo en el Sur del Estado de Nuevo León, concretamente en el Ejido Catarino Rodríguez y el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 48, el cual se ha ido agudizando por diversas causas.

## LITERATURA REVISADA

En la revisión de literatura del presente trabajo se ha considerado lo siguiente:

- 1.- La descripción de fuentes de las sales solubles.
- 2.- La Salinización de los suelos.
- 3.- La Alcalinización ó acumulación de Sodio intercambiable en los suelos.
- 4.- Descripción de la acción específica de los iones cuyos efectos se dejan sentir en forma más frecuente en lo - que respecta a problemas de salinidad de suelo.
- 5.- Principales parametros que definen el grado de salinidad de un suelo.
- 6.- Diferentes procesos y técnicas utilizadas para la recuperación de suelos con problemas de sales.

### 1.- DESCRIPCION DE FUENTES DE SALES SOLUBLES.-

Las sales solubles del suelo consisten principalmente en varias proporciones de los cationes de sodio, calcio y magnesio, y de los aniones cloruro y sulfato; el cation potasio y los aniones bicarbonato, carbonato y nitrato se encuentran generalmente en cantidades menores.

La fuente original y en cierto modo la más directa de la cuál provienen las sales antes mencionadas, son los - minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las



rocas expuestas de la corteza terrestre.

Clarke (1924), ha estimado que el contenido medio de cloro y azufre de la corteza terrestre es de 0.05 y 0.06 % respectivamente, mientras que el Na, Ca y Mg casi se encuentran a razón del 2 al 3 %.

Durante el proceso de intemperización química que comprende hidrolisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación estos constituyentes gradualmente son liberados adquiriendo mayor solubilidad. (19)

Los iones bicarbonato se forman como consecuencia de la solución  $\text{CO}_2$  en agua. El  $\text{CO}_2$  puede ser de origen atmosférico ó biológico y el agua que contiene  $\text{CO}_2$  es un activo agente químico intemperizante que libera cantidades apreciables de cationes en forma de bicarbonato.

Los iones carbonato y bicarbonato están relacionados entre sí, y la cantidad que hay de cada uno es una función del pH de la solución.

Mayores cantidades de iones carbonato, solo pueden presentarse para valores de pH de 9.5 ó más altos.

Debido a la marcada toxicidad del Boro para las plantas, merece mencionarse aún cuando se encuentren en bajas concentraciones (Eaton y Wilcox 1939).

Su fuente principal es la turmalina, mineral muy distribuido, pero que forma parte mínima de las rocas primarias. (19).

Aunque la intemperización de los minerales primarios es la fuente indirecta de casi todas las sales solubles hay pocos ejemplos en los que se haya acumulado suficiente cantidad de sal de este origen para formar un suelo salino.

Los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas que reciben sales de otras localidades, siendo el agua el principal factor de acarreo.

El océano puede ser la fuente de sales en aquellos suelos en los que el material original está constituido por depósitos marinos que se asentaron durante períodos geológicos antiguos y que a partir de entonces han emergido.

Los esquistos pizarrosos de Mancos, en el Estado de Colorado, en Wyoming y Utah, así como la Laguna de Mayrán, en Coahuila, México, son ejemplos típicos de depósitos salinos de origen marino.

El océano es también la fuente de sales en los suelos bajos que se encuentran a lo largo de las costas.

A veces la sal se mueve tierra adentro a consecuencia del transporte por la brisa, denominándosele sal ciclífica (Teakle 1937).

Sin embargo, es más común que la fuente directa de éstas sales sean las aguas superficiales y también las subterráneas, ya que las contienen disueltas y su concentración depende del contenido salino del suelo y de los materiales geológicos que han estado en contacto con estas aguas.

Las aguas actúan como fuente de sales cuando se usan para riego y pueden también agregar sales al suelo para condiciones naturales, cuando inundan las tierras bajas ó cuando el agua subterránea (Manto freático) sube hasta muy cerca de la superficie. (16)

El agua de las corrientes subterráneas en las regiones áridas contienen, generalmente, cantidades considerables de sales solubles.

Si el nivel freático es alto, se mueven por capilaridad mayores cantidades de agua hacia la superficie y son evaporadas dejando una acumulación de sales solubles que irán incrementándose.

A través de este proceso, las partes superficiales del suelo se volverán en extremo impregnadas con sales, de modo que sólo crecerán en él plantas tolerantes.

El grado de acumulación de las sales puede ser determinado por:

- 1.- El grado de movimiento capilar del agua hacia la superficie.
- 2.- El contenido de sales del agua subterránea.
- 3.- La velocidad de evaporación.

Mientras más cercano esté el nivel freático a la superficie más rápido será la acumulación de sales, si otros factores permanecen constantes.

## 2.- LA SALINIZACION DE LOS SUELOS.-

Los suelos salinos se encuentran principalmente en zonas de clima árido y semiárido.

En condiciones húmedas, las sales solubles originalmente presentes en los materiales de suelos y las formadas por la intemperización de minerales, generalmente son llevadas a las capas inferiores, hacia el agua subterránea y finalmente transportadas a los océanos.

Por lo tanto, los suelos salinos de hecho no existen, en las regiones húmedas, excepto cuando el suelo ha estado expuesto al agua del mar en los deltas de los ríos y otras tierras bajas cercanas al mar. (3)

En las regiones áridas el lavado es de naturaleza local y las sales solubles no pueden ser transportadas muy lejos.

Esto ocurre no solamente porque hay menos precipitación adecuada para lavar y transportar las sales, sino -- también a consecuencia de la elevada evaporación característica del clima árido, que tiende a concentrar las sales en los suelos y en el agua superficial.

El drenaje restringido es un factor que frecuentemente contribuye a la salinización de los suelos y que puede llevar consigo la presencia de una capa freática poco profunda ó una baja permeabilidad del suelo.

La capa freática poco profunda casi siempre guarda estrecha relación con la Topografía del terreno.

Debido a la baja precipitación en las regiones áridas, las corrientes del drenaje superficiales están poco desarrolladas y, en consecuencia, existen depresiones sin drenaje por no tener salida a corrientes permanentes.

El drenaje de las aguas con sales de las tierras arriba de la depresión, puede elevar el nivel de la capa freática hasta la superficie en las tierras bajas, causar un flujo temporal o formar lagos salados permanentes.

Bajo tales condiciones, el movimiento ascendente del agua subterránea ó la evaporación del agua superficial da origen a la formación de suelos salinos.



La magnitud de las áreas salinas así formadas varía desde unas cuantas hectáreas hasta cientos de kilómetros cuadrados. La baja permeabilidad del suelo es causa de mal drenaje, impidiendo el movimiento descendente del agua.

La baja permeabilidad puede deberse a textura ó estructura desfavorables ó a la presencia de capas endurecidas que pueden estar constituidas por arcilla compacta, por caliche ó una capa silícea dura. (19)

De Sigmund (1924), consideraba la presencia de una capa edáfica impermeable como factor esencial para la -- formación de suelos salinos en Hungría.

El problema de salinidad de mayor importancia económica se presenta cuando a consecuencia de la irrigación, un suelo no salino se vuelve salino.

Estos suelos frecuentemente se encuentran en valles cercanos a las corrientes y, por la facilidad con que pueden irrigarse, se escogen los más planos para el cultivo.

Aún cuando estos suelos esten bien drenados y no sean salinos bajo condiciones naturales, puede ser que el -- drenaje no sea adecuado para la irrigación. (16)

Cuando se someten nuevas tierras al riego, los agricultores casi siempre olvidan la necesidad de establecer drenajes superficiales que regulen el agua adicional y las

sales solubles.

A consecuencia de esto, la capa freática puede — surgir de profundidades considerables y llegar hasta cerca — de la superficie del suelo en pocos años.

Al comenzar el desarrollo de todo proyecto de irrigación, casi siempre el agua es abundante y hay una tendencia a usarla en exceso, lo cual acelera la elevación de la capa freática. (16)

Las aguas para riego pueden contener 0.1 a 0.5 toneladas de sal por hectárea en una lámina de 30 cm. de agua y la aplicación anual de ésta puede llegar hasta 1.50 mts. ó más.

De esta manera, en períodos de tiempo relativamente cortos pueden agregarse a los suelos cantidades considerables de sales solubles.

Cuando la capa freática se eleva hasta 1.50 ó 1.80 mts., de la superficie del suelo, el agua subterránea se mueve hacia arriba, llegando a la zona radicular del cultivo y a la superficie del suelo; en tales condiciones, el agua del suelo y la de riego contribuyen a la salinización del suelo. (4)

Cuando el drenaje de los suelos de una región árida esta impedido y la evaporación superficial resulta exce-

siva, las sales solubles tienden a acumularse en el horizonte superficial.

Tales suelos interzonales son designados como halomórficos y han sido clasificados bajo tres clases:

Salinos

Salino-alcalino y

No Salino-alcalino.

Suelos salinos.- Estos suelos contienen una concentración de sales solubles neutras suficientes para interferir seriamente el crecimiento de muchas plantas.

Menos del 15 % de capacidad catiónica intercambiable de estos suelos esta ocupada por iones de Na, y el pH normal esta por debajo de 8.5.

Esto es a causa de las sales solubles presentes, mucho más neutras, y, debido a su dominio sobre las otras, solo existe un pequeño porcentaje de sodio cambiante presente.

Tales suelos están incluidos entre los designados por Hilgard como alcalis blancos a causa de sus incrustaciones, que si existen son de color claro.

El exceso de sales solubles, que son por lo general Cloruros y Sulfatos de Na, Ca y Mg, puede ser lixiviable.

do fácilmente de éstos suelos con inapreciable aumento de pH.

Esto es una consideración realmente importante a tener en cuenta en el cuidado de estos suelos.

En los suelos salinos pueden estar presentes pequeñas cantidades de bicarbonatos, pero los carbonatos solubles están por lo general ausentes. (19)

Los suelos salinos tienen una estructura favorable debido a que sus coloides están altamente floculados.

Suelos Salinos Sódicos (Alcalinos).- Los suelos en este grupo también se caracterizan por su alta concentración de sales solubles, pero difieren de los suelos salinos en que el porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15.

Mientras la gran cantidad de sales solubles permanece en el suelo, el alto contenido de sodio en los coloides no causa problemas y el pH del suelo rara vez pasa de 8.5.

Sin embargo, si las sales solubles son temporalmente lixiviadas hacia abajo, el pH sube a más de 8.5 el sodio causa la dispersión de los coloides y se desarrolla una estructura desfavorable para la labranza, la entrada de agua y el desarrollo de las raíces.

El movimiento de las sales solubles hacia arriba, hasta la superficie del suelo, puede bajar el pH y restaurar los coloides a su condición floculada.

El manejo de este grupo de suelos es un problema hasta que se elimina el exceso de sales solubles y el sodio intercambiable de la zona de crecimiento radicular. (4)

A menos que este presente el sulfato de calcio ó alguna otra fuente de calcio soluble el drenado y lavado de estos suelos los transformará en suelos sódicos no-calinos.

### 3.- LA ALCALINIZACION O ACUMULACION DE SODIO INTERCAMBIABLE EN LOS SUELOS.-

Estos suelos no tienen una concentración tan alta de sales solubles como la de los otros dos grupos, pero el porcentaje de sodio intercambiable excede de 15.

Los valores del pH exceden generalmente entre 8.5 y 10.

El sodio se hidroliza a partir de los coloides y se pueden formar pequeñas cantidades de carbonato de sodio. La materia orgánica en el suelo se dispersa fuertemente y se distribuye sobre las partículas, dándoles un color oscuro; de aquí se derivó, el término "alcalí-negro" que se usó por primera vez para designar estos suelos.



05897

Estos se encuentran con frecuencia en pequeñas áreas irregulares en regiones de baja precipitación pluvial y se les llama "manchas lustrosas". (3)

Los suelos sódicos se desarrollan comúnmente como resultado del riego.

Debido al estado disperso de los coloides estos suelos son difíciles para labrar y son de baja permeabilidad al agua. Después de un período prolongado de tiempo, la arcilla dispersada puede emigrar hacia abajo, formando una capa muy densa con una estructura prismática ó columnar.

Cuando este fenómeno ocurre puede quedar sobre la superficie una capa de unos cuantos centímetros de suelo de textura relativamente gruesa. (20)

La solución del suelo en los suelos sódicos contienen sólo pequeñas cantidades de calcio y magnesio, pero grandes cantidades de sodio.

Los aniones incluyen sulfatos, cloruros, bicarbonatos y, generalmente pequeñas cantidades de carbonato.

En algunas áreas también está presente una cantidad apreciable de sales de potasio.

Los suelos sódicos tienen efectos desfavorables sobre las plantas debido tanto a la toxicidad del sodio como a

la de los iones OH.

El pH alto se debe sobre todo a la hidrólisis del carbonato sódico que ocurre como sigue:



Los OH<sup>-</sup> resultantes dan valores de pH de 10 en adelante.

Además el complejo sódico se hidroliza así:



Como ya se mencionó anteriormente a los suelos sódicos se les denominó "alcalí-negro", por Hilgard y, en ciertos casos, a los "Solonetz", de los autores rusos.

Grandes cantidades de potasio intercambiable y solubles pueden presentarse en algunos de estos suelos.

El efecto de contenido excesivo de potasio intercambiable en las propiedades de los suelos no se ha estudiado ampliamente. (17)

Ciertos suelos sódicos no-salinos contienen un porcentaje de Na intercambiable mayor de 15, y sin embargo, el pH, especialmente en la superficie, puede ser tan bajo como 6. A estos suelos, De Sigmund (1938) los llama suelos alcalinos degradados.

Se presentan en ausencia de caliza y el bajo pH es

resultado del hidrógeno intercambiable.

Sin embargo, las propiedades físicas están dominadas por el sodio intercambiable y corresponden típicamente a las de un suelo sódico no-salino. (4)

4. DESCRIPCIÓN DE LA ACCIÓN ESPECÍFICA DE LOS IONES CUYOS EFECTOS SE DEJAN SENTIR EN FORMA MÁS FRECUENTE EN LO QUE RESPECTA A PROBLEMAS DE SALINIDAD DEL SUELO.

Los suelos salinos y salinos-alcalinos con su pH relativamente bajo (casi siempre menos de 8.5), influyen desfavorablemente a la planta, debido sobre todo a su alta concentración de sales solubles.

Es de conocimiento común que cuando una solución acuosa, conteniendo una cantidad relativamente grande de sales disueltas se pone en contacto con una célula vegetal, producirá una disminución del contenido protoplásmico.

Esta acción, llamada plasmólisis, aumenta con la concentración de sales en solución.(14).

El fenómeno es debido al movimiento osmótico del agua, que pasa de la célula hacia la solución salina más concentrada, Entonces la célula se rompe. La naturaleza de la sal, la especie y aún la individualidad de la planta, así como otros factores, determinan la concentración a la

cuál el individuo sucumbe.

La condición física adversa, especialmente de los suelos salino-alcalinos, puede ser también un factor determinante. Los suelos alcalinos, dominados por sodio activo ejercen un efecto desfavorable sobre las plantas en tres maneras:

- 1) La influencia caústica de la alta alcalinidad inducida -- por el carbonato y bicarbonato sódico.
- 2) La toxicidad del bicarbonato y otros aniones y
- 3) Los efectos adversos de los iones de sodio activo sobre el metabolismo de las plantas y su nutrición.(14)

Como se ha dicho ya, la remoción de las sales naturales de un suelo alcalino-salino aumenta su pH y la actividad de su sodio absorbido, hasta el punto de afectar a las plantas en las formas ya indicadas para los suelos alcalinos.

Las altas concentraciones de sales neutras, tales como el cloruro de sodio y el sulfato de sodio, pueden interferir con la absorción del agua por las plantas a través del desarrollo de una presión osmótica más alta en la solución del suelo que la que existe en las células de la raíz.

Aún más, el porcentaje de marchitamiento de los suelos se eleva por la acumulación de sales, y, por tanto, la cantidad de agua que un suelo puede proporcionar a las -

plantas se verá reducida por la presencia de sales. (5)

## 5. PRINCIPALES PARAMETROS QUE DEFINEN EL GRADO DE SALINIDAD DE UN SUELO.

5.1 Conductividad Eléctrica.- Las determinaciones de resistencia eléctrica se pueden hacer muy rápidamente y con precisión y se han usado por mucho tiempo para estimar sales solubles en los suelos; sin embargo, la conductividad eléctrica que es la recíproca de la resistencia, es más aplicable para mediciones de salinidad, ya que aumenta con el contenido de sales, lo cuál simplifica la interpretación de las lecturas. Más aún, el expresar los resultados en términos de conductividad específica, hace que la determinación sea independiente del tamaño y forma de la muestra. La conductividad eléctrica (CE) tiene como unidad standard mhos/cm., y considerando que la mayor parte de las soluciones tienen una conductividad menor que dicha unidad, se utilizan las siguientes unidades derivadas:

$$CE = \text{mhos/cm.}$$

$$CE \times 10^3 = \text{milimhos/cm.}$$

$$CE \times 10^6 = \text{micromhos/cm.}$$

Cuando se investiga la salinidad del suelo con relación al desarrollo de las plantas, se recomienda usar la conductividad del extracto de saturación como un medio para

evaluar salinidad. (6)

El procedimiento comprende la preparación de una - pasta saturada de suelo, agitando durante la adición de agua destilada hasta alcanzar el punto final deseado. Se usa luego un filtro de succión para obtener una cantidad suficiente de extracto destinado a las determinaciones de la con ductividad.

La determinación se hace a una temperatura standard de 25°C. (18)

5.2 Reacción del Suelo pH.- El pH de una solución acuosa es el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno.

Las experiencia y estudios estadísticos de Fireman y Wadleigh permiten establecer los siguientes conceptos con relación al pH de pastas de suelos saturados.

- a) pH de 8.5 ó mayores, indican casi siempre un porcentaje de sodio intercambiable de 15 ó mayor y la presencia de metales alcalino-terreos.
- b) En suelos cuyo pH es menor de 8.5 el porcentaje de sodio intercambiable puede ó no ser mayor de 15.
- c) Suelos cuyo pH es menor de 7.5 casi nunca contienen car bonato de metales alcalino terreos y si el pH es menor de 7.0, el suelo seguramente contendrá cantidades consi derables de Hidrógeno intercambiable.



### 5.3 Relación de Absorción de Sodio y Porcentaje de Sodio - intercambiable.

El peligro de la sodificación que entraña el uso de una agua de riego, queda determinado por la concentración absoluta y relativa de cationes. Si la proporción de sodio es alta; será mayor el peligro de sodificación y, al contrario, si predominan el Calcio y el Magnesio, el peligro es menor. Los suelos sódicos se forman por acumulación de sodio intercambiable y con frecuencia se caracterizan -- por su baja permeabilidad y difícil manejo. (3).

La relación de absorción de Sodio (RAS) en una solución del suelo, se relaciona con la absorción de sodio y en consecuencia esta relación puede usarse como "índice de Sodio", ésta relación es la siguiente:

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

En la cual,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  representan las concentraciones en miliequivalentes por litro de los iones respectivos. La relación entre: Relación de absorción de sodio (RAS) y por ciento de sodio intercambiable (PSI) esta dada por:

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

El daño causado a las plantas puede ser ocasionado también por las sales solubles cuando la concentración no es suficiente para afectar la absorción del agua. (6)

La entrada de los iones nutritivos dentro de los pelillos radiculares está influida por la naturaleza y concentración de otros iones presentes.

Las sales pueden por lo tanto, causar dificultades nutricionales en los cultivos, debido a su inhabilidad para absorber los nutrimentos necesarios del suelo ( 20):

La reacción altamente sódica debida a la presencia de carbonato de sodio y la gran cantidad de sodio absorbido limita la asimilabilidad de diversos nutrimentos, especialmente hierro, manganeso, zinc y fósforo. (2)

Asímismo, la solución del suelo alcalino tiene una acción corrosiva sobre la corteza de las raíces y los tallos.

El sodio intercambiable de un suelo salino provoca la desfloculación de los coloides lo que trae como consecuencia que el suelo se torne más o menos impermeable y retarda la entrada del agua de riego ó de lluvia e impide el drenaje. (4).

En suelos de textura fina la penetración de las raíces puede ser restringida por la densidad de la zona defloculada. La aireación se ve también muy reducida, causando condiciones anaeróbicas de las que resulta la formación de compuestos de reducción que son tóxicos para las plantas.

La presencia de ciertas sales "alcalinas blancas" principalmente de Calcio, tiende a contrarrestar en algún grado los efectos perjudiciales del sodio absorbido y del carbonato de sodio.

La acción general de las sales neutras es flocular los coloides y, por lo tanto, preservar la estructura normal del suelo. (4)

#### 6. DIFERENTES PROCESOS Y TECNICAS UTILIZADAS PARA LA RECUPERACION DE SUELOS CON PROBLEMAS DE SALES.

Metodología.- Esta basada en mantener e transformar las características estructurales del perfil del suelo para obtener las condiciones que facilitan la solubilidad y el transporte de las sales fuera del espesor radicular ocupado por las plantas.

La Metodología aplicada en los trabajos de recuperación de terrenos del Distrito de Riego del Río Yaquí, Sonora, es semejante a cada una de las áreas de riego del país por ser la establecida por la Secretaría de Agricultura y -

## Recursos Hidráulicos.

Como primera condición necesaria, es indispensable contar con un buen drenaje para poder realizar la lixiviación de las sales. Es inútil tratar de recuperar un terreno sin ello, pues el arrastre de las sales no podrá realizarse.

Los terrenos con nivel freático alto ó cercano a la superficie deberán ser dotados de un drenaje eficiente - que mantenga el nivel freático abajo de 1.50 mts.

Mantos freáticos más altos dificultan fuertemente los lavados debido a los movimientos ascendentes de las sales por capilaridad. (10)

Se utilizan diferentes procesos para mejorar las condiciones del medio salino del suelo, que son:

6.1 Técnicas mecánicas.- Es una serie de labores culturales que tienden a mejorar las condiciones del suelo para lograr su más fácil recuperación.

Existen 2 formas de aplicación de los mejoradores:

- 1.- Por medios mecánicos sobre la superficie del suelo.
- 2.- Disueltos en agua de riego.

La efectividad y rapidez de acción de cada uno de ellos es mayor cuando se aplican en el agua de riego, sin

embargo, para algunos mejoradores el precio se eleva tanto que económicamente hace prohibitiva su utilización en esta forma. El valor de cada uno de ellos, esta en relación con la pureza y la finura del producto.(1)

Para la aplicación mecánica de los mejoradores se utilizan los implementos agrícolas conocidos como fertilizadores de tolva ó cajón, y cuando son en polvo, requieren de ser cribados para eliminar los terrones.

La aplicación en forma de polvo se hace superficial mente y su incorporación al suelo se lleva a efecto bajo el siguiente criterio:

- A.- Si la sodicidad del suelo se presenta en un espesor de 0 a .30 mt., solamente se hace un paso de rastra.
- B.- Si la sodicidad del suelo se presenta en un espesor de .30 a .60 mts., de profundidad se aplica la mitad del mejorador en la superficie y después se voltea el suelo mediante una labor de arado para que quede abajo y sea arrastrado a más profundidad con el agua de riego.

Enseguida se aplica el complemento del mejorador químico y se deja en la superficie incorporando con un rastro para que se infiltre con el agua de los primeros 30cms.

Arados profundos.- Son labores que alcanzan profundidades comprendidas entre 40 y 150 cms., esta técnica se ha utilizado en casos en que el suelo superficial contenía -

un exceso de sodio y a más profundidad existía una capa rica en yeso. El paso del arado acumulaba yeso en la superficie y enterraba el suelo con exceso de sodio.

Subsolados.- Los subsolados rompen las capas impermeables, mejorando por tanto la permeabilidad del suelo. Su efecto es de una duración limitada a uno ó dos años. (2)

Mezclas con arena.- La adición y mezcla de arena a capas de suelo de textura fina mejora la permeabilidad y la penetración de las raíces, lo que a su vez ocasiona también una mejora en las propiedades transmisoras de agua. En algunas áreas de Rusia se han empleado dosis de 700-1,000 ton/ha.

Un caso especial es la técnica del "enarenado" iniciada en Almería (España) en 1957. Consiste en colocar una capa de arena de playa sobre el suelo salino.

En dicha provincia española, los suelos así formados (cuya superficie actual es de unas 10,000 has.), se riegan con agua de salinidad elevada, no obstante lo cual, a los dos años el suelo se había desalinizado en una profundidad de 30 cms., permitiendo el cultivo de hortalizas sensibles a la sal. (15)

Inversión de perfiles.- Consiste en enterrar un perfil de suelo de características no deseables, sustituyéndolo por material que originalmente se encontraba a más profundidad y que posee mejores características.

## 6.2 Técnicas Biológicas, -

Abonados orgánicos.- La adición de estiércol, ó el enterrado en verde tiene dos efectos que ayudan a la recuperación de los suelos salinos:

- 1.- Mejoran la estructura y la permeabilidad del suelo.
- 2.- Liberan  $\text{CO}_2$ , aumentando la solubilidad del  $\text{CaCO}_3$ .

Cultivos de elevada ETP.- Estos cultivos provocan el descenso de la capa freática, facilitando el lavado de las sales.

Si la salinidad inicial no permite el cultivo de especies rentables, como alfalfa u otros pastos, puede ser útil la siembra de caña (Arundo donax).

Además del efecto citado sobre la capa freática, los cultivos dan sombra, reduciendo la evaporación de la superficie del suelo. (2)

### 3) Mejoradores químicos:

Los mejoradores químicos provocan la sustitución del Na combinado con el complejo de cambio por Ca, que puede ser aportado por los propios mejoradores, ó movilizado del existente en el suelo. La aplicación de los mejoradores es necesaria cuando hay exceso de Na, es decir, para valores altos del EM ( 15 ).



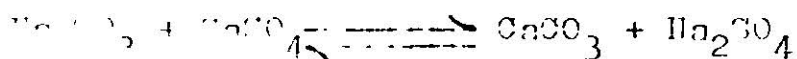
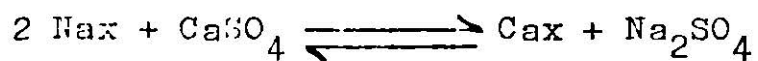
Los mejoradores químicos se pueden clasificar de la forma siguiente:

Sales solubles de calcio	Yeso
	Cloruro cálcico
Acidos y formadores de ácidos	Azufre
	Polisulfuro de calcio
	Acido sulfúrico
	Sulfato de hierro y alu- minio.
Sales de calcio de baja solubi- lidad.	Caliza
Residuos industriales.	Espumas de azucarería
	Cales residuales del a- cetileno.

a) Yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

El yeso es un mineral que, en forma pura, contiene aproximadamente 23.2 % de calcio, 18.5 % de azufre y 20.9 % de agua; de los mejoradores usados en suelos con problemas de sodio es el más usado por su bajo costo. (1)

La aplicación de yeso a un suelo sódico implica -- las siguientes reacciones:



En esta última reacción para evitar la reversibilidad debe lixivarse el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

La única desventaja que presenta el yeso como tal, consiste en que es una sal de baja solubilidad en agua y requiere cantidades considerables de ella para alcanzar efectividad (2).

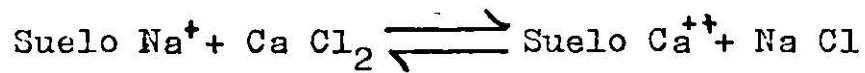
En el cuadro No. 1 se incluyen los resultados de una mejora realizada en Fresno (U.S.A.), utilizando dosis de 25, 30 ó 37.5 Ton/Ha. de yeso, combinadas con lavados.

CUADRO No. 1.- Resultados de una mejora realizada en Fresno U.S.A., con yeso combinado con lavados.

Profundidad (cm)	Antes de la mejora (1921)					Después de la mejora (1931)				
	meq/100 g		Na	PSI	pH	meq/100 g		Na	PSI	pH
Ca + Mg	K	Ca + Mg				K				
0 - 30	1.08	0.23	3.13	70	7.9	5.03	0.27	5	7.5	
30 - 60	0.42	0.98	2.87	67	9.4	4.59	0.40	8	8.1	
60 - 90	1.78	0.28	2.41	54	9.6	4.63	0.43	8	8.3	
90 - 120	2.57	0.34	1.59	35	9.1	4.13	1.00	19	8.7	

B) Cloruro Cálcico ( $\text{CaCl}_2\text{H}_2\text{O}$ ).

Debido a su elevada solubilidad (427 gr/Lt. a  $-20^\circ\text{C}$ ) el cloruro cálcico es un mejorador químico de efectos muy rápidos y gran eficiencia. Sin embargo, su empleo está muy limitado por su elevado costo. En el suelo produce la siguiente reacción:



Se puede aplicar extendiéndolo sobre el terreno ó con el agua de riego, aunque como ya hemos dicho, su empleo es poco frecuente.

Raikov, Kavardzhiev y Varvanova (1971) obtuvieron los resultados indicados en el cuadro No. 2 en la mejora de suelos sódicos con cloruro cálcico. La aplicación del mejorador se realizó en 1960.

CUADRO No. 2.- Resultados de la mejora de suelos sódicos con cloruro cálcico.

Dosis	Profundidad (cm)	pH		Na (meq/100 gr)	
		(1962)	(1970)	(1962)	(1970)
Control	0 - 20	9.0	9.7	10.0	7.2
	20 - 30	9.5	9.8	18.8	18.2
	30 - 40	9.8	10.0	16.7	16.8
	40 - 50	9.7	9.9	16.2	19.5
13 ton/ha	0 - 20	8.0	8.3	1.2	1.5
	20 - 30	8.4	9.5	9.5	9.0
	30 - 40	9.7	9.8	15.4	15.1
	40 - 50	10.1	10.2	18.5	17.5
26 ton/ha	0 - 20	8.4	9.5	0.5	3.4
	20 - 30	9.0	10.0	4.5	8.2
	30 - 40	9.6	9.3	12.7	11.9
	40 - 50	9.7	9.9	17.0	11.8

El efecto más rápido del cloruro cálcico comparado con el del yeso se muestra en el cuadro No. 3, elaborado a partir de datos de los autores citados.

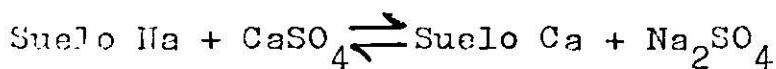
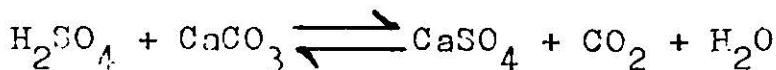
CUADRO No. 3.- Comparación de resultados de mejoras realizadas con cloruro cálcico y yeso.

AÑO	% DE PRODUCCION RESPECTO A UNA PARCELA NO TRATADA			
	Cl <sub>2</sub> Ca		Yeso	
	26 ton/ha	13 ton/ha	40 ton/ha	20 ton/ha
1961	870	640	230	170
1962	700	420	510	240
1963	740	450	920	1,020
1964	230	200	230	200
1965	320	180	290	280
1966	500	330	630	290
1967	270	220	230	150
1968	140	120	120	120
1969	200	170	180	130
1970	420	410	290	390

### c) Azufre (S).

El azufre es también un mejorador químico muy utilizado, debido a su bajo precio. Antes de actuar debe experimentar algunas transformaciones, como se indica a continuación:





El azufre es un mejorador que aumenta la acidez del suelo. Es especialmente indicado para suelos que contengan carbonatos alcalino terreos. En los demás casos, su aplicación hace descender el pH y puede dar lugar a una acidificación excesiva.

Como resultado de una mejora con azufre, el cuadro No. 4 muestra los resultados obtenidos en Fresno, U.S.A. mediante la aplicación de dosis de hasta 2.5 ton/ha y lavados posteriormente (6).

CUADRO No. 4.- Resultados de una mejora con azufre.

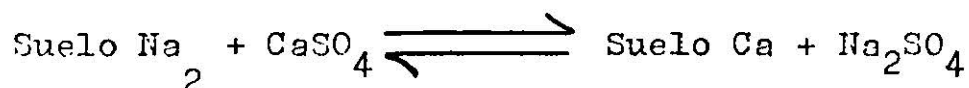
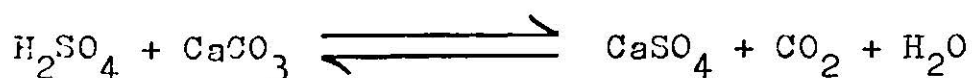
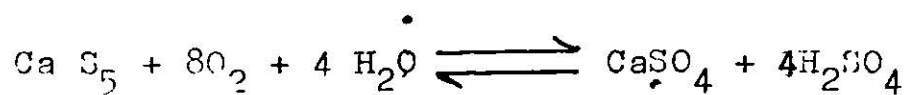
Profundidad (cm)	Antes de la mejora (1921)					Después de la mejora (1931)				
	meq/100 g					meq/100 g				
	Ca+Mg	K	Na	PSI	pH	Ca+Mg	K	Na	PSI	pH
0 - 30	1.35	0.44	2.54	58	9.7	4.06	0.20	0.21	5	7.0
30 - 60	1.21	0.34	2.90	65	9.2	3.75	0.15	0.44	10	7.5
60 - 90	3.19	0.20	2.00	37	9.0	4.05	0.37	0.38	8	8.8
90 - 120	3.61	0.12	1.26	25	9.4	3.66	0.30	0.85	17	8.3

#### D) Polisulfuro de Calcio (CaS<sub>5</sub>).

El polisulfuro de calcio es un líquido café de reacción fuertemente alcalina; contiene aproximadamente de -

23 a 24 % de azufre y 6 % de calcio, porque su composición es un tanto indefinida; al reaccionar con el agua el azufre se precipita en forma elemental y todavía deberá oxidarse.

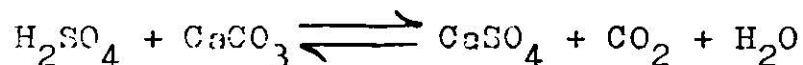
Es recomendable se le aplique con el agua de riego pues no es corrosivo y su reacción en el suelo es la siguiente: (2)



E) Acido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

El ácido sulfúrico es otro mejorador empleado con cierta regularidad en el mundo y aunque su precio es elevado en muchas ocasiones ocupa el tercer lugar en costo después - del yeso y el azufre (2).

El ácido sulfúrico es un mejorador de acción muy - rápida, que en presencia de carbonatos alcalinotérreos, sobre todo caliza, da lugar a la reacción siguiente:

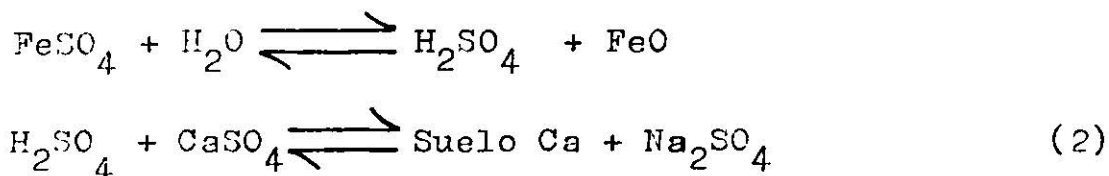


En ausencia de carbonatos alcalinotérreos puede - provocar una acidez excesiva en el suelo. En estos casos es conveniente estudiar previamente la transformación que va a

experimentar el suelo, como se describió al hablar del azufre. El cuadro No. 5 corresponde a una mejora efectuada en Armenia, en la que el ácido sulfúrico se aplicaba en solución al 1 %, seguida de fuertes lavados (15,000 - 30,000m<sup>3</sup>/ha.), en terrenos con drenaje subterráneo. El tiempo necesario para la recuperación no era inferior a 3 - 4 años.

#### F) Sulfatos de Hierro y Aluminio.

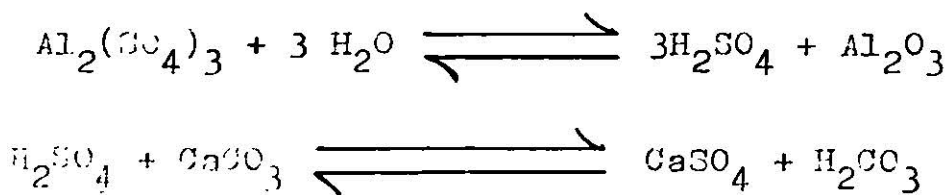
Estos sulfatos se hidrolizan en el suelo fácilmente, generando ácido sulfúrico, en el caso del FeSO<sub>4</sub> la reacción es la siguiente:



El sulfato de hierro es un excelente mejorador, pero su único gran inconveniente es su elevado costo.

El sulfato de aluminio posee propiedades semejantes, con la única diferencia de que es más efectivo que el sulfato de hierro para reemplazar el sodio absorbido.

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





Cuadro No. 5.- Resultados de una mejora con ácido sulfúrico.-

EFOCA	Profundidad	Alcalinidad CO <sub>3</sub> CO <sub>3</sub> H	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na
1959	0 - 25	2.55 5.65	8.76	12.60	0.33	0.36	26.32
Antes de la mejora	25 - 50	1.52 2.41	10.12	10.90	0.33	0.36	21.93
	50 - 100	1.58 2.23	12.08	5.28	0.24	0.11	19.24
	100 - 150	1.68 2.45	7.42	1.52	0.21	0.16	11.02
	150 - 200	0.65 1.30	2.75	0.56	0.12	0.11	4.38
1962	0 - 25	- 0.41	0.20	8.65	4.45	0.80	4.00
Durante la mejora	25 - 50	- 0.62	0.17	1.92	0.32	0.25	1.51
	50 - 100	2.40 4.08	0.22	1.23	0.21	0.08	5.24
	100 - 150	3.30 4.64	0.45	3.10	0.16	0.08	7.95
1964	0 - 25	- 0.66	0.25	0.31	0.41	0.25	0.56
Después de la mejora	25 - 50	- 0.90	0.27	0.87	0.56	0.15	1.33
	50 - 100	- 1.08	0.20	0.44	0.25	0.25	1.72
	100 - 150	- 0.52	0.20	0.25	0.16	0.17	0.64
Agua freática							
1959	220	2.26 11.34	72.80	20.34	7.52	31.40	65.66
1962	150	- 23.12	241.46	94.38	3.56	46.14	309.26
1964	150	0.93 10.16	2.88	3.72	1.06	0.99	14.71

Los inconvenientes que presenta su utilización como mejoradores, son su elevado costo y el efecto tóxico residual del aluminio sobre las plantas (2).

G) Caliza ( $\text{CaCO}_3$ ).

Se obtiene de depósitos naturales originados por -- deposiciones marinas. Su composición química promedio se -- muestra en el cuadro No. 6. La caliza es un compuesto muy poco soluble, por lo que su uso queda restringido a dos propiedades del suelo; contenido de  $\text{CaCO}_3$  y valor del pH.

Cuadro No. 6.- Composición química media de la caliza agrícola.

Constituyentes de la caliza agrícola	Contenido
Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ )	75.4 %
Carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ )	16.1 %
Hierro (Fe)	0.4 %
Potasio (K)	0.1 %
Manganeso (Mn)	330 ppm
Fósforo (P)	210 ppm
Zinc (Zn)	31 ppm
Cobre (Cu)	2.7 ppm
Molibdeno (Mo)	1.1 ppm
Boro (B)	1.0 ppm

La caliza se identifica como  $\text{CaCO}_3$  debido a que éste es el constituyente de mayor proporción. Respecto a la primera, es requisito que el suelo permanezca libre de carbonatos de calcio, para que la caliza pueda ser utilizable como mejorador. (21)

Respecto a la segunda, el uso de la caliza que da determinado también por el valor del pH del suelo. (Cuadro No. 7).

Cuadro No. 7.- Solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  a diferentes valores de pH.

pH	me/l de $\text{CaCO}_3$ solubilizado
6.21	19.3
6.50	14.4
7.12	7.1
7.85	2.7
8.60	1.1
9.20	0.82
10.12	0.36

## H. Residuos Industriales.-

Algunos subproductos de la industria pueden actuar como mejoradores, bien por que sean acidificadores, porque aportar calcio ó por ambas cosas a la vez. Entre otros -- subproductos el más utilizado es la espuma de azucarería,

cuya composición es la siguiente:

$\text{CO}_3\text{Ca}$ . . . . .	35	-	45	por ciento
materia orgánica . . . . .	5	-	15	por ciento
agua . . . . .	40	-	45	por ciento

Las espumas aportan  $\text{CaCO}_3$  en forma de un precipitado - muy fino, fácilmente soluble. Además el contenido en materia orgánica colabora a la mejora química.

Las dosis usuales de espumas de azucarería son de - - 10 - 12 Ton/Ha.

Otros subproductos que se han utilizado para la mejora química de suelos sódicos son las cales residuales de la fabricación industrial de acetileno. (10)

#### 6.4) Métodos Hidrotécnicos para la prevención del ensalzmiento.-

Consiste en proporcionar al suelo el agua necesaria para producir el arrastre de los contenidos salinos a través del perfil hasta una profundidad mayor que el ocupado por las plantas.

Cálculo del agua requerida para la incorporación de los mejoradores.- Un punto sumamente importante es calcular la cantidad de agua que deberá aplicarse al suelo para que el mejorador sea solubilizado y pueda ser transportado hacia el interior del perfil.

Esta condición es indispensable cuando ha sido seleccionado un mejorador químico del tipo granular ó aún tratándose de mejoradores líquidos, que requieren de efectuar reacciones químicas y biológicas para constituir la sal que lleva a efecto el intercambio iónico por ejemplo:

En los mejoradores ácidos o formadores de ácidos, la sal básica es el sulfato de calcio. (19)

Por tal motivo, el cálculo del volúmen de agua requerido se hace en base a miliequivalentes de sodio intercambiable que son del mismo valor que los equivalentes de cada mejorador utilizado.

Apoyándonos primeramente en el cálculo del mejorador que contempla la siguiente metodología:

$$SI = \frac{PSIi - PSIf}{CIC} \times 100$$

donde:

SI = sodio intercambiable por substituir

PSIi = Por ciento de sodio intercambiable inicial

PSIf = Por ciento de sodio intercambiable que tendrá el suelo finalmente.

CIC = Capacidad de intercambio cationico.

Si suponemos que al aplicarse el valor resultante fue se igual a UNO estaríamos en condiciones de calcular el volúmen de agua para 1 meq. de Sodio intercambiable por cada hectárea de suelo de 10 cms. de espesor y con un peso es-

pecífico de  $1,300 \text{ kg/m}^3$ .

El agua requerida se puede obtener a través del siguiente cálculo:

$$\text{Vol del suelo} = S \times h = 100 \times 100 \times 0.10 = 1,000\text{m}^3$$

$$\text{Peso del suelo} = \text{Vol} \times \text{Pe} = 1,000\text{m}^3 \times 1,300 \text{ kg/m}^3 = 1,300,000$$

Si en 100 gr., de suelo existe 1 meq de sodio intercambiable por remover, en 1 kg. serán 10 meq de sodio intercambiable y en una hectárea de 10 cms. de espesor serán:

$$1.3 \times 10^6 \times 10 = 1.30 \times 10^6 = \text{meq/Ha.}$$

Ahora bien, en el laboratorio se ha determinado que se disuelven 30 meq/lt. de  $\text{CaSO}_4$  en un suelo que pesa  $1.3 \times 10^6$  por hectárea se requerirá:

$$\frac{1.3 \times 10^6 \text{ meq/Ha}}{30 \text{ meq/lt.}} = 0.43 \times 10^6 \text{ litros de agua}$$

por hectárea que es igual a  $0.43 \times 10^3 \text{m}^3/\text{Ha.}$

Si se divide entre  $10,000\text{m}^2$  de una hectárea tendríamos la lámina de agua para 1 meq de Na.

$$1 \text{ meq/Na/ } 1 \text{ ha.} = \frac{0.43 \times 10^3}{10 \times 10^3} = 0.043 \text{ mt.}$$

Si suponemos que el mejorador es yeso:

$$= 1 \text{ meq/Na de } 1 \text{ Ha/} 10 \text{ cm} = \frac{1.3 \times 10^6}{11.6 \times 10^6} = 1.12 \text{ Ton/yeso/Ha}$$

Prácticamente se necesitarán para cada tonelada de yeso una lámina de 4.3 cm. de agua o  $430\text{m}^3$  de agua.

6.5) Las Medidas de Prevención del Ensalitramiento Dependrán de las posibles causas del problema.-

1.- Caso en que las fuentes de sales sean las aguas freáticas y/o del subsuelo:

Para esto, se pueden seguir las siguientes medidas:

1.1 Construcción de drenaje interceptor de filtraciones provenientes de canales ó presas de almacenamiento, de cuencas altas de drenaje.

1.2 Re-localización de las redes de distribución.

1.3 Concentración de las áreas de riego para evitar grandes recorridos del agua y por lo mismo, grandes pérdidas por filtración que aumenten la fuente de alimentación de los freáticos.

1.4 Revestimiento de canales en los tramos donde se detectan las mayores pérdidas.

1.5 Construcción de una red de "drenaje de apoyo" en la cual deberán descargar los drenes parcelarios, en caso de que hubiese la necesidad de construirlos, por mala capacidad natural de drenaje o insuficiencia del drenaje existente.

2.0 Caso en que la fuente de sales la constituye el agua de riego.-

Las medidas pueden ser:

2.1 Mezclas de agua de riego:



Cuando es necesario utilizar aguas de altos contenidos salinos para riego, se debe procurar mejorarlas mezclándolas con agua de mejor calidad; para ésto, es necesario que prevean las condiciones que permitan la realización adecuada de las mezclas haciendo construcciones especiales si es preciso, además se debe vigilar constantemente la calidad de las mismas, a base de análisis de laboratorio. (6)

Se debe procurar que el agua mezclada no sobrepase la cifra de 1,200 micromhos/cm.

La proporción de la mezcla se calcula con la siguiente fórmula:

$$S_m = \frac{Q_c C_{Ec} + Q_p C_{Ep}}{Q_c + Q_p}$$

Donde:

$S_m$  = Salinidad que se obtiene con la mezcla.

$Q_c$  = Gasto del canal en lt./seg.

$C_{Ec}$  = Conductividad Eléctrica en mmhos/cm. del canal.

$C_{Ep}$  = Conductividad Eléctrica del agua del pozo

$Q_p$  = Gasto del pozo en lt./seg.

2.2 Ejecución de planes de asesoramiento técnico a usuarios para que aprovechen debidamente el agua y el suelo a nivel parcelario, entre los cuales tenemos:

2.3 Aplicación de láminas sobre-riego.

El sobre riego tiene la finalidad de arrastrar las sales a profundidades mayores de donde se localiza la zona radica

lar, por tanto, evita la acumulación de éstas en la parte del suelo, donde se desarrollan los cultivos.

Se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$Lsr = \frac{C.E.ar}{U.L.ad - C.E.ar} \times Lr$$

En la cuál:

Lsr = Lámina sobre riego en cm.

C.E.ar = Conductividad Eléctrica del agua de riego en micromhos/cm.

Lr = Lámina neta de riego en cm.

Lt = Lámina total de riego en cm.

#### CALCULO DE LA LAMINA DE LAVADO DE LOS SUELOS.-

El cálculo de la "Lámina de lavado" tiene como finalidad determinar el volúmen de agua expresada en cm., suficiente para efectuar el transporte de las sales en el perfil del suelo fuera del espesor que ocupa la zona radicular de las plantas, así como también lograr disminuir los valores de las conductividades eléctricas para reducir el contenido de sales. (2)

Se pueden aplicar varias fórmulas para calcularla -- aunque ninguna de ellas relaciona en forma precisa los resultados teóricos con los resultados prácticos.

Los valores son considerados frecuentemente útiles en los trabajos de recuperación.

La fórmula utilizada en los Distritos de Riego es la propuesta por Volouvyev bajo la siguiente expresión:

$$L = \infty \text{ Log } \frac{S}{S_o} \quad \text{ó} \quad L = \infty \text{ Log } \frac{C_e}{C_{Eo}}$$

Donde:

L = Lámina de lavado en cm., hasta 1.00 mt. de profundidad.

S = Contenido inicial de sales en el suelo en %.

S<sub>o</sub> = Contenido en % de sales de acuerdo con la tolerancia del cultivo también en %.

$\infty$  = Coeficiente que depende del tipo de salinidad y la textura del suelo en atención al siguiente cuadro:

C.E. = Contenido inicial de sales en valores de conductividad eléctrica en mmhos/cm.

C.E.<sub>o</sub> \* Valores permisibles de conductividad eléctrica en mmhos/cms. en el Extracto de Solución del suelo después de lavado.

CUADRO No. 8.- Valores  $\infty$  para diferentes contenidos de cloruros y tipos de suelos.

TEXTURA	Contenido de cloruros en % con respecto a aniones			
	60 a 40	40 a 20	20 a 10	menos de 10
PESADA	122	132	142	178
MEDIA	92	102	112	148
LIGERA	62	72	82	118
S <sub>o</sub>	0.2	0.3	0.4	1
C <sub>Eo</sub>	4	8	12	20

6.6 Lámina de Lavado utilizando la fórmula adaptada por el Dr. Aceves.-

Partiendo de la expresión analizada y con base en -- experimentos de salinidad en el Lago de Texcoco se propuso modificar la fórmula bajo la siguiente expresión:

$$L = 900 (P)^{0.75} \cdot \left( \frac{70 - C_{Er}}{C_{Ei} - C_{Er}} \right)^{0.3} \text{Log} \frac{C_{Ei}}{C_{Ef}}$$

Donde:

L = Lámina de agua para lavado en cm.

P = Profundidad de suelos por lavar en cm.

$C_{Er}$  = Conductividad eléctrica del agua de lavado en mmhos/cm a 25°C

$C_{Ei}$  = Conductividad eléctrica inicial de extracto de saturación en mmhos/cm.

$C_{Ef}$  = Conductividad eléctrica final del suelo ó permisible para un cultivo por establecer en mmhos/cm a 25°C.

Expresa que esta fórmula se desarrolló para calcular -- láminas de lavado donde el valor de  $\infty$  se ha puesto en función de la calidad química del agua de lavado, del ran- go de salinidad de los suelos y del espesor del suelo por lavar. Otro aspecto importante es que el Dr. Aceves nos muestra en su tratado "EL ENSALITRAMIENTO DE LOS SUELOS, BA JO RIEGO" y se refiere a la ecuación para calcular los -- rendimientos relativos para un cultivo y una salinidad da- da:

$$R R = \frac{100 (C_{e0} - C_{Es})}{(C_{e0} - C_{e100})}$$

donde:

R R = Rendimiento relativo expresado en %

$C_{e0}$  = Conductividad eléctrica del suelo en la cuál se obtiene cero rendimiento.

$C_{e100}$  = Conductividad eléctrica del suelo abajo de la cuál se obtiene un rendimiento del 100 %.

$C_{Es}$  = Conductividad eléctrica del suelo medida en el extracto de saturación.

Pongamos un caso, por ejemplo, para ilustrar la fórmula anterior.

Que rendimiento relativo se espera obtener en un terreno -- cultivado con trigo que presente los siguientes valores:

$$C_{e100} = 6 \text{ mmhos/cm}$$

$$C_{e0} = 20 \text{ mmhos/cm}$$

¿Cuál será el rendimiento relativo que se puede esperar en un suelo que tenga un promedio de  $C_{e2} = 12 \text{ mmhos/cm}$ ?

Substituyendo valores queda:

$$R R = \frac{100 (20 - 12)}{(20 - 6)} = 57.1 \%$$

Si tomamos la ecuación correspondiente al trigo expresada en el siguiente cuadro tenemos:

$$R R = 142.6 - 7.13$$

como:

R R = Rendimiento relativo

$CE_s$  = Conductividad eléctrica del suelo medida en el extracto de saturación que en este caso tiene un valor de 12 mmhos/cm.

Substituyendo valores queda:

$$RR = 142.6 - 7.13 \times 12 =$$

$$RR = 142.6 - 85.56 = 57.04 \%$$

Lo cual quiere decir que se tendrá un rendimiento aproximado del 57 % del normal. Sin embargo, por los diversos y numerosos estudios realizados en los experimentos y trabajos sobre terrenos se observa que a niveles de salinidad de 10 a 15 % en cultivos con trigo se puede obtener hasta el 80 % de rendimiento.

CUADRO No. 9 Ecuaciones para calcular el rendimiento relativo esperado de diferentes cultivos desarrollados bajo condiciones de salinidad.

Cultivos Tolerantes	Ecuación	Rango de Aplicación		
		$CE_{100}$	$CE_s$	$CE_o$
Cebada	$RR = 140 - 5 CE_s$	8.0	$CE_s$	28.0
Remolacha	$RR = 141.2 - 59 CE_s$	7.0	$CE_s$	24.0
Algodón	$RR = 142.1 - 5.3 CE_s$	8.0	$CE_s$	27.0
Espinaca	$RR = 115.4 - 7.7 CE_s$	2.0	$CE_s$	15.0
Betabel	$RR = 136.4 - 9.1 CE_s$	4.0	$CE_s$	15.0
Sesbania	$RR = 113.7 - 6.8 CE_s$	2.0	$CE_s$	16.6
Pasto "Bvegrass"	$RR = 142.4 - 7.6 CE_s$	5.6	$CE_s$	18.8

Cultivos Tolerantes	Ecuación	Rango de Aplicación		
		CE <sub>100</sub>	CE <sub>s</sub>	CE <sub>0</sub>
Pasto Bernuda	RR = 144.3-6.3CE <sub>s</sub>	7.0	CE <sub>s</sub>	22.8
Pasto Sudan	RR = 112.1-35.7CE <sub>s</sub>	2.8	CE <sub>s</sub>	26.0
Centeno Silvestre	RR = 114.7-5.9CE <sub>s</sub>	2.5	CE <sub>s</sub>	19.5
Cultivos semitolerantes.	Ecuación	Rango de Aplicación		
		CE <sub>100</sub>	CE <sub>s</sub>	CE <sub>0</sub>
Maíz	RR = 125 -12.5CE <sub>s</sub>	2.0	CE <sub>s</sub>	10.0
Arroz	RR = 136.6-12.2CE <sub>s</sub>	3.0	CE <sub>s</sub>	11.2
Trigo	RR = 142.6-7.13CE <sub>s</sub>	6.0	CE <sub>s</sub>	20.0
Linaza	RR = 122-12.2CE <sub>s</sub>	1.8	CE <sub>s</sub>	10.0
Caña de azúcar	RR = 100.7-5.9CE <sub>s</sub>	1.8	CE <sub>s</sub>	18.8
Lechuga	RR = 115.4-12.8CE <sub>s</sub>	1.2	CE <sub>s</sub>	9.0
Pepino	RR = 132.5-5.3CE <sub>s</sub>	2.5	CE <sub>s</sub>	10.5
Col	RR = 117.5-9.7CE <sub>s</sub>	1.8	CE <sub>s</sub>	12.1
Tomate	RR = 124.6-9.9CE <sub>s</sub>	2.5	CE <sub>s</sub>	12.6
Brocoli	RR = 121.5-7.7CE <sub>s</sub>	2.8	CE <sub>s</sub>	15.6
Cebolla	RR = 119.7-16.4CE <sub>s</sub>	1.2	CE <sub>s</sub>	7.3
Zanahoria	RR = 114.1-14.1CE <sub>s</sub>	1.0	CE <sub>s</sub>	8.1
Vid	RR = 114.6-9.7CE <sub>s</sub>	1.5	CE <sub>s</sub>	11.8
Treboles	RR = 115.3-11.5CE <sub>s</sub>	1.3	CE <sub>s</sub>	9.8
Trifolium Grande	RR = 141.5-7.2CE <sub>s</sub>	2.2	CE <sub>s</sub>	7.5
Alfalfa	RR = 114.5-7.2CE <sub>s</sub>	2.0	CE <sub>s</sub>	15.7
Pasto Orchard	RR = 116.7-6.7CE <sub>s</sub>	2.5	CE <sub>s</sub>	17.5



Cultivos Sensibles	Ecuación	Rango de Aplicación		
		CE <sub>100</sub>	CE <sub>s</sub>	CE <sub>0</sub>
Cacahuete	RR = 188.9-27.8CE <sub>s</sub>	3.2	CE <sub>s</sub>	6.8
Soya	RR = 200-20CE <sub>s</sub>	5.0	CE <sub>s</sub>	10.0
Frijol	RR = 118.9-18.9CE <sub>s</sub>	1.0	CE <sub>s</sub>	6.3
Pimiento morrón	RR = 121.4-14CE <sub>s</sub>	1.5	CE <sub>s</sub>	8.5
Rábano	RR = 115.6-14.3CE <sub>s</sub>	1.2	CE <sub>s</sub>	8.9
Papa	RR = 112-12.2CE <sub>s</sub>	1.8	CE <sub>s</sub>	10.0
Camote	RR = 116.7-11.2CE <sub>s</sub>	1.5	CE <sub>s</sub>	10.5
Fresa	RR = 133.3-33.3CE <sub>s</sub>	1.0	CE <sub>s</sub>	4.0
Chabacano	RR = 133.3-66.7CE <sub>s</sub>	1.5	CE <sub>s</sub>	6.0
Zarzamora	RR = 133.3-66.7CE <sub>s</sub>	1.5	CE <sub>s</sub>	6.0
Durazno	RR = 130-20CE <sub>s</sub>	1.5	CE <sub>s</sub>	6.5
Almendro	RR = 127.3-18.2CE <sub>s</sub>	1.5	CE <sub>s</sub>	7.0
Ciruelo	RR = 127.3-18.2CE <sub>s</sub>	1.5	CE <sub>s</sub>	7.0
Toronjo	RR = 129-16.1CE <sub>s</sub>	1.8	CE <sub>s</sub>	8.0
Naranja	RR = 129-16.1CE <sub>s</sub>	1.8	CE <sub>s</sub>	8.0

## MATERIALES Y METODOS

### SITIO DE ESTUDIO.-

El presente estudio se realizó en la zona de influencia del Ejido Catarino Rodríguez y del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 48, del Municipio de Galeana, N. L., abarcando un área de  $106.25\text{Km}^2$  y cuya localización geográfica es:  $24^{\circ}51'$  de latitud norte y  $100^{\circ}21'$  de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich.

El Ejido Catarino Rodríguez se encuentra delimitado por las siguientes comunidades:

Al norte por el Ejido la Trinidad y Francisco Villa

Al Sur por el Ejido los Pocitos y San Roberto

al este por la Ciudad de Galeana, N. L.

al oeste por El Ejido El Cristal y el Rancho San Gerardo

Su altura es de 1850 metros sobre el nivel del mar y tiene como vegetación predominante la gobernadora (*la rrea Tridentata*), zacaton alcalino (*Sporobolus airoides*) zacate salado (*Distichlis stricta*), chamizo (*Atriplex polycarpa*) saladilla (*Allenrolfea occidentalis*) y coyonoztle (*Opuntia imbricata*).

De acuerdo a la clasificación de Köpen modificada por Enriqueta Garcia (11) el clima predominante se puede considerar como semiárido cálido (BSohw) con lluvias de verano y extremoso, esto es, con fuertes oscilaciones de las temperaturas medias mensuales con respecto a la media anual.

Según los datos proporcionados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, ésta nos reporta -- que la temperatura media anual, es de 18°C con una precipitación pluvial media anual de 400mm.

Los principales materiales utilizados para la -- realización del presente estudio consistieron en:

- 1) Cartas Geológicas G14C55 y G14C56, escala 1;50,000 elaboradas por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL).
- 2) Cartas Edafológicas G14C55 y G14C56, escala 1;50,000 elaboradas por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL).
- 3) Equipo de dibujo.

Para una mejor perspectiva de las Unidades de Suelo, definición de horizontes y clase textural que en este trabajo se manejan, incluimos a continuación sus descripciones:

#### UNIDADES DEL SUELO.-

#### Características

##### Xerosol.-

Suelos de zonas áridas. Contenido moderado de materia orgánica. Con fertilización y mejoradores del suelo son capaces de dar buenas cosechas. Muy permeables y parecidas al grupo Yermosol.

##### Regosol.-

Suelos sueltos, como dunas, playas, cenizas volcánicas y ningún horizonte. Muy permeables.

Regosol

calcarico.-

Suelos calcáreos y pobres en nutrientes. Su utilización es variable, resulta -- muy costoso mejorar este suelo. Muy permeables.

Gleysol.-

Suelos aptos para pastos. Suelos de materiales no consolidados (excepto depósitos aluviales).

Sus horizontes se encuentran a menos de 50 cm. de profundidad. En condiciones naturales pueden destinarse a actividades agropecuarias. Son impermeables. Necesitan obras de drenaje.

Gleysol cálcico.-

Suelos con elevado contenido de material calcáreo. Es indicador de una húmedad pronunciada. Color azuloso oscuro. Debe fertilizarse. Son impermeables. (8)

#### DEFINICION DE HORIZONTES.-

#### Características

Horizonte

A. Ocrico.-

Capa superficial de color claro ó pobre en materia orgánica, ó con ambas características.

## Horizonte

- B. Cambico.- Capa ubicada abajo del Horizonte A, con características incipientes de los otros horizontes B, ó por lo menos con estructura de suelo, no de Roca.
- Horizonte cálcico.- Capa con abundante acumulación de material calcáreo.
- Horizonte Gypico.- Capa con abundante acumulación de yeso.
- Horizonte Gleyico.- Capa saturada de agua estacional o permanente, presenta manchas rojas ó amarillas y puede ser de coloración verdosa ó azulada.
- Normalmente no permite el crecimiento de raíces. (9)

## CLASE TEXTURAL.-

- Gruesa (1).- Se refiere a suelos de textura arenosa de muy baja retención de agua y nutrientes, y con un drenaje interno excesivo.
- Si se usan en Agricultura, es recomendable agregarles abonos verdes ó estiércoles, a fin de mejorar las propiedades físicas del suelo.
- En caso de presentar fases salinas y sódicas ó ambas, su recuperabilidad es relativamente fácil mediante lavados y aplicación de mejoradores.

Media (2).-

Se refiere a suelos de textura franca ó limosa con retención de agua y nutrientes moderada. Drenaje interno eficiente y de fácil manejo. Si se usan en Agricultura requieren fertilización según la unidad de suelo que la presente.

Son susceptibles de "salinizarse" y sodificarse en cuyo caso la recuperación mediante lavado y adición de mejoradores es más lenta y costosa que el anterior.

Las superficies afectadas por sodio se calcularon en forma estimativa alrededor de los puntos muestreados y reportados por las cartas de la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL).

Dichas superficies nos servirán para calcular la cantidad de un mejorador que pudiera corregir los problemas de sodicidad de los sitios muestreados 45 y 55.

Una forma de calcular las necesidades del mejorador por aplicar es la siguiente:

Si 100 gr. de suelo requieren 1.6 meq. de sodio 1 kg. del mismo suelo requerirá 16 meq. y para una hectárea de 10 cm. de espesor sería necesario:

Peso de la hectárea = 100 m X 100 m X 0.10 m X 1.300

$$\text{kg/m}^3 = 1.3 \times 10^6$$

Mejorador requerido por hectárea:  $1.3 \times 10^6 \times 16 = 20.8$   
 $\times 10^6$  kg/ha. para mejorar  
 un espesor de suelo de 10  
 cm. (2)

Como el análisis del suelo corresponde a una muestra re-  
 presentativa de 45 cm., podría ampliarse linealmente hasta  
 cubrir dicho espesor:

Para 20 cm. serán  $20.8 \times 10^6 \times 2 = 41.6 \times 10^6$

Para 30 cm. serán  $20.8 \times 10^6 \times 3 = 62.4 \times 10^6$

Para 45 cm. serán  $20.9 \times 10^6 \times 4.5 = 93.6 \times 10^6$

La cantidad del mejorador seleccionado podrá ser deter-  
 minada en base a los miliequivalentes por tonelada de cada  
 uno de los productos comerciales existentes de acuerdo a la  
 siguiente clasificación:

Nombre del producto	Equivalencia	Miliequivalentes por Tonelada del Mejora- dor.
Cloruro de calcio	55.50	$1.80 \times 10^6$
Yeso	86.09	$11.63 \times 10^6$
Azufre	16.03	$62.5 \times 10^6$
Acido sulfúrico	49.04	$20.4 \times 10^6$
Sulfato ferroso	139.01	$7.2 \times 10^6$
Folisulfuro de calcio	- - -	$20.0 \times 10^6$
Sulfato de aluminio	111.07	$9.0 \times 10^6$
Carbonato de calcio	50.04	$20.0 \times 10^6$

Para el caso que nos ocupa, el cálculo para cada 10 cm. de suelo, tendrán que aplicarse las siguientes toneladas por hectárea:

$$\text{Cloruro de Calcio} = \frac{20.8 \times 10^6}{18.0 \times 10^6} = 1.15 \text{ Ton/Ha/cm}$$

$$\text{Azufre} = \frac{20.8 \times 10^6}{62.5 \times 10^6} = 0.332 \text{ Ton/Ha/cm}$$

$$\text{Yeso} = \frac{20.8 \times 10^6}{11.63 \times 10^6} = 1.78 \text{ Ton/Ha/cm}$$

$$\text{Acido sulfúrico} = \frac{20.8 \times 10^6}{20.4 \times 10^6} = 1.01 \text{ Ton/Ha/cm}$$

Como los mejoradores calculados están considerados con el 100 % de pureza, pero en el mercado es difícil encontrar los así, se tendrá que multiplicar la cantidad obtenida por el coeficiente que resulta de ella, por ejemplo:

Si tiene solamente el 80 % el coeficiente será:

$$\text{Coeficiente} = \frac{100}{80} = 1.25$$

La cantidad que deberá aplicarse por cada 10 cm. sería:

$$\text{Cloruro de calcio} \quad 1.15 \text{ Ton/Ha} \times 1.25 = 1.44 \text{ Ton/ha.}$$

$$\text{Azufre} \quad 0.332 \text{ Ton/Ha} \times 1.00 = 0.332 \text{ Ton/ha.}$$

$$\text{Yeso} \quad 1.78 \text{ Ton/Ha} \times 1.25 = 2.22 \text{ Ton/ha.}$$

$$\text{Acido sulfúrico} \quad 1.01 \text{ Ton/Ha} \times 1.02 = 1.03 \text{ Ton/ha.}$$

Si se quiere mejorar 45 cm. habría que multiplicar cada una de las cantidades obtenidas por 4.5



Cabe hacer notar que la mayor parte de los sitios de muestreo del presente trabajo analítico nos indican la presencia de suelos salinos normales por lo que a continuación se hace una breve referencia y se expone un ejemplo; del cálculo de la lámina de lavado de los suelos, misma que ya se mencionó en el capítulo de Revisión de Literatura.

El cálculo de la lámina de lavado tiene como finalidad determinar el volumen de agua expresado en cm., suficiente para efectuar el transporte de las sales en el perfil del suelo, fuera del espesor que ocupa la zona radicular de las plantas, así como también lograr disminuir los valores de las conductividades eléctricas para reducir el contenido de sales.

Ejemplo de cálculo: Determinar la lámina de lavado de un suelo con un contenido de sales promedio que en valores de conductividad eléctrica nos da 80 mmhos/cm., el cual se desea bajar a 4 mmhos/cm., que es lo tolerante para el cultivo de frijol, en un espesor de 100 cm., y con una textura del suelo tipo arcilloso ó pesada.

El porcentaje de cloruros en el espesor del suelo sobre los demás aniones es de 42 %.  
 $S_i = 80$  mmhos/cm (antes)  
 $S_o = 4$  mmhos/cm (después)

$\alpha =$  textura pesada, con 42 % de cloruros = 1.22

Fórmula:

$$L_{100} = 100 \times \log \frac{80}{4} = 122 \times 1.30 - 10 = 158.72 \text{ cm.}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo a el objetivo planteado en este trabajo con respecto a caracterizar el problema de la salinidad en la zona de influencia de el Ejido Catarino Rodríguez y el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 48, se analizaron un total de 10 sitios, comprendidos en un área de 106.25 km<sup>2</sup>.

Los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes, así como los datos analíticos y de campo de las muestras se presentan en los cuadros No. 10 y 11.

Dentro de las principales características morfológicas del perfil del suelo en sus horizontes A y B tenemos lo siguiente:

- a) Las muestras 43,44, 45, 50, 54 y 56 presentan cementación esto es, la existencia de una capa impermeable, compuesta por arcilla endurecida, limo y material calcáreo, la cual es un factor limitante del suelo.
- b) En el horizonte A tenemos que el espesor del suelo es de 27.5 cm. en promedio, su reacción al ácido clorhídrico es moderada y la textura que nos presenta es MEDIA.
- c) En la estructura del horizonte A tenemos que la misma.

es en forma de bloques, de tamaño fino y con un desarrollo moderado.

- d) En lo referente a la denominación del horizonte A, éste es Ocrico y presenta una capa superficial de color claro ó pobre en materia orgánica ó con ambas características ( 8 )
- e) En el horizonte B, tenemos que la reacción al ácido -- clorhídrico es fuerte y su textura es media.
- f) En cuanto a la estructura del horizonte B, la misma va ría solo en forma, presentando las muestras 43, 55 y 56 Bloques; las 46 y 47 masiva; y la 54 Bloques suban-gulares.
- g) En el mismo horizonte tenemos que el tamaño de la estruc-tura es fina y su desarrollo es moderado.
- h) En cuanto a la acumulación de carbonatos en el horizonte B la misma es abundante en las muestras 43, 43, 54, 55 y 56.
- i) Por lo que toca a la denominación del horizonte es cues-tión, el mismo es CALBICO, es decir, que se encuentra ubicado abajo del Horizonte A, con características in-cipientes de los otros Horizontes B, ó por lo menos con estructura del Suelo no de Roca. (9)

Otra de las características que presenta la zona de es-tudio es que sus horizontes se clasifican como cálcicos en profundidades que van de un mínimo de .50 a 1.30 mt., en las muestras 43, 46, 47, 54, 55 y 56 y Gleyicos la 46 y 47 (Ver figura No. 1)



**CUADRO 10.- CONCENTRACION DE DATOS DE CAMPO PARA LA  
ZONA DE INFLUENCIA DE EL EJIDO "CATARINO  
RODRIGUEZ" Y EL C.B.T.A No. 48.**

**D A T O S D E C A M P O**

PUNTO No.	LIMITE DE SUELO LIMITANTE				HORIZONTE A				HORIZONTE B				OTRAS CARACTERISTICAS										C.LASIFI.									
	PROFUNDIDAD EN CM.	ROCA	OTROS	CEMENTACION	NIVEL FREATICO	ESPESOR EN CM.	REACION HCL	TEXTURA	FORMA	TAMANO	DESARROLLO	CARBONATOS	YESO	Fe / Mn	ARCILLA	HUMUS	DENOMINACION	CALCICO	GYP SICO	SALICO	PLINTICO	GLEYICO	GRIETAS	FACETAS	INCLUSION	DRENAJE INTERNO	CLAVE	FASES FISICAS	FASE SALINA	FASE SODICA	CON ANALISIS LAB	
41	25		X			25	4	2	7	1	0															2	RC	P			X	
43	70			X		30	3	2	5	2	0						C	X								3	XK	P				
44	30			X		30	4	2	7	1	0															2	XH	PC			X	
45	45			X		45	5	2	6	2	0													X		3	XK		X		X	
46	125					20	3	2	5	2	0		3				C	X				X				1	GC					X
47	130					20	3	2	5	2	0						C	X				X				1	GC		X			X
50	50			X		40	4	2	5	2	0															2	XH	PE				
54	80			X		25	4	2	5	2	0		3				C	X								3	XK	PCP				
55	>100					20	5	2	5	2	0		3				C	X						X		4	XK		X	X	X	X
56	50			X		20	4	2	5	2	0		3				C	X								2	XK	PC	X			X



**CUADRO II.- CONCENTRACION DE DATOS ANALITICOS DE LAS MUESTRAS PARA LA ZONA DE INFLUENCIA DE EL EJIDO "CATARINO RODRIGUEZ Y EL C.B.T.A No. 48"**

**DATOS ANALITICOS DE LAS MUESTRAS.**

No.	PUNTO DE CONTROL	TEXTURA				COLOR		CONDUCTIVIDAD m mhos/cm.	PH EN AGUA	RELACION I:I	% DE MATERIA ORGANICA.	C.I. C.T. mg/100 gr.	% SATURACION DE BASES	CATIONES INTERCAMBIABLES					
		% D' ARCILLA	% D' LIMO	% D' ARENA	CLASIF. TEXTURAL	SECO	HUMEDO							No. mg/100gr.	% SATURACION DE	K mg/100gr.	Ca mg/100 gr.	Mg mg/100 gr.	P mg/100 gr.
41	A	0 - 25	16	38	46	C	7.5 YR 5/3	7.5 YR 4/3	< 2	7.7	3.4	13.0	100	0.2	< 15	0.3	12.5	1.5	2.9
44	A	0 - 30	2	44	54	Md	10 YR 6/1	10 YR 4/2	< 2	7.5	3.5	10.5	100	0.2	< 15	0.9	31.3	3.5	1.6
45	A	0 - 45	2	26	72	Am	7.5 YR 7/3	7.5 YR 5/4	4.0	7.7	1.4	9.3	100	1.6	> 15	1.1	42.5	3.1	3.3
47	A 11	0 - 20	2	58	40	ML	10 YR 6/1	10 YR 3/1	2.8	7.6	5.9	10.5	100	0.3	< 15	0.3	28.8	3.3	4.1
47	A 12	20 - 60	10	60	30	ML	10 YR 6/1	10 YR 4/1	7.2	7.9	4.5	14.3	100	1.6	< 15	0.3	40.0	7.3	1.7
47	B 21	60 - 100	2	86	12	L	10 YR 6/1	10 YR 4/1	7.2	7.8	4.7	10.8	100	1.4	< 15	0.1	26.3	7.4	
47	B 22	100 - 130	2	70	28	ML	10 YR 6/1	10 YR 3/1	2.8	7.7	3.9	11.3	100	0.3	< 15	0.1	23.1	4.4	
55	A	0 - 20	4	52	44	ML	10 YR 6/2	10 YR 4/2	< 2	7.6	3.3	12.3	100	0.2	< 15	0.6	63.8	2.6	3.4
55	B 21	20 - 80	2	64	34	ML	7.5 YR 7/2	7.5 YR 5/3	5.2	7.8	1.2	12.0	100	1.2	< 15	1.0	26.9	7.0	2.0
55	B C	80 - 100	18	48	34	C	7.5 YR 7/1	7.5 YR 5/2	8.5	8.0	1.2	10.3	100	2.8	> 15	1.6	12.5	5.9	
56	A	0 - 20	2	68	30	ML	2.5 YR 8/2	10 YR 7/2	< 2	7.6	1.0	5.8	100	0.2	< 15	0.1	83.5	0.8	2.1



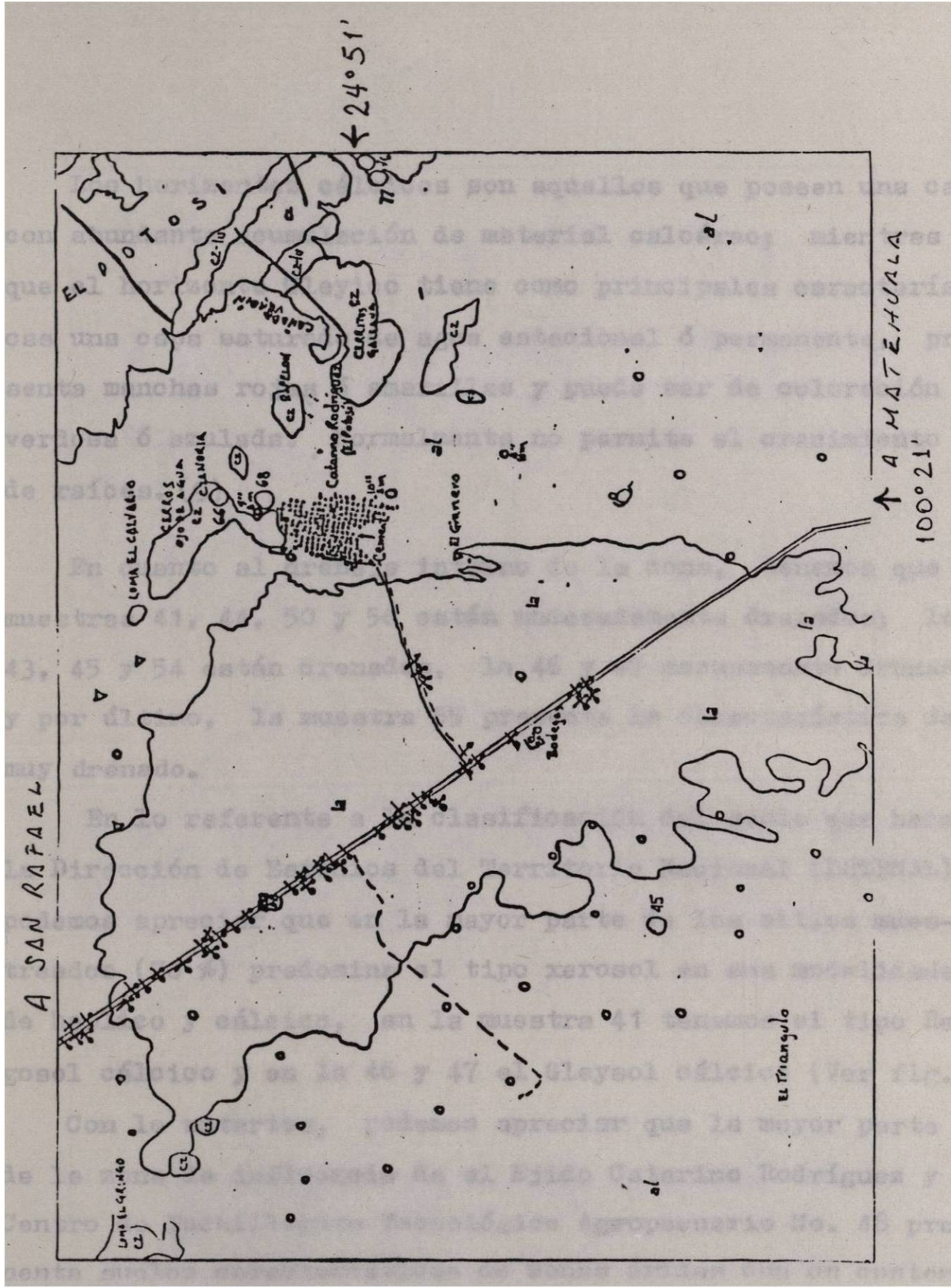


Figura No. 1. Carta geológica de la zona de influencia de el Ejido Catarino Rodríguez y el C.B.T. a.No. 48.

Los horizontes cálcicos son aquellos que poseen una capa con abundante acumulación de material calcáreo; mientras -- que el horizonte Gleyico tiene como principales característiticas una capa saturada de agua estacional ó permanente, presenta manchas rojas ó amarillas y puede ser de coloración -- verdosa ó azulada. Normalmente no permite el crecimiento -- de raíces. (9)

En cuanto al drenaje interno de la zona, tenemos que las muestras 41, 44, 50 y 56 están moderadamente drenadas; la 43, 45 y 54 están drenados, la 46 y 47 escasamente drenados y por último, la muestra 55 presenta la característica de muy drenado.

En lo referente a la clasificación del suelo que hace la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), podemos apreciar que en la mayor parte de los sitios muestreados (70 %) predomina el tipo xerosol en sus modalidades de haplico y cálcico, en la muestra 41 tenemos el tipo Regosol cálcico y en la 46 y 47 el Gleysol cálcico (Ver fig.2)

Con lo anterior, podemos apreciar que la mayor parte -- de la zona de influencia de el Ejido Catarino Rodríguez y -- Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 48 presenta suelos característicos de zonas áridas con un contenido moderado de materia orgánica, los cuales con una adecuada fertilización y el uso de mejoradores más idóneos, son capaces de dar buenas cosechas.







Otra característica que presentan los suelos del tipo regosol es que son muy permeables, y parecidos al grupo yermosol; en cuanto a la modalidad de calcicos, los mismos presentan un cierto contenido de material calcáreo, lo cual -- nos lleva al razonamiento de que, la misma caliza protege al suelo del peligro de sodicidad, debido a la propiedad que -- tiene de floccular la estructura del suelo, y muy particularmente, al complejo Arcilla-Humus, a excepción hecha de los sitios de muestra No. 45 que es donde se encuentran los terrenos del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 48, y el No. 55 ubicado a 3.750 Kms. del anterior y con dirección al suroeste, ya que estos sitios presentan fase -- sódica.

En lo referente a la fase salina nos encontramos que la misma esta presente en los sitios de muestreo 45, 46 y 47 55 y 56.

Y por último tenemos que las fases físicas del suelo se clasifican en Pedregosa para los sitios de muestreo 41 y 43; Petrocálcica para el 44, 50 y 56 y Petrocálcica profunda para el 54.

En lo tocante a los datos analíticos de las muestras, las mismas se hicieron a diferentes profundidades, variando desde .20 hasta 1.30 metros.

En el aspecto de clasificación textural tenemos que los sitios de muestreo 41 y 55 son francos; el 47, 55 y 56 son

migajón limoso, en sus diferentes profundidades; el 44 es migajón arenoso, el 45 es areno-migajón y el 47 es de textura limosa.

Por lo que respecta al color del suelo los mismos están reportados, de la siguiente manera:

La muestra 41 presenta el símbolo 7.5YR/3 que corresponde a un color beige con tinte 7.5YR valor 5 e intensidad 3.

Las muestras 44, 47 (en sus 4 diferentes profundidades) y 55 (en su estrato de 0. a .20 metros), presentan el símbolo 10YR6/1 que corresponde a un color castaño grisáceo con tinte 10YR valor 6 intensidad 1.

Las muestras 55 (en sus estratos de .80 a 1.00 m., y en el de .20 a .80 mt.) así como la 45 nos reportan el símbolo 7.5YR7/1, 2 y 3, que corresponde a un color gris claro con tinte 7.5YR valor 7 e intensidades 1, 2 y 3 respectivamente.

La muestra 56 presenta el símbolo 2.5YR8/2 que corresponde a un color crema con tinte 2.5YR valor 8 e intensidad 2. (17).

Los sitios de muestreo No. 41, 44 y 44 (estratos 0-.20 y 1.00 - 1.30 mt.) 55 (estrato 0-.20 mt.) y 56 quedaron comprendidas fuera del área salina ya que en ningún caso presentan valores de conductividad eléctrica mayores de 4 mmhos/cm y/o porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15.

Los sitios de muestreo 47 (en sus 2 estratos de .20 a .60 metros y el de .60 a 1.00 metro) y el 55 (en su estrato .20 a .80 metros), presentaron características de suelos salinos no-sódicos ya que su conductividad eléctrica -- presentó valores mayores de 4 mmhos/cm y su porcentaje de so dio, intercambiable fué menor de 15.

El sitio de muestreo No. 45 (en su estrato 0-.45mt) y el 55 (en su estrato de .80 a 1.00 mt.), fueron los únicos que presentaron en su perfil característica de suelos - salino sódico ya que sus muestras reportan una conductividad eléctrica mayor de 4 mmhos/cm y un porcentaje de sodio - intercambiable mayor de 15 (Ver cuadro No. 11)

## CONCLUSIONES

Dado el criterio analítico bajo el cual se desarrolló el presente estudio y en base a los resultados investigados durante dicho proceso, se concluye:

- 1.- La textura predominante de los suelos de la zona estudiada son de textura migajón limoso.
- 2.- La totalidad de los suelos son alcalinos con valores de pH que se encuentran en un rango de 7.5 a 8.0
- 3.- Los sitios de muestreo No. 41, 44, 47 (estratos 0-.20 y 1.00 - 1.30 mt.), 55 (estrato 0-.20 mt.) y 56 quedan comprendidos fuera de la zona de influencia de los suelos salinos y/o sódicos.
- 4.- Dentro de la zona de estudio se presentan suelos salinos no sódicos, como el sitio de muestreo 47 (en sus dos estratos de 0.20 a 0.60mt. y el de 0.60 a 1.00 mt.) y el 55 (en su estrato de 0.20 a 0.80 mt.), y suelos salinos sódicos como el sitio 44 y 55(en su estrato de 0.80 - 1.00 mt.)
- 5.- Debido a los niveles de calcio (meq/100 gr.) presentes, en la zona de estudio, la mayor parte del suelo es salino no-sódico, con una estructura favorable debido a que sus coloides están altamente floculados.

## SUGERENCIAS

Para realizar una mejora a estos suelos, lo más recomendable es la utilización de azufre, ya que se requerirían 1.5 Ton/Ha para una profundidad de 45 cm., y en un total de 100 hectáreas, (entre los 2 sitios de muestreo), se aplicarían 150 toneladas del producto comercial.

De acuerdo con los sitios muestreados que nos reporta la cartografía de la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), se aprecia que los suelos de la zona de estudio caen dentro de la clasificación de salinos normales lo cual es característico de zonas áridas con alto grado de evaporación e insolación, y escasa precipitación pluvial.

Lo más viable para corregir este problema, sería la programación de un proyecto de aplicación de láminas de lavado del suelo por parte de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, lo cual es factible ya que la zona cuenta con suficiente número de pozos profundos y agua de mediana calidad en abundancia.

## S U M M A R Y

The present research was conducted with the objective to analyze and characterize the soils of the influence zone of the Ejido Catarino Rodríguez and Agricultural Technical Bachillerato Center N°48 located in the municipality of Galeana N.L. The geographical location is 24° 51' North Latitude and 100° 21' of West Longitude respecting to the meridian of Greenwich.

The reason of the present work is the amount of soil surface (10,625 hectares) which is considered with a high potential for crop production. However, the salt and sodium problems represent a hazard which is common in the arid zones in the North part of Mexico.

In this research different cartography from the National Institute of Statistics, Geography and Informatics was used. Other kind of information was obtained from the literature related with this topic. The aspects related with the soil characteristics from the studied zone, were obtained from the bibliography published by the government of this zone.

The soils from this zone are classified as salty, non-sodic and saline-sodic. The first ones are susceptible of corrections with the application of hydro-technique methods and the others can be corrected using different kinds of amendments (chemical products).

According to the analyzed results the undergrounds of the zone are Fossil Salts, Local Salt Accumulation and Mineral weathering with the migajon and alkaline soil texture. The main unities of soil are Xerosoles.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ACEVES N.E. 1979. Ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, control, combate y adaptación) Colegio de Postgraduados E.N.A., Chapinro, Méx.
- 2.- \_\_\_\_\_ 1981. Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- 3.- ALLISON, L.E., et. al. 1977. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa. Trad. de U.S.D.A., Hand book 60. México.
- 4.- BUCKMAN, H.O. y BRADY, N.C. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simon S.A. 2da. Reimpresión, Barcelona España.
- 5.- BLACK, C.A. 1975 Relaciones Suelo-planta Tomo I. Ed. Hemisferio Sur, S.R.L., Buenos Aires Argentina.
- 6.- CHAPMAN H.D. Y PRATT, P.F. 1973. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y aguas. Ed. Trillas, México.
- 7.- DERRUAN, M. 1978 Geomorfología. Ed. Ariel México.

- 8.- FAO - UNESCO. 1968. Sistemas de Clasificación de las Unidades y Horizontes del Suelo-México.
- 9.- \_\_\_\_\_ 1970. Sistema de Clasificación de las Unidades y Horizontes del Suelo México.
- 10.- FERNANDEZ, G.R. 1972. El problema de salinidad de suelos en México y trabajos de recuperación de tierras ensalitradas S.M.C.S. Boletín de Junio. México.
- 11.- GARCIA, E. 1973. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana) U.N.A.M México.
- 12.- GARZA ARREOLA, J.R. 1979. Estudio preliminar de los suelos de un ecosistema de halófitas ubicada en el Sur de Galeana, N.L., Tesis U.A.N.L., Facultad de Agronomía, Monterrey N.L.
- 13.- ISRAEISEN Y HANSEN 1965. Principios y aplicaciones del riego. 2da. Edición, Ed. Reverte, S.A., Barcelona, España.



- 14.- KRAWER, J.P. 1974. Relaciones hídricas de Suelo y plantas, EDUTEX, S.A. México.
- 15.- MILLAR, C.E. TURK, L.M., Foth, H.D. 1972. Fundamentos de la Ciencia del Suelo, C.E.C.S.A., México.
- 16.- FIZARRO, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola España, S.A. Madrid, España.
- 17.- PALMER, R.G., Troeh, F.R. 1977. Introducción a la Ciencia del Suelo. EDITOR, S.A. México.
- 18.- PALACIOS, V.O., 1974. Sobre el desarrollo de una metodología de muestreo de suelos salinos. Revista Agrociencia No. 14., C.P., E.N.A. Chapingo, Méx.
- 19.- RICHARDS, L.A. 1974. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. LIMUSA, México.
- 20.- RODRIGUEZ, S.F. 1982. Nutrición Vegetal. Ed. LIMUSA México.
- 21.- TISDALE, L.S., Nelson L.W. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes U.T.E.H.A. S.A. de C.V. México.

- 22.- VELASCO M.H.A. 1983. Uso y Manejo del Suelo. Ed.  
LIMUSA, S.A. México.
- 23.- VILLARREAL Z.J. 1970. Una forma sencilla de emplear  
el factor salinidad en la clasi  
ficación agrícola, S.R.H. Memo-  
rándum Técnico No. 283, México.

