



21 00561
Universidad Nacional
Autónoma de México

3
leg.

Facultad de Ciencias

*"Efecto de Mejoradores Químicos en Suelos
Sódico - Salinos del Ejido Ciénega Grande
Xochimilco, D. F." a Nivel Invernadero*

EJEMPLAR UNICO

TESIS DE POSGRADO

*Que para obtener el Grado de
Maestra en Ciencias (Biología)*

p r e s e n t a

Biol. Irma Reyes Jaramillo

México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

A mis padres,
por su presencia, apoyo, cariño y por
iluminar mi vida.

A mis queridos hermanos:
Jorge, Rafael, Arturo y Marco Antonio.

A mis queridas hermanas:
Inés, Silvia y Martha Patricia.



A Héctor,
por su gran ayuda y cariño.

De manera especial,

dedico la presente con todo cariño

a mi maestro de siempre:

AL PROFESOR JAVIER MEDINA PALOMO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

" En ciencia, lo importante
es modificar y cambiar
las propias ideas a medida
que la ciencia progresa "

CLAUDE BERNARD

" Los libros son las abejas
que llevan el polen de una
inteligencia a otra ".

J.R. LOWELL

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento al M. en C. Nicolás Aguilera Herrera, quien sembró en mi la motivación y el interés en el estudio e investigación de la Edafología. Por haberme dirigido en la realización de esta tesis y por haberme permitido laborar en el laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias que se encuentra a su cargo.

Al Dr. Teófilo Herrera Suárez, a el M. en C. Nicolás Aguilera Herrera, a la M. en C. Norma Eugenia García Calderón, al M. en C. Mariano Villegas Soto, al Dr. David Flores Román, a la M. en C. Irma Domínguez Rubio y a la M. en C. Silvia Guadalupe Ramos Hernández quienes formaron el jurado calificador de esta tesis revisándola pacientemente y aportando valiosas ideas para la misma.

Agradezco al Programa de Superación del Personal Académico, del Comité Técnico de Becas de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo económico que recibí por medio de una beca para obtener el grado de Maestra en Ciencias.

Agradezco a mis maestros, compañeros y amigos que de manera directa o indirecta contribuyeron a la culminación de esta meta.

Por último quiero agradecer a la Srita Mara Spíndola Blanco y al Lic. Juan Manuel Martínez Andrade por la gran cooperación y ayuda que me brindaron en la mecanografía del trabajo.

I N D I C E

RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	3
II. OBJETIVOS	5
III. REVISION DE LITERATURA	6
1. Origen de la Salinización de los Suelos	6
1.2 Clasificación de los Suelos Salinos	7
1.3 Suelos Salinos	7
1.4 Suelos Sódicos	9
1.5 Suelos Salino-Sódicos	10
2. Los Suelos Ensalitrados y el Crecimiento de las Plantas	13
3. La Recuperación de los Suelos con Problemas de Salinidad	16
4. Mejoradores Químicos, Características y Reacción en el Suelo	21
4.1 Yeso	21
4.2 Cloruro de Calcio	23
4.3 Azufre	23
4.4 Acido Sulfúrico	24
4.5 Sulfatos de Hierro y Aluminio	24
4.6 La Pirita	25
5. Tolerancia Relativa de los Cultivos a las Sales	27
IV. ANTECEDENTES SOBRE RECUPERACION DE SUELOS	31
V. CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	49
1. Localización	49
2. Geología	49
3. Hidrología	54

3.1.	La contaminación de los Canales de Xochimilco	58
4.	Clima	64
5.	Vegetación	64
6.	Suelos	67
7.	La Agricultura Chinampera	69
VI.	MATERIAL Y METODOS	78
VII.	RESULTADOS	85
VIII	DISCUSION	125
IX	CONCLUSIONES	131
X	SUGERENCIAS	133
XI	REFERENCIAS	136

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de un estudio preliminar a nivel de invernadero, sobre la recuperación de los suelos del Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, D.F., en los que se presentan serios problemas de salinidad y sodicidad.

Se aplicaron tratamientos físicos y químicos que permitieron eliminar el exceso de sales y de sodio intercambiable.

El diseño experimental fue bifactorial combinatorio, donde los factores fueron los mejoradores: ácido sulfúrico, cloruro férrico, cloruro de calcio y sulfato de calcio, en dos dosis: 100% y 150% calculadas con base en la sustitución del sodio intercambiable del suelo. Con tres repeticiones.

Las unidades experimentales empleadas fueron: botellas de vidrio de un litro de capacidad con 500 g de suelo, secado al aire libre y tamizado; y macetas de plástico de 2 kg de capacidad, con un kilogramo de suelo, en los cuales se aplicaron solamente los mejoradores cloruro de calcio y sulfato de calcio, en dosis de 100%, con tres repeticiones.

Para la desalinización del suelo, se empleó una lámina de agua de 60 cm., lográndose una $C.E_e$ menor de 3.0 mmhos/cm a 25°C en el efluente final.

El lavado del exceso de sales del suelo y la aplicación de los mejoradores químicos cambiaron significativamente la concentración de sales y sodio en el suelo. De una $C.E_e$ de 36 mmhos/cm a valores de 0.77 mmhos/cm en el testigo y en los tratamientos a valores menores de 3.0 mmhos/cm. El PSI de 39.72 se redujo, después de lavar, de manera significativa a valores menores de 2.0.

El pH del extracto de la pasta de saturación disminuyó en función del mejorador y en algunos casos de la dosis.

Los cationes intercambiables Mg^{++} , Na^+ y K^+ disminuyeron su concentración, sobre todo el Na^+ de 41.42 meq/100 g a 2.6 meq/100 g. El calcio intercambiable se encontró muy relacionado con la composición química de los mejoradores empleados.



2

En el análisis de varianza no se encontró diferencia significativa entre los cuatro mejoradores químicos, en cuanto a los valores de PSI, SI y CE_e . Pero si se encontró diferencia entre los tratamientos con mejoradores químicos y el testigo. Por otra parte, no se encontró interacción entre mejoradores y dosis.

Los resultados de los tratamientos con mejoradores cálcicos en macetas y sembrados con rábano, mostraron que no hubo diferencia significativa en la disminución del PSI entre los suelos tratados con yeso y con cloruro de calcio. El valor promedio en peso seco de las plantas de rábano tratadas con $CaCl_2$ fue de 0.167 g. y con yeso de 0.048 g.

Para obtener las pruebas de significancia con respecto a los diferentes mejoradores y los valores de pH, PSI, CE_e , SI y Ca^{++} se le aplicó a los resultados, la prueba de Tukey.

Finalmente se llegó a varias conclusiones:

i. La recuperación de estos suelos es fuertemente beneficiada con la simple aplicación del agua de lavado, sin embargo, los mejoradores contribuyen a que el proceso sea más rápido y al mismo tiempo permiten incrementos en la biomasa vegetal.

ii. El orden de conveniencia económica con respecto al costo de los mejoradores es: yeso H_2SO_4 $CaCl_2$ $FeCl_3$.

iii. El orden de eficiencia en lo que se refiere en la sustitución del sodio adsorbido, considerando los valores promedio de los cuatro mejoradores en las dos dosis fue:

Tomando en cuenta los valores de PSI

$CaCl_2 > H_2SO_4 > Yeso > FeCl_3 > Testigo$

iv. No hubo diferencia significativa con respecto al PSI y CE_e entre las dosis de 100% y 150% de los diferentes mejoradores.



I. INTRODUCCION

Los suelos con problemas de sales y/o sodio se localizan en las regiones áridas y semiáridas del mundo. Aparecen también en regiones húmedas tropicales y subtropicales, lagos de agua salada, lagunas, estuarios, ríos, arroyos, etc. y en lugares donde el manejo del agua de riego es inadecuado.

Son grandes áreas territoriales en el mundo, que están siendo afectadas por la salinidad, que impide el crecimiento de las plantas, se considera que es aproximadamente el 40% del 4×10^9 ha de suelo potencialmente arable.

En México, el problema del ensalitramiento es de gran relevancia, debido a que las zonas áridas y semiáridas ocupan el 55.7% del territorio nacional (Anaya, 1983), y según datos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, cerca del 30% de la superficie bajo riego en México, enfrenta problemas de salinidad (Marquez, 1983).

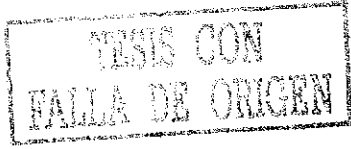
Se considera que además del área bajo riego ensalitrada, existen un total de aproximadamente 4,300,000 hectáreas afectadas en todo el territorio nacional (Aceves, 1981).

Ante la evidencia del deterioro del recurso natural suelo y la necesidad cada vez más urgente de ser autosuficientes en la producción de alimentos en beneficio del hombre, se realizó el presente estudio sobre la recuperación de la fertilidad del suelo con problemas de salinidad y sodicidad del Ejido Ciénega Grande Xochimilco, D.F., deseando se continúen estos estudios para preservar ecológica, edáfica, bioclimática, hidráulica y atmosféricamente la Delegación de Xochimilco y no sólo quede está, como una zona con antecedentes de una alta producción agrícola, lograda por medio de métodos autóctonos como fueron las chinampas, mediante las cuales expandieron la tierra de cultivo sobre los pantanos, ciénegas y lagunas.



La contaminación por sales de los suelos de esta localidad es debida tanto a factores naturales como inducidos, entre los cuales destacan: 1) La geoforma del lugar que ha propiciado la acumulación de minerales, productos del intemperismo de materiales de las zonas altas que han sido deforestadas y erosionadas hacia las partes bajas de Xochimilco. 2) La explosión demográfica de la metrópoli y con ello la demanda creciente de agua potable, cuyo recurso fue extraído de este sitio y llevado a la Ciudad de México, con lo que Xochimilco perdió su forma natural de lavado y humedad del suelo. 3) El riego con aguas negras de mala calidad que ha contribuido a la salinidad del lugar, como lo ha sido también, 4) El origen palustre de todas estas áreas.

La salinidad tanto del agua como del suelo, han disminuido la producción agrícola, que para sus habitantes es de capital importancia. En la actualidad los terrenos que aún lo permiten estan siendo utilizados en cultivos de autoconsumo por la gente de la región, así como para la producción de flores que abastece en gran parte al mercado de la Ciudad de México, actividades que necesitan reactivarse intensivamente para dar una solución económica, que le dé a este lugar la importancia necesaria para resistir las presiones - que lo tratan de extinguir.



II. OBJETIVOS.

- Evaluar el uso de mejoradores, para la recuperación de un suelo sódico-salino.
- Evaluar la eficiencia de los mejoradores químicos: yeso, cloruro de calcio, cloruro férrico y ácido sulfúrico en la sustitución del sodio para la recuperación de un suelo sódico-salino del Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, D. F.
- Determinar la lámina de agua, para lavar el exceso de sales solubles de estos suelos.
- Con base en los resultados obtenidos a nivel de invernadero y de laboratorio, calcular las necesidades de mejoradores por hectárea y costos de los mismos.
- Dar sugerencias que contribuyan a resolver el problema de esta zona de importancia agrícola.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

III. REVISION DE LITERATURA

1. Origen de la Salinización de los Suelos.

Los minerales primarios procedentes del intemperismo de las rocas, son la fuente principal de sales en los suelos. En orden de importancia, le siguen los océanos, los volcanes, los microorganismos capaces de fijar o liberar nitrógeno y dióxido de carbono y los desechos industriales.

La acumulación de sales se encuentra asociada con procesos naturales o inducidos, los primeros comprenden: depresiones con drenaje impedido, planicies con inundaciones periódicas y deltas de ríos. Las condiciones inducidas comprenden: infiltración en canales y uso excesivo de volúmenes de riego, que favorecen la elevación del manto freático. La intrusión de aguas salinas por abatimiento de niveles en los acuíferos debido al exceso de bombeo. Empleo de agua de mala calidad, deficiente manejo del agua de riego y dosis excesivas de fertilización. (Aceves -1981).

Cuando los mecanismos de acumulación de sales se producen por condiciones naturales, generalmente se forman suelos con problemas de salinidad debido a deficiencias de drenaje superficial y/o subterráneo, ya que cuando las aguas no drenan de manera satisfactoria se encharcan o alcanzan altos niveles freáticos que al evaporarse o evapotranspirarse acumulan sales disueltas en la superficie del suelo.

Cuando los mecanismos son inducidos, la acumulación de sales representa un problema de importancia económica, ya que por lo regular, se presenta en áreas agrícolas bajo riego donde la causa es el mal manejo del agua.

1.2 Clasificación de los Suelos Salinos.

Existen varias clasificaciones de suelos salinos y cada una de ellas presentan ventajas e inconvenientes, sin embargo la clasificación más simple y práctica es la propuesta por el Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.

Esta clasificación utiliza fundamentalmente dos parámetros para caracterizar los suelos: la conductividad eléctrica (C.E.) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). La C.E. indica los efectos de la salinidad sobre la planta y el PSI es un índice de los efectos sobre las propiedades del suelo.

Los suelos se clasifican en tres categorías:

1. Suelos salinos.
2. Suelos sódicos.
3. Suelos salino-sódicos.

1.3 Suelos Salinos.

Se definen como los que contienen en la zona radicular una cantidad de sales disueltas en la solución del suelo suficientemente alta para restringir el desarrollo de los cultivos y se ha tomado como límite inferior una conductividad eléctrica del extracto de la pasta de saturación de 4.0 mmhos/cm a 25°C. La reacción de estos suelos es de neutra a ligeramente alcalina, el pH puede variar entre 7 y menos 8.5 El PSI se mantiene por debajo del 15%, por lo que la estructura del suelo no se ve afectada.

Por los tipos de sales presentes que afectan a la recuperación de estos suelos se pueden clasificar en:

- a.- Suelos salinos con Na^+ , que contienen principalmente NaCl y Na_2SO_4 .
- b.- Suelos salinos con Ca^{++} y Mg^{++} que contienen principalmente MgSO_4 , MgCl_2 , CaCl_2 y CaSO_4 (Pizarro, 1978).

En la solución del suelo el Na^+ rara vez representa más de la mitad de los cationes disueltos y por tanto, no es adsorbido en forma importante. Los aniones principales son los cloruros y los sulfatos. Se pueden presentar también pequeñas cantidades de bicarbonatos, pero invariablemente los carbonatos solubles casi no se encuentran.

Los suelos salinos casi siempre se reconocen por la presencia de costras blancas en su superficie. Con un drenaje adecuado, se pueden eliminar las sales solubles por medio de lavados, con lo cual el suelo pasa a ser normal. Estos suelos casi siempre se encuentran floculados, debido a la presencia de un exceso de sales en solución y al reducido PSI. En consecuencia, su permeabilidad es igual o mayor a la de los suelos similares no salinos.

Atendiendo a sus efectos sobre las producciones de los cultivos, los suelos salinos se pueden clasificar como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de los suelos salinos con base a la producción de los cultivos.

Clase de salinidad	C.E.(mmhos/cm)	Descripción
Ligeramente salinos	2 - 4	Rendimientos restringidos de cultivos sensibles.
Medianamente salinos	4 - 8	Rendimientos restringidos en la mayor parte de los cultivos.
Fuertemente salinos	8 -16	Rendimientos satisfactorios solo en cultivos tolerantes.
Extremadamente salinos	mayor de 16	Muy pocos cultivos dan rendimientos satisfactorios.

Con base en el contenido salino del extracto de saturación también se ha hecho una clasificación de los suelos, como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de suelos por el contenido salino del extracto de saturación, tomado de Aceves, 1981.

Tipo	C.E. x 10 ³ (mmhos/cm)
Normal	menor de 1.0
Transformándose a salino	de 1.0 a 2.0
Salino	de 2.0 a 3.0
Altamente salino	mayor de 3.0

1.4 Suelos Sódicos.

Se definen como los que contienen en la zona radicular suficientemente sodio adsorbido por el complejo de cambio para desarrollar propiedades físicas y químicas desfavorables, restringiendo el normal crecimiento de las plantas.

En estos suelos el PSI es mayor de 15% y la conductividad del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25°C. El pH generalmente varía entre 8.5 y 10.0, la reacción de estos suelos varía según el PSI y la presencia o ausencia de $\text{CO}_3^{=}$ o HCO_3^- .

La solución del suelo contiene en su mayoría cloruros, sulfatos y bicarbonatos, aunque puede haber pequeñas cantidades de carbonatos. A pH muy elevado y en presencia de iones carbonato, el calcio y el magnesio precipitan y predomina el sodio en la solución del suelo.

En estos suelos las arcillas se dispersan, son arrastradas por el agua de lavado y pueden acumularse a pocos centímetros de profundidad, formando una capa pesada, de estructura prismática o columnar, poco permeable. La capa superior presenta textura gruesa y quebradiza.

En los de elevado PSI, la materia orgánica se dispersa y disuelve, depositándose en la superficie, a la que da un color oscuro característico, dando origen a la denominación de "álcali-negro"

Un suelo con elevado PSI se ve afectado en sus propiedades físicas entre otras, en su estructura y permeabilidad las cuales afectan indirectamente a los cultivos. Sin embargo, hay algunos cultivos sensibles al sodio adsorbido por el complejo de cambio, cuya presencia provoca en ellos toxicidad, como se puede apreciar en el cuadro 3.

1.5 Suelos Salino-Sódicos.

Son aquellos que en la zona radicular contienen una cantidad de sales solubles, medidas por la C.E. y el PSI suficientes para restringir el crecimiento de las plantas. Como límite se adoptan: la C.E. del extracto de saturación mayor de 4 mmhos/cm a 25°C y el PSI mayor de 15%. Este tipo de suelos se forma como resultado de los procesos combinados de salinización y acumulación de sodio.

Siempre que contengan un exceso de sales, su apariencia y propiedades son similares a las de los suelos salinos. En ese caso el pH raramente es mayor de 8.5 y las partículas permanecen floculadas. Si el exceso de sales solubles es lavado, la propiedades de estos suelos se pueden cambiar notablemente, llegando ser idénticas a las de los suelos sódicos. A medida que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de sodio que, a su vez, con el CO₂ -

presente en la atmósfera del suelo puede formar Na_2CO_3 . En cualquier caso, el lavado de un suelo puede hacerlo mucho más alcalino y las partículas coloidales se dispersan de la misma manera que en los suelos sódicos.

Cuadro 3. Cultivos afectados por altos valores de PSI.

PSI	CULTIVOS	EFFECTOS
2 - 10	<u>Muy sensibles</u> frutales y agrios.	Síntomas de toxicidad debidos al sodio, aun en niveles bajos.
10 - 20	<u>Sensibles</u> Judía Maíz	Reducción del crecimiento aun con suelos en buenas condiciones físicas.
20 - 40	<u>Tolerantes</u> Zanahoria Trebol Lechuga Avena Cebolla Rábano Arroz Sorgo Espinaca	Ligeros síntomas de toxicidad debida al sodio. Los efectos indirectos (deterioro de las propiedades del suelo) son más importantes.
mayor de 40	<u>Muy tolerantes</u> Tomate Arveja Trigo Alfalfa Cebada Remolacha Algodón	Los cultivos se ven afectados únicamente por los efectos indirectos.

Pizarro, F. 1978.

Cuando los suelos salino-sódicos contienen yeso, al ser lavados el calcio se disuelve reemplazando al sodio adsorbido, con lo que el lavado se produce sin deterioro de la estructura.

Cuadro 4. Clasificación de los suelos sódicos según el PSI.

CLASE	PSI	% PRODUCCION DE LOS CULTIVOS
Ligeramente sódicos	7 - 15	80 - 60
Medianamente sódicos	15 - 20	60 - 40
Fuertemente sódicos	20 - 30	40 - 20
Extremadamente sódicos	mayor de 30	menor de 20

Pizarro, F. 1978.

2. Los Suelos Ensalitrados y el Crecimiento de las Plantas.

Las sales disueltas que forman parte de la solución del suelo afectan a las plantas a través de dos mecanismos diferentes: aumentando la presión osmótica y por su efecto tóxico.

Al elevarse el contenido de sales en la solución del suelo, aumenta la presión osmótica lo cual ocasiona que las plantas invierten más energía para tomar el agua. A concentraciones altas de sales, el agua tiende a movilizarse de la planta a la solución salina, dando como resultado el fenómeno de plasmólisis que en condiciones extremas ocasiona la muerte de las plantas.

Las concentraciones elevadas de ciertos iones, interfieren con el aprovechamiento de algunos nutrimentos ocasionando antagonismo.

Las sales pueden contener proporciones tóxicas de elementos tales como: boro, selenio y arsénico entre otros. (Grande, 1980).

Un exceso de sodio perjudica a las plantas principalmente, por los cambios físicos y químicos de las propiedades del suelo, que no son deseables. La dispersión de las arcillas por el exceso de sodio, hace perder la agregación del suelo con lo que se disminuye la permeabilidad para el aire y el agua. Lo anterior favorece la formación de costras impenetrables, que no permiten el desarrollo completo de las plantas.

Los suelos sódicos pobres en sales presentan pH tan alto, que reduce la disponibilidad de algunos nutrimentos, por ejemplo: del Fe^{++} , Mn^{++} , Ca^{++} y Mg^{++} ; los dos primeros por tener baja solubilidad a valores elevados de pH. (Hausenbiller, 1981).

Dependiendo de la especie, las plantas tienen tolerancias variables con respecto a las sales en los suelos y los efectos específicos sobre las diferentes partes de la planta, también son variables.

El principal daño se presenta en la germinación y en las primeras etapas del desarrollo de las plantas (Donahue, 1977; Ayers, 1952).

La germinación de semillas en condiciones de salinidad es variable, por ejemplo se ha observado que semillas de frijol y remolacha azucarera son más sensibles que la alfalfa y la cebada con respecto al porcentaje de germinación. La germinación de la alfalfa y de la cebada no se vio significativamente afectada, donde la conductividad eléctrica del extracto de saturación fue de 4 mmhos/cm. (Hausenbuiller, 1981).

A medida que aumenta la concentración salina de la solución del suelo aumenta su presión osmótica y llega un momento en que las raíces de las plantas no tienen la fuerza de succión necesaria para contrarrestar esa presión y en consecuencia no absorben el agua del suelo. Tanto es así, que el carácter de halofitismo se debe a adaptaciones morfológicas y/o fisiológicas de las plantas que le permiten absorber agua de soluciones de elevada presión osmótica.

De las adaptaciones que las plantas han desarrollado para poder crecer en medios ambientes salinos, podemos mencionar, por ejemplo: Salicornia herbacea que puede crecer en suelos muy salinos debido a que su plasma celular es muy permeable a las sales y al hecho de que acumula grandes cantidades de sales en sus órganos, con lo cual eleva la presión osmótica interior, que se aproxima a la de la solución del suelo, facilitando la absorción del agua. Otras plantas halófitas acumulan distintas sustancias, como Salso-la soda que acumula ácidos orgánicos. Los ácidos orgánicos sintetizados pueden ser el ácido oxálico y málico, los cuales se han encontrado acumulados en halófitas y otras plantas expuestas a altas concentraciones de sales ó a stress por agua. El ácido orgánico cargado negativamente balancea la excesiva acumulación de cargas positivas como la del Na^+ .

Otras plantas halófitas como Artemisia maritima, acumulan hidratos de carbono.

El contenido de sales en los tejidos puede ser modificado también, como ciertos arbustos del desierto los cuales por sus hojas inferiores arrojan el exceso de sales, cuando éstas se acumulan en un nivel crítico en la hoja.

Las hojas de especies de Atriplex y de otras halófitas tienen estructuras especializadas llamadas glándulas de sal, las cuales colectan la sal del tejido circundante y entonces secretan altas concentraciones de sal a la superficie de la hoja y por medio de la lluvia es eliminada.

Otras plantas cuando son expuestas a la salinidad responden incrementando la entrada de agua en sus tejidos, lo cual les da succulencia y diluye la concentración de sales en los tejidos.

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

Una característica que potencialmente puede ser explotada genéticamente, es la tolerancia a las sales a un nivel celular. La regulación osmótica del agua es fácilmente conseguida por la acumulación de sal en las células. Si la célula puede mantener procesos bioquímicos y fisiológicos en la presencia de altas concentraciones de sal, el organismo tendrá éxito y será productivo en un medio ambiente salino. Lo cual es de interés para los programas de reproducción de plantas tolerantes a la salinidad. (William, 1975, Flowers, et al, 1977).

3. Recuperación de Suelos con Problemas de Salinidad.

La recuperación de suelos afectados por sales, consiste en la eliminación de sales solubles, sodio intercambiable ó ambos para devolver a estos suelos su estado normal y productivo con respecto a las plantas.

Para la recuperación de suelos salinos, sódicos y salino-sódicos se utilizan los siguientes métodos, cuya combinación complementa su eficiencia. (Aceves, 1981).

a.- Recuperación por métodos físicos.

- Inversión del fertil.
- Acondicionamiento de la textura del suelo.
- Subsoleo.
- Labranza o barbecho profundo.
- Impermeabilizantes artificiales.

b.- Recuperación por métodos químicos.

- Sales cálcicas solubles: yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- Ácidos y formadores de ácidos: azufre (S), ácido sulfúrico (H_2SO_4), sulfatos de hierro y aluminio ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), polisulfuro de calcio (CaS_5), la vinaza y la pirita (FeS_2).
- Compuestos cálcicos de baja solubilidad: la caliza (CaCO_3) y la dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

c.- Recuperación por métodos hidrotécnicos.

- Métodos de lavado: riego por surcos, goteo, sub-irrigación, aspersión y por inundación.
- Drenaje.

d.- Recuperación por métodos biológicos.

- Incorporación de: estiércoles, abonos verdes, compostas, algas y otros.

- Establecimientos de plantas nativas o cultivos tolerantes.
- Mejora de la resistencia de las plantas a la salinidad.

e.- Recuperación por métodos eléctricos.

- Estos métodos se basan en la aplicación directa de una corriente eléctrica al suelo, involucran do varios procesos y principios electroquímicos complejos como electrodiálisis, electroforesis, electrólisis y electroósmosis, que toman lugar cuando una corriente eléctrica pasa a través de un suelo saturado. Estos procesos favorecen la remoción de cationes intercambiables del suelo.

En resumen se puede decir, que los métodos de recuperación de suelos con problemas de sales son: físicos, químicos, hidrotécnicos, biológicos y eléctricos.

Los métodos físicos comprenden principalmente, el barbecho profundo, subsoleo, adición de arena e inversión del perfil.

El barbecho profundo se utiliza para mejorar la permeabilidad del suelo, cuando existen estratos de diferentes permeabilidades y/o para llevar a la superficie el CaCO_3 , normalmente se efectúa desde 50 hasta 150 cm.

El subsoleo se hace para romper estratos duros.

La adición de arena se efectúa también con fines de mejoramiento de la permeabilidad del suelo, aunque su efecto se restringe a la capa superficial.

La inversión del perfil se utiliza cuando el suelo superficial es bueno, pero la parte superior del subsuelo no lo es.

Los métodos biológicos que consisten en la incorporación de estiércoles, el enterrado de abonos verdes y de otras enmiendas, ayudan a la recuperación de los suelos sa

linos de la siguiente manera: mejorando la estructura y la permeabilidad del suelo, liberando CO_2 y aumentando la solubilidad del CaCO_3 .

El establecimiento de plantas nativas o cultivos tolerantes, favorece la conductividad hidráulica y también la estructura del suelo, reducen la evaporación y mantienen un control sobre el nivel freático, como es el caso del girasol, que además aporta gran cantidad de materia vegetal al suelo y debido a su elevada evapotranspiración, hace descender la capa freática, disminuyendo así, el aporte capilar de sales. Otros cultivos que eliminan cantidades importantes de sales son la alfalfa que puede extraer 25 kg de Na^+ por ha, el apio y los puerros. (Pizarro, 1978).

Biológicamente también se ha experimentado el mejoramiento de suelos sódicos con algas azul-verdes. (Subhashine y Kanshik, 1981).

Los métodos eléctricos son aquéllos que estimulan la recuperación de suelos sódicos y salino-sódicos, mediante el paso de una corriente eléctrica. Estas técnicas son las más recientes para la recuperación de suelos con problemas de sales, y aún se hallan en vías de mayor experimentación que conduzcan a datos concluyentes sobre las especificaciones de su uso. (Aceves, 1981).

Experimentos en laboratorio y en campo han mostrado que tratamientos con corriente eléctrica y lavados pueden estimular la recuperación de suelos salinos y salino-sódicos, ya que incrementan la desalinización y la desodización a su capacidad máxima de retención de humedad del suelo, y con pequeñas aplicaciones de yeso (en el caso de los sódicos) el método suele ser más efectivo ya que se disminuye la cantidad de corriente empleada y aumenta la velocidad de recuperación, debido a la formación de agregados estables al agua; asimismo tan pronto se conecta la corriente aumenta la velocidad de infiltración y percolación en los suelos sódicos. (Aibasov y col., 1967; Fernández, 1966; Puri y Bal mokand, 1936; Bereziw, 1968; citados por Aceves, 1981).

Los métodos hidrotécnicos que se componen de lavado y drenaje, son los principales componentes para un proyecto de recuperación y prevención de una salinización secundaria.

En la actualidad, el único procedimiento práctico de extraer las sales del suelo es el lavado de las mismas, el cual consisten en hacer pasar a través del suelo una cierta cantidad de agua que arrastre las sales existentes. Para que los lavados sean efectivos, se requiere que el suelo tenga un drenaje que permita la eliminación subterránea de las aguas. Cuando se trata de suelos salinos no sódicos, este procedimiento es suficiente, ya que las sales se encuentran disueltas en la solución del suelo y son fácilmente arrastradas por el agua de lavado. En cambio cuando se trata de suelos sódicos, el sodio se encuentra retenido por el complejo de cambio mediante enlaces químicos y el paso del agua de lavado no es suficiente para romper esos enlaces, con lo que el sodio no es eliminado.

La liberación del sodio se consigue, mediante la adición de sustancias llamadas mejoradores, por ejemplo, el yeso que aporta calcio el cual desplaza al sodio de sus enlaces químicos y lo dejan en disposición de ser lavado.

En los métodos tradicionales de recuperación de suelos sódicos, que se han mencionado, a la aplicación de mejoradores químicos le sigue un lavado con agua electrolíticamente pobre, en consecuencia la solución del suelo permanece relativamente baja en concentración de sales y como resultado la permeabilidad es extremadamente baja y la infiltración del agua es lenta, lo cual afecta adversamente el programa de recuperación.

Estudios realizados por Reeve y Bower (1960), citados por (Allison, 1964) mostraron que suelos con altos contenidos de sodio pueden ser recuperados en un período de tiempo relativamente corto si primero, son saturados con agua altamente salina, tal como el agua de mar o de otras fuentes, para flocular el suelo y hacerlo permeable. Lo anterior teniendo en cuenta, que la relación de sodio adsorbido (RAS)

del agua de lavado inicial, sea mayor que la RAS del extracto de saturación del suelo que se quiere recuperar. En estos trabajos el lavado inicial es seguido por sucesivos lavados con diluciones del agua altamente salina y del agua de riego.

Los métodos químicos consisten en intercambiar sodio por calcio, mediante el uso de sales cálcicas de alta y baja solubilidad, así como también, de ácidos cuando el suelo contiene calcio.

4. Los Mejoradores Químicos, sus características y su reacción en el Suelo.

La aplicación de los mejoradores es necesaria cuando haya exceso de Na^+ , es decir para valores altos del PSI.

4.1 Yeso.

El yeso es el mejorador químico más utilizado para la recuperación de suelos con problemas de salinidad, como lo demuestran los trabajos de (Overstreet et al, 1951; Rodríguez, 1965; Juárez, 1967; Serrano, 1969; Arana, 1970; Llerena, 1970; Mizquez, 1973; Ureña, 1975; López, 1976; Prather et al, 1978; Oster y Frenkel, 1980; Olsem y Watanabe, 1979; Mohite y Shingte, 1981; Gaxiola, 1980; Ramírez, 1982; Shainberg et al, 1982). Como enmienda para la desodización de suelos.

El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), es un sulfato cálcico con dos moléculas de agua y que ocupa la posición 2.5 a 2 en la escala de dureza de Mohs. Es un mineral fácil de rayar con la uña, pues es mas blando que la calcita pero menos que el talco, su gravedad específica es de 2.3 a 2.4.

Hay diferentes variedades de sulfato cálcico, a saber, anhidrita, yeso monohidratado $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, el yeso de moldar usado por los cirujanos en la fractura de huesos, el alabastro que es blanco y cristalino y la selenita que es transparente.

El agua de mar es el origen del yeso y el que se usa como enmienda en suelos sódicos, existe en forma de roca consolidada en las minas, de donde se extrae mediante explosivos.

El yeso comercial puede variar en pureza de 50 a 95% ó más, y libre de impurezas contiene 79.1% de CaSO_4 (32.6% CaO y 46.5% de SO_3) y 20.9% de H_2O combinada.

La eficiencia del yeso depende del tamaño de sus partículas, los mejores resultados se han obtenido con el yeso que pasa por el tamiz de 100 mallas.

Una parte de yeso se disuelve aproximadamente en 371 partes de agua a 32°C. (Bonnet, 1968).

Bajo condiciones de laboratorio, un litro de agua disuelve aproximadamente 36 miliequivalentes de calcio como yeso.

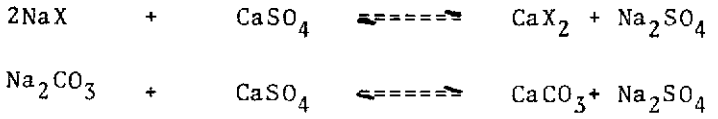
En condiciones de campo, su solubilidad va a depender de la presencia de otras sales, tales como el NaCl, que aumenta la solubilidad del yeso varias veces, así como de la temperatura y de su finura; consecuentemente la rapidez de reacción con el sodio intercambiable queda limitada por su solubilidad. (Aceves, 1981).

En cuanto a la aplicación, puede extenderse directamente sobre la tierra o añadirlo al agua de riego. En el primer caso se distribuye "a voleo" y después se incorpora al suelo - con discos o arado.

Chena (1958-59), hizo un estudio sobre la importancia de la profundidad de aplicación del yeso, en la recuperación de un suelo sódico-salino y reporta, que como regla general, cualquier cantidad menor de 3 ton de yeso/ha deben aplicarse sobre la superficie del suelo y cualquier cantidad mayor, debe mezclarse con el suelo. Chena experimentó con las profundidades de 15, 30 y 45 cm. en relación con la incorporación del yeso en el terreno y obtuvo mejores resultados con la mezcla realizada a los 30 cm.

A continuación de la aplicación del yeso es conveniente lavar el suelo, para que el mejorador se solubilice y se distribuya en profundidad. Esta práctica es aplicable a todos los mejoradores químicos, excepto al azufre.

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



4.2 Cloruro de Calcio.

Debido a su elevada solubilidad (427 g/l a 20°C) el cloruro de calcio (CaCl₂.2H₂O) es un mejorador químico de efectos muy rápidos y gran eficiencia. Sin embargo, su empleo esta muy limitado por su elevado costo, que impide su uso a nivel de campo.

Los trabajos realizados sobre este mejorador no son tan numerosos como los que han sido reportados sobre el yeso, entre ellos tenemos (Prather et al, 1978; Arora, - 1981; Shainberg et al, 1982).

Existen otras sales cálcicas solubles, como son CaO, Ca(OH)₂, Ca(NO₃)₂, etc. pero de poca utilización.

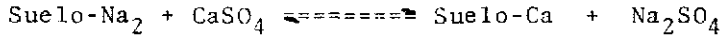
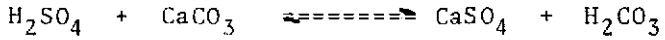
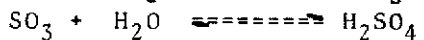
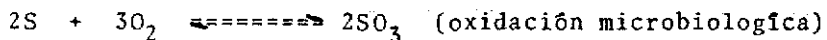
El suelo con cloruro de calcio produce la siguiente reacción:



4.3 Azufre.

El azufre es un mejorador químico muy utilizado, debido a su bajo costo; usualmente se aplica en su forma elemental, con una pureza que varía del 50 al 99% o más y es insoluble en agua.

Es imprescindible que el suelo contenga al menos el 1% de CaCO₃ para que puedan efectuarse las siguientes reacciones:



La oxidación microbiana para formar el H₂SO₄ se lleva a cabo por las bacterias Thiobacillus thiooxidans.

El azufre es un mejorador lento, ya que se ha observado que una tonelada de azufre tarda en oxidarse aproximadamente de dos a tres semanas en suelos livianos con buena aireación y drenaje apropiado, y en suelos pesados con pobre aireación y drenaje, se prolonga hasta más de un año.

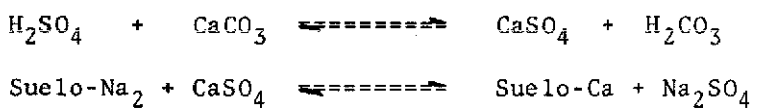
Los suelos que han recibido azufre no deben ser lavados hasta después de cierto tiempo, para permitir que este elemento se oxide. Sin embargo el suelo debe mantenerse húmedo, lo cual es esencial para la acidez del suelo.

De los trabajos realizados con azufre podemos mencionar (Overstreet et al, 1951; López, 1976; Rodríguez, 1965; Ureña, 1975; Díaz, 1982; Becerra, 1983).

4.4 Acido Sulfúrico.

El ácido sulfúrico tiene un costo más elevado que el yeso y el azufre, sin embargo, es usado con cierta regularidad.

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



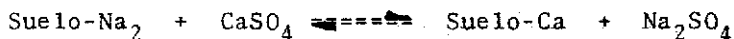
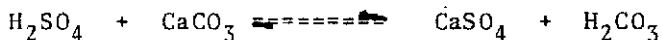
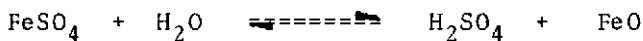
Inicialmente su empleo era rechazado por peligroso, pero hoy existen equipos adecuados que lo incorporan al terreno mediante inyección, pudiendo aplicarlo incluso a diferentes profundidades.

4.5 Sulfatos de Hierro y Aluminio.

El sulfato de hierro contiene 12% de azufre, cuando

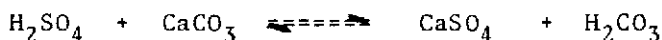
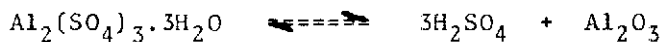
reacciona forma yeso y óxidos de hierro, los cuales actúan como agentes cementantes del suelo y fuente de hierro para las plantas.

En el caso del FeSO_4 la reacción es la siguiente:



El sulfato de aluminio es más efectivo que el sulfato de hierro para reemplazar el sodio adsorbido.

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

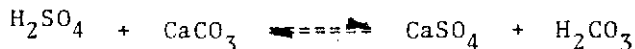
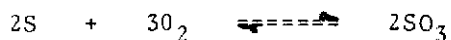
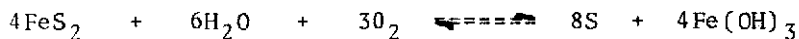


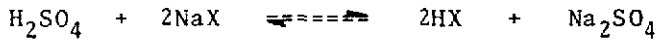
Un inconveniente de este mejorador es su efecto tóxico residual del aluminio sobre las plantas.

El sulfato de aluminio y de hierro son mejoradores de acción rápida y acidifican el suelo. Desde el punto de vista técnico su empleo es muy adecuado en presencia de carbonatos alcalinotérreos. En ausencia de éstos, pueden ocasionar una acidez excesiva. Su empleo es poco frecuente por su elevado costo. (Aceves, 1981; Pizarro, 1978).

4.6 La Pirita.

La pirita (FeS_2) lleva a cabo las siguientes reacciones en el suelo:





No es muy frecuente el uso de este mejorador.

5. Tolerancia Relativa de los Cultivos a las Sales.

A nivel de invernadero y de laboratorio se ha podido estudiar la tolerancia a las sales de un gran número de especies vegetales.

La tolerancia de un cultivo a la salinidad se puede evaluar de acuerdo a tres criterios: 1) La capacidad del cultivo para sobrevivir en suelos salinos; 2) El rendimiento del cultivo en suelos salinos; y 3) El rendimiento relativo del cultivo en un suelo salino, en comparación con el correspondiente a un suelo no salino bajo condiciones similares. Muchas observaciones previas con relación a tolerancia a sales, se han basado principalmente en el primer criterio, pero este método de evaluación tiene una significación práctica muy limitada en la agricultura bajo riego. Aun cuando se reconoce que el segundo criterio es tal vez de mayor importancia agronómica, el tercero es el que se usó para la formación de las listas de tolerancia, ya que proporciona una mejor base de comparación entre los diversos cultivos.

Las listas de tolerancia se han arreglado de acuerdo con las mayores divisiones de los cultivos y en cada división, dichos cultivos se han enlistado en tres grupos -- (Cuadro 5). Dentro de cada grupo el arreglo es en orden decreciente de tolerancia a las sales. Los valores de la CE_e que se presentan en la parte superior de cada columna representan el nivel de salinidad en el cual es de esperarse una disminución de un 50% en los rendimientos en comparación con rendimientos obtenidos en suelos no salinos bajo condiciones similares. Por ejemplo, tratándose de cultivos muy tolerantes a sales que aparecen en la división de cultivos comunes, se tienen valores de 16 mmhos/cm para la CE_e en la parte superior de la columna y de 10 mmhos/cm en la parte inferior. Esto quiere decir que los cultivos más cercanos a la parte superior de esta columna producirán un 50% en un suelo cuya conductividad eléctrica sea de 16 mmhos/cm de los producidos en un suelo no salino en con

diciones similares y que los cultivos cercanos a la parte inferior de la columna producirán el 50% en suelos que tengan la CE de 10 mmhos/cm de lo que se produce en un suelo no salino. (Richards, 1982).

Cuadro 5. Tolerancia relativa de los cultivos a las sales.

FRUTALES		
Muy tolerantes	Medianamente Tolerantes	Poco tolerantes
Palma datilera	Granada	Peral
	Huiguera	Manzano
	Olivo	Naranja
	Vid	Toronja
	Melón	Ciruelo
		Almendro
		Albaricoque
		Melocotón
		Fresa
		Limonero
		Aguacate
HORTALIZAS		

$$CE_e \times 10^3 = 12$$

$$CE_e \times 10^3 = 10$$

$$CE_e \times 10^3 = 4$$

Remolacha	Jitomate	Rábano
Col rosada	Brócoli	Apio
Espárrago	Col	Ejote
Espinacas	Pimiento	
	Coliflor	
	Lechuga	
	Mañíz dulce	
	Papas	
	Zanahoria	

Cebolla
Chícharo
Calabaza
Pepino

$$CE_e \times 10^3 = 10$$

$$CE_e \times 10^3 = 4$$

$$CE_e \times 10^3 = 3$$

Richards, 1982.

Cuadro 5. Continuación

PLANTAS FORRAJERAS

Muy Tolerantes	Medianamente tolerantes	Poco tolerantes
$CE_e \times 10^3 = 18$	$CE_e \times 10^3 = 12$	$CE_e \times 10^3 = 4$
Zacatón alcalino	Trébol blanco	Trébol blanco holandés
Zacate salado	Trébol amarillo	Alopécuro
Zacate alcalino de coquito	Zacate inglés perenne	Trébol Alsike
Bermuda	Bromo de montaña	Trébol rojo
Hierba Rhodes	Trébol fresa	Trébol ladino
Cebadilla Criolla	Zacate Dallis	Pimpinela
Centeno silvestre del Canadá	Zacate sudán	
Gramma de trigo occidental	Trébol Hubam	
Cebada(para heno)	Alfalfa	
Cuernecillo	Festuca alta	
	Centene (para heno)	
	Trigo (para Heno)	
	Dactilo apelo-tonado	
	Gramma azul	
	Festuca	

Hierba cinta
 Trébol grande
 Bromo suave
 Trébol agrio
 Veza lechosa

$$CE_e \times 10^3 = 12$$

$$CE_e \times 10^3 = 4$$

$$CE_e \times 10^3 = 2$$

Richards, 1982.

Cuadro 5. Continuación.

C U L T I V O S C O M U N E S		
Muy tolerantes	Medianamente tolerantes	Poco tolerantes
$CE_e \times 10^3 = 16$	$CE_e \times 10^3 = 10$	$CE_e \times 10^3 = 4$
Cebada (grano)	Centeno (grano)	Alubias
Remolacha azucarera	trigo (grano)	
Colza	Avena (grano)	
Algodón	Arroz	
	Sorgo (grano)	
	Mafz	
	Linaza	
	Girasol	
	Huiguerilla	
$CE_e \times 10^3 = 10$	$CE_e \times 10^3 = 6$	$CE_e \times 10^3 = 4$

Richards, 1982.

IV. ANTECEDENTES SOBRE RECUPERACION DE SUELOS.

Reeve y colaboradores (1948), demostraron la eficiencia del lavado del suelo para eliminar sales, trabajando en suelos yesíferos y salino-sódicos del área del Delta - en el estado de Utah (E.U.A). El experimento consistió en lavar los suelos con diferentes láminas de agua 30, 60 y 150 cm., por el método de inundación aplicando el agua en cantidades adicionales sucesivas, hasta acumular la cantidad total deseada para el lavado.

De sus resultados trabajando con trigo, obtuvieron un aumento en el rendimiento aproximadamente en forma lineal, en función del agua usada para el lavado. Y consideraron que estos suelos pueden ser rehabilitados con lavados de 1.20 cm de lámina de agua.

Overstreet y colaboradores (1951), reportaron los efectos que tiene el yeso, el ácido sulfúrico y el azufre sobre suelos alcalinos (sódicos) de la serie Fresno en el Estado de California en los E. U. y observaron que a los 20 meses de la aplicación de los tratamientos no había diferencia - significativa en los rendimientos de pastos de riego para los tres tratamientos. Sin embargo, a los 84 meses con los tratamientos de ácido sulfúrico, se obtuvieron rendimientos significativamente mayores que los de los otros tratamientos con azufre.

Olguin (1969), en laboratorio realizó observaciones sobre el empleo de corriente eléctrica directa en la recuperación de un suelo salino-sódico del ex-lago de Tezcoco, con alto contenido de Na^+ entercambiable, sales soluble y baja permeabilidad. En sus resultados obtuvo una disminuación del 60% en la C.E. del extracto de saturación, 67% S.I. y - 52% de sodio soluble.

Bigger y Nielsen (1962), trabajaron con lavado de suelos salinos en Lago Tule, del Estado de California, en E.U.A. y reportaron que la cantidad de agua necesaria para lavar las sales solubles depende primero, de su concentración en los suelos y consideran que dejando secar periódicamente el suelo entre lavados, se mantiene una alta velocidad de infiltración.

Concluyeron que el proceso de lavado más eficiente, puede crear problemas de exceso de agua, por lo que es necesario un sistema de drenaje, para remover las sales.

También concluyen que la inundación con agua, no siempre es un método eficiente de lavado

La porosidad del suelo, la variación de la velocidad del movimiento del agua en los poros de diferente tamaño y la difusión de las sales, son factores que afectan la cantidad necesaria de agua para el lavado de los suelos.

Nielsen y colaboradores (1964), trabajaron en el control de la salinidad en Fresno California, donde aplicaron dos métodos de lavado a un suelo salino y observaron el movimiento de sales a través del perfil, especialmente de cloruros, ya que emplearon cloruro de potasio como indicador. Los métodos de lavado utilizados fueron:

1. Inundación continua en la superficie del suelo hasta que las sales aplicadas se desplazaron hasta 1.50 m. de profundidad.

2. Aplicando láminas intermitentes de agua.

De sus observaciones tenemos, que con una inundación continua, las sales se esparcen a través de una gran zona del suelo, antes de ser lixiviadas. Y con láminas intermitentes, el contenido de sales residuales en los primeros 60 cm. es menor que en el caso de inundación continua.

Peterson (1963), menciona que los efectos relativos a la elevada alcalinidad parecen deberse, en primer lugar al hecho de que algunas raíces de las plantas y la materia orgánica se

disuelven cuando el pH excede a 9, con la formación de humatos de sodio solubles. El punto exacto en el que el daño se inicia no se ha determinado completamente.

Reyes (1964), hizo un ensayo preliminar sobre recuperación de suelos salinos y salino-sódicos en el Valle del Yaqui, Son. Dónde utilizó diferentes láminas de agua en suelos salinos y diferentes láminas de agua y aparte dosis de yeso en sue los salino sódicos.

Algunas de sus conclusiones son: que la salinidad se presenta en mayor concentración en la parte superficial, ya que - hay una tendencia general de las sales a encontrarse también - en las partes bajas del perfil. Las láminas menores de 60 cm. de agua, no alcanzan a lavar los suelos.

Rodríguez (1965), trabajó en la caracterización y posible recuperación de los suelos del lado este del ex-lago de Texcoco. Llegando a las conclusiones siguientes:

La recuperación de estos suelos es factible por medio de la aplicación de mejoradores químicos, de los cuales en orden de efectividad podrían usarse: yeso agrícola, ácido sulfúrico y azufre.

Los suelos responden bien a los lavados que se deben efectuar después de aplicar los mejoradores químicos, teniendo dre naje parcelario mediante dos zanjas abiertas.

Es factible recuperar los suelos lavando con agua.

Juárez (1967), efectuó prácticas de lavado de un suelo sō dico salino del Lago de Texcoco. Experimentó con tratamientos conjuntos de yeso y diferentes láminas de riego.

1. Láminas de 200 cm. con carga constante de 7 cm.
2. Lámina de 100 cm. con carga de 7 cm., con un período de reposo y repitiendo la misma lámina.
3. Láminas de 50 y 25 cm.

Trabajó con dos repeticiones y aplicó 56 ton/ha de yeso en los primeros 15 cm.

Las conclusiones a las que llegó fueron:

La aplicación de 56 ton/ha de yeso incrementó la velocidad de infiltración del agua durante todo el tiempo que se requirió para que se infiltraran 225.6 cm de lámina.

La eliminación de sales solubles, fue mayor cuando se aplicó yeso al principio del lavado y posteriormente se equilibró al mismo nivel de salinidad.

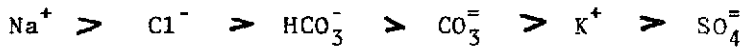
Para éstas condiciones la eliminación de sales solubles, puede lograrse en una forma más efectiva con una lámina de 97 cm. en dos aplicaciones.

La aplicación del yeso en la proporción de 1/6 y del yeso que se requería para la eliminación total del sodio intercambiable, no tuvo mayor efecto que el lavado del suelo, sin aplicación del yeso.

Serrano (1969), colaborando en el trabajo de Juárez, estudió el desplazamiento de iones por lavado de un suelo salino sódico del mismo Lago de Texcoco aplicando los mismo tratamientos. Sus conclusiones fueron:

a) La aplicación de yeso permitió la aplicación de una misma lámina de lavado, en menor tiempo, que cuando no se aplicó. La diferencia para una lámina de 95.9 cm. fué practicamente de 3 veces para una aplicación fraccionada.

b) La eficiencia en el desplazamiento de los iones para las láminas no fraccionadas en una y dos veces fue:



c) Los carbonatos y bicarbonatos de sodio, del suelo reaccionan con el yeso que se aplica, por lo que el yeso desplaza menos sodio.

d) Es posible recuperar éstos suelos salino-sódicos a base de lavados exclusivamente, pero cuando se aplica yeso, la reacción es más rápida.

Arana (1970), estableció un experimento en columnas dentro de un invernadero, para investigar la recuperación de un suelo salino-sódico de la serie "Imperial" del Distrito de Riego del Río Colorado. Empleó como mejoradores diferentes diluciones de agua con sales, azufre, polisulfuro; aplicando 2 ton de azufre por hectárea, 10 ton/yeso/ha y 6 ton/H₂SO₄ por hectárea.

Se obtuvieron mejores resultados en la eliminación de sales con agua de riego de 1000 ppm. de sales.

El desplazamiento del sodio fue mejor, con el tratamiento de 2000 ppm en concentración de sales, con 13 cm de lámina de lavado. Después de éste tratamiento, el que desplazó una mayor cantidad de sodio fue el tratamiento de agua con 1000 ppm de sales, con o sin aplicación de mejorador.

De lo anterior se desprende, que en los suelos afectados de la serie "Imperial" es posible eliminar el sodio intercambiable aplicando agua con una concentración de sales de 1000 ppm, debido al contenido de calcio en ella y al contenido de carbonatos y sulfatos de calcio en el suelo. Por lo que no es necesario la adición de mejoradores, pero si la aplicación de una lámina de lavado que sature el suelo y la conveniencia de un eficiente sistema de drenaje.

Se recomienda que éstos resultados se prueben experimentalmente en el campo, con diferentes láminas de lavado, con agua del río Colorado solamente.

Llerena (1970), trabajó con suelos salino-sódicos del Ejido situado en el Distrito de Riego No. 75, Río Fuerte en Sinaloa. Este distrito abarca una superficie de 200 000 ha., de las cuales 40 000 ha., aproximadamente el 20% tienen problemas, ya sea de sales solubles y/o Na⁺ intercambiable.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sus objetivos fueron caracterizar a los suelos del Ejido desde el punto de vista de su contenido de sales, determinar la posibilidad de recuperación y cuantificar las necesidades de yeso para este fin. De los resultados que obtuvo concluyó lo siguiente:

En los suelos salino-sódicos del Ejido del Cubilete, su problema principal además de la salinidad es la baja conducti vilidad hidráulica que varía de 0 a 0.895 cm/h.

La prueba de lavado en columnas indicó que usando agua de riego con una conductividad eléctrica de 7 mmhos/cm., sólo se pueden lavar los suelos con menos de 43% de sodio intercam biable, ya sea que se les aplique yeso o no.

El suelo que se lavó, indicó que la adición de yeso (10 ton/ha) acelera el proceso de recuperación. Sin embargo la - eliminación de sales solubles y de sodio intercambiable se - puede llevar a cabo con una lámina de agua de 22 cm., sin necesidad de aplicar yeso.

De acuerdo a lo anterior, deben de estudiarse las posibi lidades de lavado de los suelos con más de 66.5% del sodio in tercambiable, usando: aguas salinas reductoras de tensión superficial o adicionando materia orgánica con alto contenido - de lignina.

Mizquez (1973), hizo un estudio comparativo sobre la eficiencia de los mejoradores: yeso, ácido sulfúrico y flor de azufre; en la recuperación de un suelo salino-sódico, del Municipio de Gómez Farfías.

Para el experimento empleó botellas de capacidad de 1000 ml, con 750 g. de suelo de cada unidad experimental. Los mejorado res fueron agregados al suelo con base a la cantidad de sodio adsorbido. En sus conclusiones menciona:

1. El orden de eficiencia con respecto a la sustitución de sodio adsorbido, considerando los valores promedios de las tres dosis fueron: primero el yeso, después el ácido sulfúrico y finalmente el azufre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. La conductividad hidráulica fue mayor también con yeso, después con H_2SO_4 y finalmente con azufre.

3. La lámina total necesaria para la desalinización del suelo fue de aproximadamente 70 cm. en los tres casos.

Villaseñor (1973), realizó un estudio preliminar para la recuperación de los suelos salino-sódicos del ex-lago de Texcoco.

Noyola (1975), presenta un trabajo sobre salinidad agrícola, donde enfatiza sobre varios conceptos, reacciones y procesos en los cuales da a conocer ampliamente este tema.

Ureña (1975), hizo una investigación preliminar sobre la utilización de diversos mejoradores y láminas de lavado con aguas disponibles en la zona del ex-lago de Texcoco. Las investigaciones tendiente a su recuperación se están llevando a cabo, por la Comisión del Lago de Texcoco que planea hacer un parque público, en un área determinada.

Los mejoradores que empleó, fueron: azufre, polisulfuro de calcio, bisulfuro, yeso agrícola y basura cruda de mercado.

Finalmente llega a lo siguiente:

Las sales solubles se pueden eliminar lavando estos suelos con la calidad de agua que se tiene.

Después de aplicar una lámina total de 1.20 m. se consiguió abatir un 90% del total de sales solubles, aplicando láminas de 10 cm. con intervalos de riego de dos semanas.

No existe diferencia significativa entre el uso de mejoradores y el agua de riego, en cuanto a la eliminación de sales solubles.

De los tratamientos con biosulfuro, el de mejor rendimiento fue el de 5 ton/ha, ya que un exceso del 30% provoca una disminución del rendimiento.

De los tratamientos de azufre, el mejor rendimiento fue el de 8 ton/ha y un aumento del 25% de azufre disminuye los rendimientos de este mejorador.

No encontró diferencia significativa en la aplicación de yeso agrícola de 135, 180 y 225 ton /ha, tanto en la reducción del PSI como de la CE_e . Siendo su acción positiva en el primer aspecto y negativa en el segundo, en relación a los de más tratamientos.

No encontró diferencia significativa en la aplicación de basura en 300, 400, 500 ton/ha en la disminución de la CE_e , pero en el PSI la dosis más baja fue significativamente mejor que las otras.

Aunque se agreguen al suelo fuertes cantidades de calcio, sólo se solubilizará éste hasta 35 meq/l. bajo las condiciones dadas. Es necesario un sistema de drenaje para eliminar las sales solubles.

López (1976), presentó una tesis sobre el efecto de los mejoradores: yeso, azufre y estiércol, con diferentes láminas de lavado para la recuperación de un suelo salino-sódico del Distrito de Riego No. 25 Bajo Río Bravo, Tamp.

Prather y colaboradores (1978), realizaron un estudio en columnas con suelo sódico de alta C.I.C.T. y PSI, bajo condiciones de laboratorio.

Para la recuperación de estos suelos emplearon los mejoradores: yeso, ácido sulfúrico y cloruro de calcio. Se usaron individualmente y en combinaciones, para probar su eficiencia con respecto a la cantidad de mejorador, tiempo y necesidades de lavado.

Finalmente obtuvieron que, como mejorador individual, el ácido sulfúrico es más efectivo que el yeso.

Combinando cloruro de calcio o ácido sulfúrico con yeso (en proporciones de 1/4 y 3/4 respectivamente) se redujo apreciablemente el tiempo y necesidad de lavado, comparado con el tratamiento de yeso solamente. La combinación de mejoradores

probó un incremento en su efectividad.

Olsen y Watanabe (1979) presentaron un trabajo de la interacción del yeso, cuando éste es agregado a suelos alcalinos y de la disponibilidad del Fe^{++} , Mo^{++} , Mn^{++} y Zn^{++} utilizando plantas de sorgo.

Mencionan que en suelos calcáreos y alcalinos localizados en zonas semiáridas, muchas plantas muestran síntomas de clorosis por falta de Fe^{++} , debido a los altos pH de estos suelos que contribuyen a disminuir la disponibilidad de este elemento.

Experimentos con plantas de tomate en cutivos con nutrimentos indicaron que el Mo^{++} también acentuaba la deficiencia de Fe^{++} . Esta interacción puede ser importante en suelos alcalinos donde el pH favorece una baja disponibilidad del Fe^{++} y una alta disponibilidad del Mo^{++} . La interacción fue confirmada con seis suelos donde se sembró sorgo. La concentración del Fe^{++} tomado por la planta y la concentración encontrada en el suelo, se incrementó en proporción directa a la disminución de la concentración del Mo^{++} por la adición de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en 30 ppm de azufre. El yeso disminuyó al Mo^{++} de 2.33 a 1.26 ppm e incremento al Fe^{++} de 56 a 65 ppm en el sorgo. También, el yeso consistentemente incrementó la concentración de Mn^{++} de 70 a 90 ppm. y el Zn de 56 ppm. a 80 ppm. en sorgo.

Finalmente mencionan, que el conocimiento de estas interacciones ayudará a interpretar la respuesta de las plantas cuando los niveles de micronutrientes en suelos sean naturales y también en los casos en donde a suelos con problemas se les agregan: aguas negras, estiércoles, fertilizantes o mejoradores.

Gaxiola (1980), trabajó sobre la recuperación de suelos salinos-sódicos del Distrito de Riego No. 43 del Estado de Nayarit, mediante la aplicación de los mejoradores químicos: yeso, H_2SO_4 y azufre, con una lámina de agua de 70 cm.

Empleó botellas de 2 litros de capacidad con 1500 g. de suelo cada una. Los mejoradores los aplicó en tres dosis diferentes (100, 150 y 200% con respecto a la sustitución del sodio intercambiable). Parte de lo que concluye es lo siguiente:

El orden de eficiencia en lo que se refiere a la sustitución del sodio adsorbido, considerando los valores promedios de los tres mejoradores en sus tres dosis fue: yeso mayor que el H_2SO_4 y éste mayor que el azufre. El mismo orden de eficiencia se observó con respecto al incremento de los valores de la conductividad hidráulica.

El orden de conveniencia económica respecto a costos de los mejoradores químicos, y considerando la eficiencia de éstos en cada una de sus dosis fue: yeso 150% > yeso 200% > H_2SO_4 200%.

Mohite y Shingte (1981 a) llevaron a cabo un experimento en macetas para utilizar el método de recuperación de suelos sódicos con diluciones de agua altamente salina y usando como mejoradores yeso y estiércol de corral.

El estudio de recuperación se hizo con un suelo sódico arcilloso, colectado del Distrito de Sangli en Maharashtra, India.

El lavado con agua altamente salina resultó ser muy efectivo, en la remoción de sales solubles y la adición de estiércol y de yeso ayudaron al proceso. Hubo una marcada reducción en los valores del PSI en los diferentes tratamientos.

Mohite y Shingte presentan también un interesante trabajo utilizando el suelo recuperado pero cultivando maíz (Zea mays L.). De lo cual obtuvieron que la producción de materia seca de la planta del maíz, cultivada en un suelo sódico recuperado por la aplicación de yeso, estiércol de corral y lavado con diluciones de agua altamente salina, fué significativamente mayor que la de los suelos recuperados con agua salina simplemente.

Mohite y Shingte (1981 b), publicaron otro trabajo realizado con suelos sódicos colectados de Tujarpur en un lugar del Distrito de Sangli (Maharashtra). Consiste en tres tratamientos con sucesivas diluciones de agua sintética altamente salina, semejante al agua de mar; con el objeto de recuperar estos suelos.

De los resultados que obtuvieron mencionan que, el promedio de la conductividad hidráulica de los suelos fué mayor con agua altamente salina en comparación con los tratamientos donde emplearon agua ordinaria. El PSI y la CE_e disminuyeron considerablemente también, después del tratamiento.

Arora (1981), reportó un trabajo sobre el efecto de la cantidad de lavado, sobre el intercambio del calcio por el sodio y la remoción del sodio en suelos sódicos, empleando cloruro de calcio.

El autor cita varios trabajos, donde han tratado la eficiencia de un lavado saturando o insaturando el suelo. Las ideas principales consideran, que durante el lavado de un suelo bajo saturación, el flujo de agua es principalmente a través de los macroporos y que los microporos contribuyen muy poco en este flujo a través del perfil.

El agua que pasa a través de los macroporos rodea a la sal presente en los microporos y el proceso de difusión molecular es lento, también, para transportar sales de los microporos al flujo principal, el lavado no resulta ser muy eficiente.

Por otra parte, en el caso de un lavado insaturado, el flujo de éste es principalmente a través de los microporos y el desplazamiento de sales es mas o menos completo, el cual transporta las sales a mayor profundidad y por lo tanto incrementa la profundidad a la cual el suelo es recuperado. Sin embargo, se reporta que hay una disminución en la capacidad de intercambio de calcio, bajo condiciones insaturadas.

Shainberg y colaboradores (1982), compararon los efectos del yeso y del cloruro de calcio, sobre la conductividad hidráulica de tres suelos sódicos de Israel.

En sus conclusiones mencionan:

Se obtuvo una alta conductividad hidráulica con el tratamiento de yeso en suelos de Golan, el cual fue muy sensitivo al tipo de fuente de calcio.

Para un suelo calcáreo Nahal Oz no se observó diferencia significativa entre los tratamientos. El reemplazamiento del sodio fue similar.

El yeso benefició en prevenir la dispersión de las arcillas.

La aplicación de yeso en suelos calcáreos puede prevenir de la formación de costras, baja conductividad hidráulica y dispersión del suelo.

Ramírez (1982), estudió tres fuentes naturales de yeso agrícola, en la recuperación de suelo salino-sódico bajo dos procedimientos de aplicación: solubilizados en agua e incorporados al suelo.

Estableció un experimento en columnas para estudiar la recuperación de un suelo salino-sódico del predio de "Montecillos", utilizando las fuentes de yeso de: Durango, Michoacán y Carrizo.

En los dos experimentos se mantuvo una lámina constante de 10 cm., con solución de calcio en el experimento uno y con agua destilada en el segundo.

De los resultados obtenidos, se encontró que la fuente de yeso de Michoacán, fue la de mayor pureza por su alto contenido de calcio y bajo contenido de sodio y magnesio solubles. Se encontró que aplicando el yeso solubilizado resulta más eficiente en el desplazamiento del sodio (de 0 - 32 cm.), pero desde el punto de vista agronómico, es preferible mezclar el yeso con el suelo, ya que en esta forma de aplicación, el Na^+ no se desplaza totalmente del complejo de intercambio, quedando una fracción adsorbida de éste, el cual no es perjudicial a las plantas pero en cambio aumenta la fertilidad de los suelos.

Díaz (1982), llevo a cabo un experimento en invernadero, con el propósito de estudiar la oxidación del azufre elemental en suelos del ex-lago de Texcoco los cuales presentan excesos de sodio intercambiable.

Parte de sus conclusiones fueron:

Los valores de pH de los suelos a los 120 días de incuba

45

ción disminuyeron en 0.86, 1.23 y 1.5 unidades en los suelos: arcillosos, migajón arenoso y migajón arcilloso con azufre - respectivamente; considerandose estos decrementos altamente significativos, en comparación con los suelos que no fueron tratados con azufre.

La relación entre las variables dependientes fue:

1. Cantidad de sulfatos formados, contra el número de Thiobacillus sp. fué directamente proporcional.

2. pH evaluado y número de Thiobacillus sp. fue inversamente proporcional.

3. El pH y el contenido de sulfatos formados fue de una correspondencia inversamente proporcional, siendo las pruebas de hipótesis altamente significativas para las tres relaciones y los tres sueros tratados con azufre elemental.

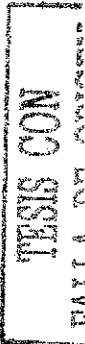
Becerra (1983), trabajo en campo con azufre y aguas de desecho urbano, para recuperar suelos salino-sódicos del ex-lago de Texcoco; y finalmente concluye:

Desde el punto de vista técnico es posible recuperar para fines agrícolas los suelos del lado este del ex-lago de Texcoco, comprendiendo las series Patos y Ahuehuetes con aplicaciones de azufre y aguas negras, siendo las principales limitantes para ello la conducción del agua y la falta de drenaje natural.

Con la incorporación del azufre al suelo se logró una significativa disminución del pH, pero con ello se incrementó notablemente la concentración en sales de la solución del suelo, ya que se determinó un incremento en aniones por sulfatos y de cationes por el sodio principalmente y por calcio.

El rendimiento de cebada, trigo y pasto rye grass manifestó una respuesta altamente significativa a la adición del azufre, caracterizado por un notable incremento en la producción del forraje y granos.

Cervantes (1983), presentó su tesis sobre la lixiviación de sales en suelos salinos y salino-sódicos del Valle de Mexicali. Para lo cual empleó lisímetros tipo monolito con colum



nas de suelo inalterado de 58 cm. de diámetro y lavó el suelo con una carga constante de 8 cm. y tomó muestras de los efluentes para su análisis.

En sus resultados menciona, que la mayoría de las sales solubles (CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2CO_3 y NaCl) son prácticamente solubilizadas en los extractos acuosos, cuando se asegura una percolación de la solución a través de la muestra de suelo.

Las sales de baja solubilidad como son $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ y NaHCO_3 pasan de una manera incompleta a los extractos acuosos, cuando en el suelo existen una acumulación considerable de sales como: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 y MgCO_3 son disueltas en mínima cantidad dependiendo de las relaciones de extracción suelo-agua.

En sus conclusiones menciona:

La cantidad de sales extraídas en los efluentes es mayor que la reserva total de sales determinadas en las muestras de suelo, hasta en un 305% más que en las muestras determinadas en el extracto 1=0.2 - 0.6 de las muestras de suelo antes del proceso de lixiviación lo cual indica que las relaciones suelo-agua usadas en la extracción de sales no son suficientes para poder medir la verdadera cantidad total de sales en el suelo y que solo se extraen hasta el 200% en extracción 1:5 - respecto a las sales contenidas en el extracto de saturación

Reyes Jaramillo I. (1984), realizó algunas pruebas previas bajo condiciones de invernadero, con suelos sódico-salinos del Ejido Ciénaga Grande de Xochimilco, D. F. Con el objetivo de probar la eficiencia de los mejoradores químicos: ácido sulfúrico, sulfato de aluminio, yeso, sulfato de hierro y cloruro férrico en dosis de 5 y 20 ton/ha. Además de los mejoradores orgánicos: gallinaza, composta y extiércol en 20 ton/ha, en la recuperación de estos suelos.

Se trabajó con macetas de 2 kg de suelo. Después de incorporar los mejoradores se aplicó una lámina de agua, cuyo volumen fue aproximadamente de 29 litros adicionados discontinuosamente.

El lavado el suelo se suspendió, cuando el agua del lixiviado redujo su CE_e a valores menores de 3 mmhos/cm. a 25°C.

Se fertilizó fuertemente con los mejoradores químicos: nitrato de amonio, superfosfato triple y con cloruro de potasio, en proporciones de: 160-80-20 y 320-160-80 y se sembró lechuga Grandes Lagos 407.

De las observaciones y resultados obtenidos tenemos, - que la germinación de las semillas de lechuga se vio disminuida en más del 50% por efecto de las sales.

En general se observó un mejor desarrollo en las plantas donde el suelo fue tratado con mejoradores.

Al mes y medio de sembradas las lechugas se vieron favorecidas principalmente las que fueron tratadas con cloruro férrico y sulfato ferroso. Pero a los tres meses de desarrollo las plantas con tratamientos de ácido sulfúrico, sulfato de aluminio, yeso y gallinaza mostraron mayor talla y menor clorosis.

En el Cuadro 6 y en la Figura 1 se presentan los valores promedios, de los pesos en fresco y en seco de las lechugas cosechadas crecidas en suelos tratados con mejoradores químicos y fertilización química también; así como los pesos de las plantas cuyo suelo tuvo un tratamiento con abonos orgánicos únicamente.

De los tratamientos que tuvieron dosis altas tanto de mejorador como de fertilizantes, los pesos frescos se manifestaron de manera decreciente en la siguiente forma: Ac. sulfúrico > Sulfato de aluminio > Yeso > Cloruro férrico > Sulfato ferroso.

Con respecto al peso seco: Sulfato de aluminio Ac. - sulfúrico > Yeso > Cloruro Férrico > Sulfato de aluminio.

Con respecto a los mejoradores orgánicos, el orden decreciente de los pesos logrados de las lechugas fueron: gallinaza > composta > estiércol.



Fotografía 1. Rabanitos cultivados en suelo
sódico-salino de Xochimilco, al cual se le
agregó yeso, fertilizantes químicos y un ti-
rante de agua. En invernadero.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 6. Peso fresco y seco en gramos de las lechugas sembradas en suelo sódico-salino del Ejido Ciñega Grande de Xochimilco, D. F. El cual fue tratado con mejoradores, lámina de agua y un buen drenaje.

M E J O R A D O R	DOSIS	PESO FRESCO x g.	PESO SECO x g.
Sulfato de calcio 20/ton/ha	A	11.90	1.03
5/ton/ha	B	5.90	0.54
Acido sulfúrico	A	18.48	1.24
	B	6.60	0.65
Sulfato ferroso	A	7.55	0.56
	B	4.25	0.42
Cloruro férrico	A	9.05	0.76
	B	7.20	0.77
Sulfato de aluminio	A	16.45	1.28
Estiércol	20/ton/ha	3.90	0.51
Composta	"	4.00	0.34
Gallinaza	"	8.60	0.98
Testigo		4.90	0.44



TESIS CON
TALLA DE ORIGEN

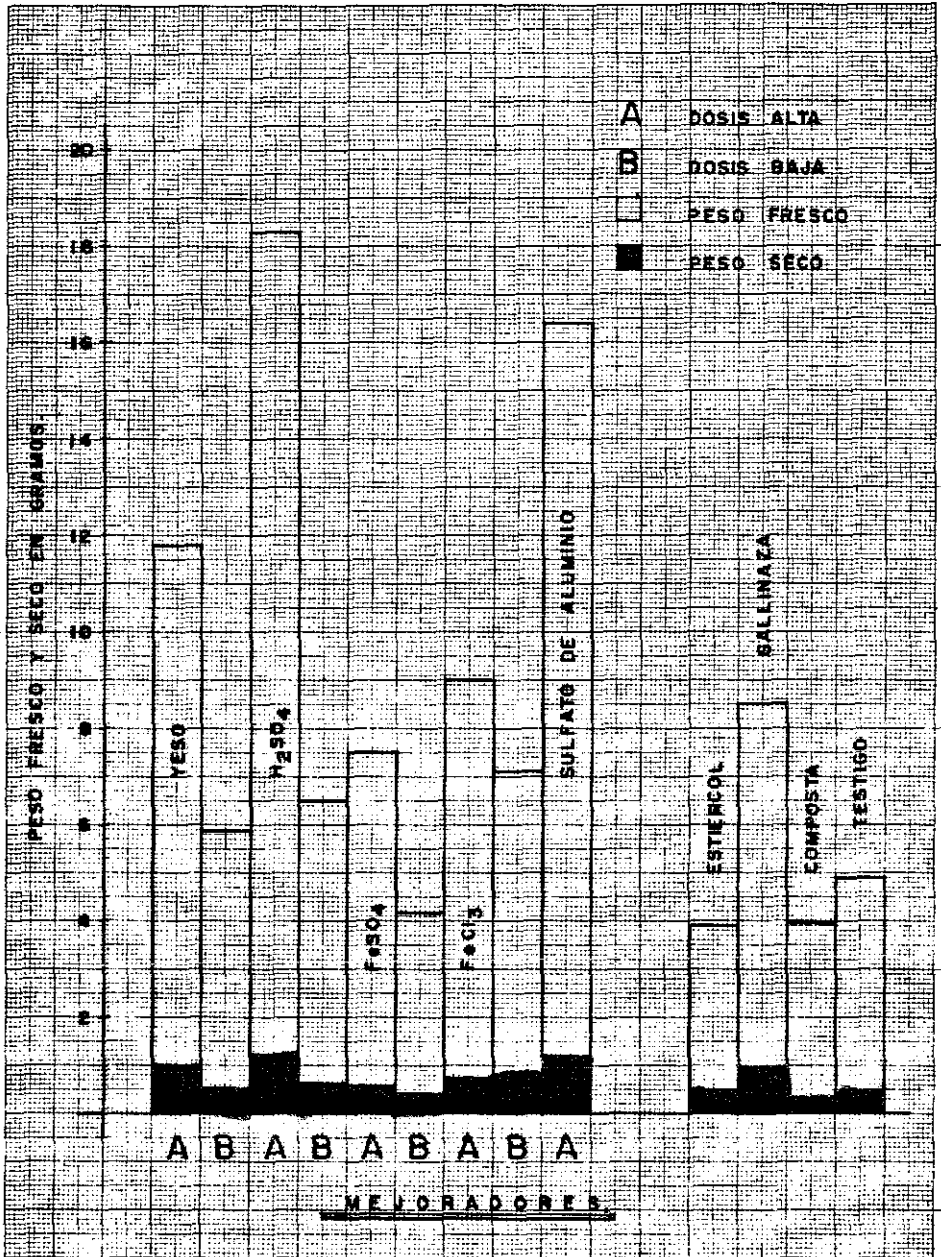


Figura 1. Gráfica que muestra el rendimiento de un cultivo de lechuga en un suelo sódico-salino del Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, D.F. Con lavado y diferentes tratamientos con mejoradores químicos y orgánicos, bajo condiciones de invernadero.

V. CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

1. Localización.

La zona de estudio se localiza en el Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, D.F., de la Delegación de Xochimilco, situada entre los $19^{\circ} 18'$ y $19^{\circ} 19'$ de latitud norte y los $99^{\circ} 05'$ y $99^{\circ} 06'$ de longitud oeste. Tiene como límites administrativos: al sur el Canal del Bordo, al este y norte el Canal de Chalco y al oeste el Canal Nacional. Mapas 1 y 2; fotografía 2.

2. Geología.

Mooser (1961) considera a las formaciones de la Cuenca del Valle de México, por el orden de aparición, posición estratigráfica y el grado de erosión sufrida en tres períodos: Terciario Medio, Terciario Superior y Cuaternario.

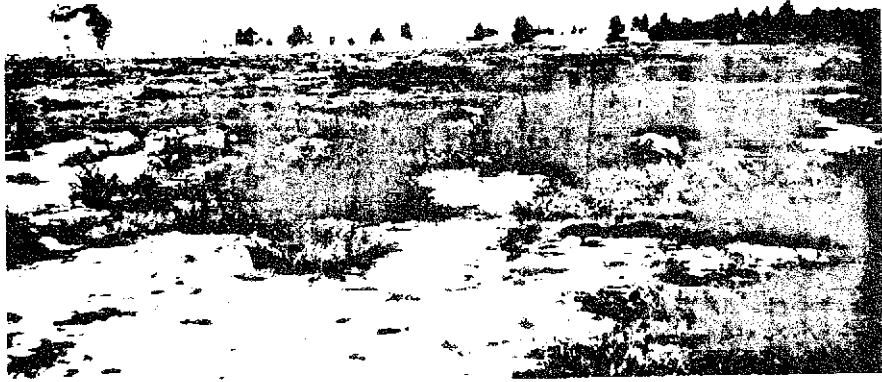
Al suroeste de la Delegación de Xochimilco, se encuentra la Sierra de Xochitepec, la cual se formó de depósitos del Terciario Medio como son: rocas volcánicas andesíticas, basálticas, traquiandesitas, dacitas, lutitas, riolitas y piroxenas.

Al noroeste de la Delegación, se localiza la Sierra de Santa Catarina, formada esencialmente por acumulaciones de material piroclástico de composición intermedia y básica, constituidos principalmente por arenas, cenizas, lavas y pequeñas interdigitaciones de derrames lávicos basálticos.

El vulcanismo del Cuaternario Superior se manifestó con extraordinarias efusiones lávicas, como lo muestra la Sierra de Chichinautzin situada en el extremo sur de la Delegación, formada por potentes derrames lávicos basálticos, así como acumulaciones de brechas, arenas y cenizas provenientes de conos volcánicos.

Farías (1984) en su libro titulado "Xochimilco" menciona que, el terreno de éste lugar, pertenece a la vertiente norte de la Sierra Volcánica Transversal del Cuauhtzin y del Ajusco (Axochco), que corresponde a la era Cenozoica, constituido por

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 2. En esta fotografía se presenta la zona de estudio, comprendida en el Ejido Ciónegra Grande de Xochimilco donde se aprecian claramente manchones con afloramientos de sales en la superficie del suelo.

91

rocas efusivas, andesíticas de hornblenda y de hiperstena, las cuales aparecen en porciones reducidas, no así los basaltos que forman "islas" por las corrientes de olivino de erupciones del Xitle o del Ajusco.

En estas zonas podemos ver laderas con escalones sucesivos y rampas de ceniza fina que se extiende hacia el norte y sures-te. En San Mateo Xalpa hay una capa delgada de aluvi6n que pro- viene del Tzompoli, el cual en su erupci6n abarc6 3 km a la re- donda.

El suelo topogr6ficamente hablando tiene diferentes confi- guraciones y sus colores van del gris al negro-humus llamado "cerrocuilali" en la parte alta, y del negro al caf6 claro, en la parte baja o chinampería. Y se sabe, que el limo sacado por el hombre de los canales o lago es la composici6n de la chinam- pa, fuente de producci6n agrícol.

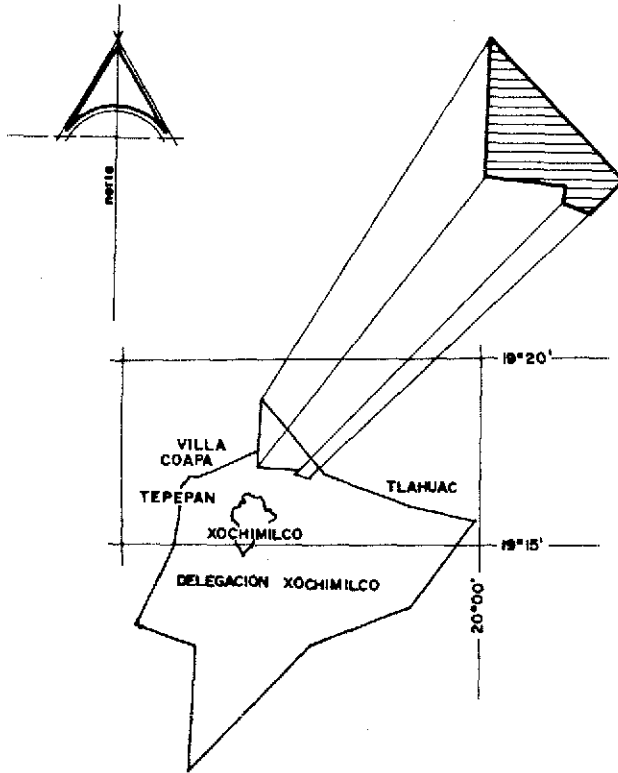
Por la intemperizaci6n de la roca madre la parte baja pre- senta materiales de "dep6sito" de migajones volc6nicos y consti- tuyen la famosa "llanura lacustre" con textura areno-arcillosa o franca".

La zona lacustre se encuentra a una altura promedio de 2,220 m. s.n.m., la extensa planicie que forma esta unidad s6lo se inte- rrumpe por afloramientos volc6nicos aislados, que contribuyen a la formaci6n de diferentes subcuencas. Mapa 3.

La mayor parte de las tierras planas del sur del Valle, a- parte de la planicie de Chslco, estaban cubiertas por una capa de agua dulce generalmente conocida como Lago Chalco-Xochimilco. El contorno que se eleva a 2,250 m.s.n.m. describe con precisi6n su ribera. A partir de estas orillas la tierra se eleva hasta las sierras del Ajusco y Nevada con sus numerosos picos por enci- ma de los 3,000 m.s.n.m.

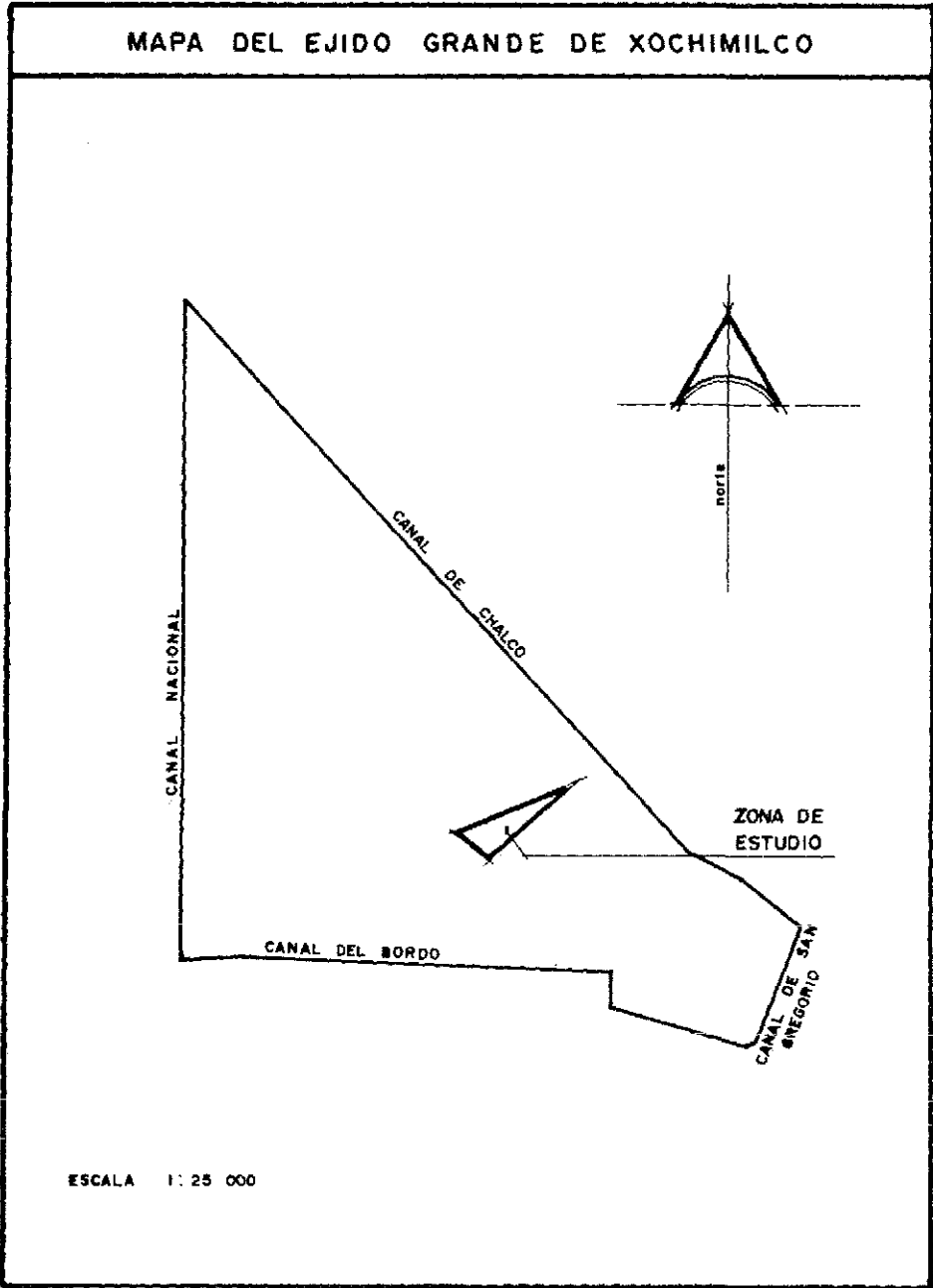
La casi totalidad de la planicie en que se encuentran los lagos del Valle, es de formaci6n Cuaternaria. La formaci6n de es- tos lagos probablemente tuvo lugar en el Período Champláin ó Di- luvial, cuando a causa de los deshielos sobrevinieron terribles inundaciones. Las aguas acumulándose en muchas depresiones te- rrestres formaron en esa época extensos y numerosos lagos que llenaron con sus sedimentos las desigualdades del terreno, hasta

LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MAPA DEL EJIDO GRANDE DE XOCHIMILCO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

54

que, concretándose a espacios limitados, dejaron al descubierto sus riberas. (Miguel Santamaría, citado por Rojas, 1983).

3. Hidrología.

Las aguas que descienden de las serranías, formaban ríos en la época de lluvias que alimentaban a los lagos de Chalco (ya desecado), Xochimilco y Texcoco; situados en la región sur de la cuenca y en los de San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango, de la región norte, antiguamente muy extensos y ahora desecados en parte, debido al desague artificial que da salida al excedente de agua por el río Pánuco que va a desembocar en el Golfo de México. (Santamaría, 1912). Fig. 3.

Fariás (1984) menciona que, dos ríos venían al lago; el de Tepalcatlalpan en la parte medio-oeste, que recogía las aguas de los cerros de la Cantera, Tetequilo y Xochitepec. Este río quedó cegado hace años en 1951.

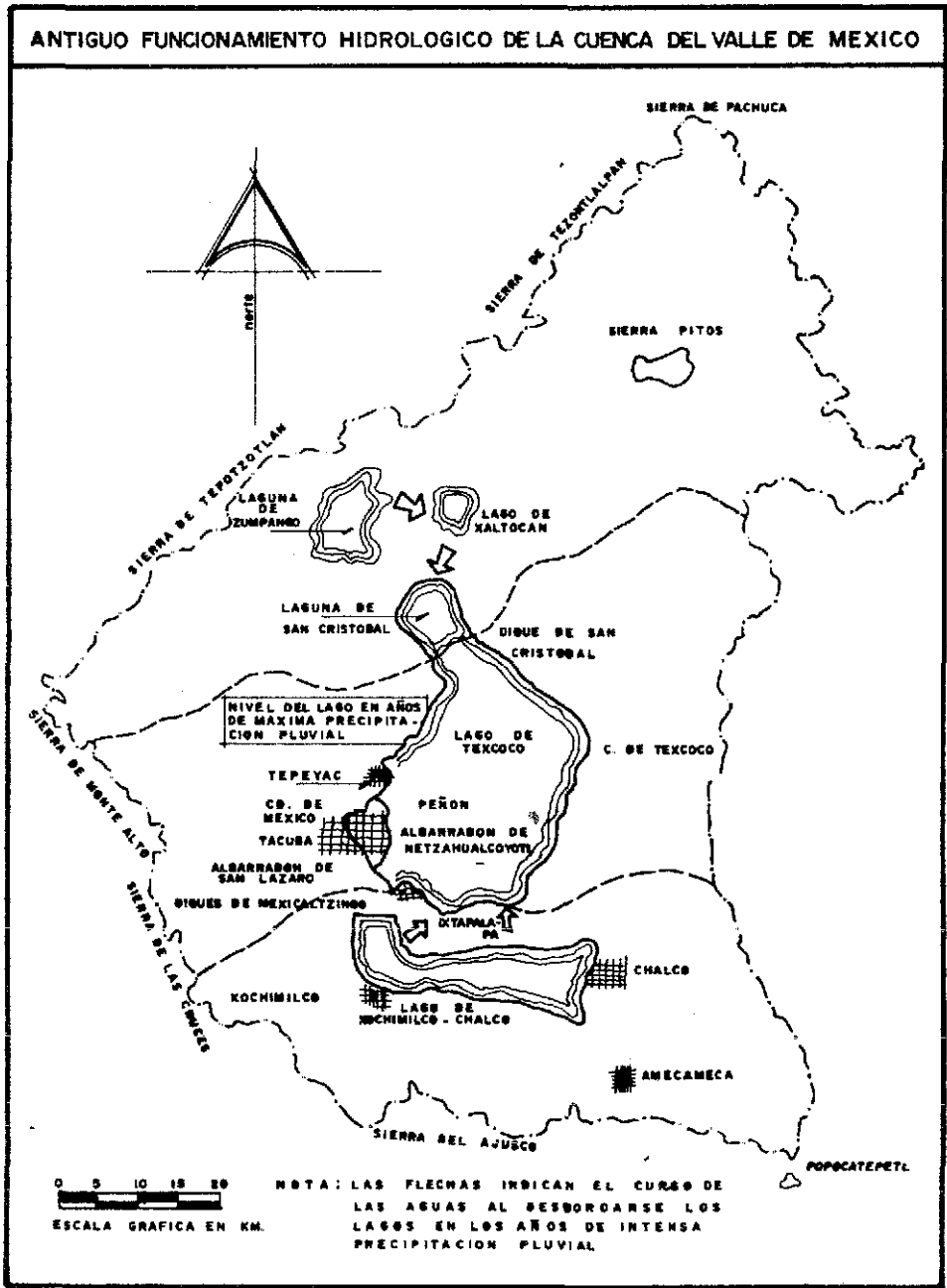
El otro río es el que baja de San Mateo Xalpa y que corresponde a las pequeñas llanuras altas del sur o del Cuauh_utzin y que recoge las aguas de San Lucas Xochimanca. Sin embargo, un estudio más amplio abarcaría tres zonas orográficas: la media boreal ó del Ajusco, la media oeste ó de Tlalpan, y la del centro ó lacustre, de la Noria a Moyotepec.

El lago de Xochimilco se encuentra situado al S.E. de México y mide, aproximadamente 3,200 m de norte a sur y 9,600 m de este a oeste. La profundidad de su vaso es muy variable y va del metro hasta los diez, aunque su promedio es de cinco metros.

La zona del lago de Xochimilco de acuerdo con Acevedo (1972), tiene una extensión de 24 km².

La mayoría de los afluentes del lago de Xochimilco que existieron hasta fines del siglo XVII, como fueron: Ojos de agua en Xochimilco, Nativitas, San Gregorio, Santa Cruz, Acuezcómoac, Paraje de la Estrella, y pueblo de Culhuacán,

ANTIGUO FUNCIONAMIENTO HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tepepan y Noria. Ríos permanentes: La Magdalena, San Angel y San Agustín, el cual nace en los montes del Ajusco. Vertientes temporales de: Topilejo, Nativitas y Milpa Alta. Estos ríos se fueron agotando o desviando a otros rumbos y a la fecha ninguno de ellos existe pues las aguas que ahora recibe el lago, son de desecho y tratadas por las plantas del Cerro de la Estrella y de San Luis Tlaxialtemalco.

Por otra parte, diez canales y siete lagunas importantes existen en Xochimilco últimamente. Los canales son: Cuanmanco (donde hay humedad), Apatlaco (en las ninfas del agua), Canal Nacional (orilla de los árboles), Canal de Tezhuilo (en el espejo), Apampilco (en el agua limpia), Canal del Japón (en la orilla del tular), La Noria (en la orilla de la cueva), Amelaco (donde brota el agua) y Atlitic (en el agua negra). (Farías, 1984).

Como consecuencia de las chinampas y canales, quedaron pequeños y extensos claros llamados lagunas, de las que solamente quedan: El Toro, La Virgen, Tlilac (en la tierra negra), Tlicuilli (fogón), Tezhilotl (espejo), Caltongo (a la orilla de las casetas) y Xaltocan (Lugar de tuzas y arena).

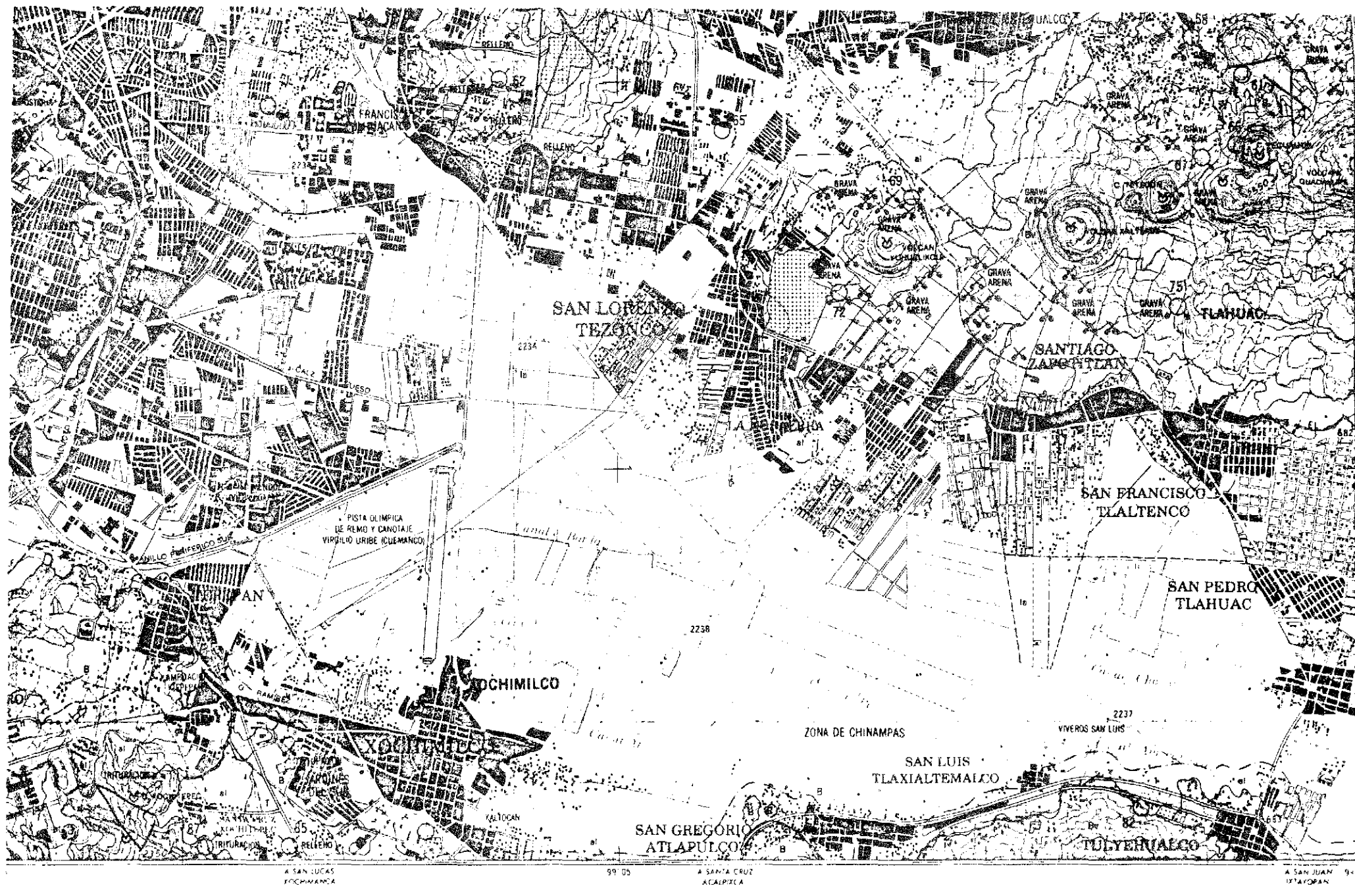
La Dirección de Obras Hidráulicas del Valle de México, en 1945 dividió al lago de Xochimilco en cuatro sectores: Norte, Oriente, Sur y Poniente, tanto en relación a los canales como a las lagunas, lo mismo que los tres ríos: San Lucas, Santiago y San Buenaventura; de los cuales solamente permanece el último, entubado y con poca agua. (Farías, 1984).

Los lagos se encontraban alimentados por ríos, arroyos y manantiales de la provincia de Xochimilco, que hasta 1940, proveían la mayor parte del agua para la Ciudad de México.

El bombeo del agua de los manantiales de Xochimilco hacia la Ciudad de México, trajo como consecuencia la descomposición del régimen hidrológico de la región, observándose un abatimiento de los niveles del lago, afectando tanto a la agricultura como al aspecto turístico de la región.

En la actualidad el lago de Xochimilco presenta una enmarañada red de canales, de los cuales destacan: El Canal de

elaborada por DETENAL (ahora Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática). Escala 1:150,000 donde se observa NOCHIMILCO y su red de canales. Las zonas no coloreadas comprenden suelos de origen lacustre (la) y aluvial (al).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Chalco, Canal Tlilac, Canal Tlicuilic, Canal Cuemanco y el Canal Nacional. Mapa 4.

Entre los canales y enmarcadas por ellos se encuentran cientos de pequeñas islitas artificiales llamadas "chinampas" que constituyen una forma especial de la avanzada agricultura del México antiguo.

3.1 La Contaminación de los Canales de Xochimilco.

De los cinco lagos existentes en la época prehispánica, el lago de Xochimilco ocupó una larga extensión en la parte sureste del Valle de México.

El lago de Xochimilco era de agua dulce y el único lago de agua salada siempre fué el lago de Texcoco, cuyas crecientes llegaron a invadir a Xaltocan y a Tenochtitlan, por lo que fue necesario que Nezahualcōyotl en ayuda a sus amigos los de Tenochtitlan, dirigiera la construcción del Albaradón que dividiera las aguas dulces de las saladas. (Farías, 1984).

Balanzario (1982), hace mención del agua de Xochimilco de la siguiente manera: " El agua de los manantiales que surtían a México, eran de gran pureza natural, pero se contaminó desde 1921, por filtraciones entre los manantiales, en todo el trayecto a la Ciudad de México y en las casetas de captación, en la época de lluvias aumentaba la contaminación y sobre todo aumentó con la llegada de aguas negras de la gran ciudad ".

En un fragmento del ensayo de Schilling (1938), sobre los " Jardines Flotantes " de Xochimilco, presentado en la obra de Rojas (1983), menciona: " estos alimentos a base de maíz son tan picantes por el chile, que el extranjero al principio se le llenan los ojos de lágrimas; si entonces pide agua, el indio amablemente se la sirve del canal" por donde pasean en una piragua.

Lo anterior nos ilustra acerca de la buena calidad que predominaba en las aguas de los canales de Xochimilco, sin embargo con las obras de introducción y distribución del agua potable a la Ciudad de México, cuya fuente de abastecimiento fueron los manantiales de Xochimilco a partir de 1913, con un caudal de $2.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$, en 1953 se vio una reducción en los cauces y se redujo el bombeo hacia la ciudad a sólo $1.6 \text{ m}^3/\text{seg}$ y se buscó como una nueva fuente de agua, la del Río Lerma.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Posteriormente se amplió el sistema de captación de Xochimilco a $2.4 \text{ m}^3/\text{seg}$. En 1957, el Departamento del Distrito Federal por aumento de la población y falta de agua en la metrópoli, construyó pozos profundos y el acueducto de Chiconautla, después hizo los pozos del Peñón del Marqués y una ampliación en la zona de Xochimilco.

La consecuencia de esto, fue una descompensación del régimen hidrológico de la región, hubo un abatimiento del nivel del lago; que afectó tanto a la agricultura como al turismo de la zona.

En 1958, se ordenó desviar las aguas seminegras del Río Churubusco al Canal Nacional, para restablecer el nivel del agua en el lago de Xochimilco y simultáneamente se abrieron ocho pozos más en la región para abastecimiento de agua a la capital. (Cordero, 1984).

Las aguas de los canales en la actualidad tienen diferentes usos, tales como riego, turismo y navegación. El nivel de sus aguas sigue alimentado por una descarga de aguas residuales de la Ciudad de México, por ríos temporales que descienden de las montañas cercanas y por aportes pluviales; la circulación de las aguas es prácticamente nula, salvo en dos o tres canales. Esta falta de circulación, junto con las descargas de las zonas de población, aportes de aguas negras de la Ciudad, el uso de estiércol como abono en las chinampas, los cuales por escurrimiento en épocas de riego y de lluvia llegan a los canales, han dado origen a condiciones de putrefacción, que ocasiona malos olores y un desagradable color, un

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 3. En esta fotografía se muestra uno de los paisajes típicos de Xochimilco, con sus "ahuejotes" al margen de los canales cuyas aguas han dejado de ser limpias y cristalinas.

crecimiento rápido del lirio acuático que en ocasiones impide la navegación; la estética del agua es inadecuada como atractivo turístico, el agua es poco propicia para el riego por su alto contenido bacteriológico. (Balanzario, 1976). Fotografía 3.

La Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, de la Secretaría de Recursos Hidráulicos realizó un estudio sobre la calidad y contaminación de las aguas de los canales en colaboración con el Instituto de Geofísica de la UNAM. En el análisis químico practicado, en algunas muestras encontraron bajo contenido de sodio y condiciones de salinidad alta. En otras muestras encontraron, bajo contenido de sodio y salinidad media. Fotografía 4.

Con respecto a la calidad de las aguas, las agruparon en su mayoría en la clase IV (Von Tumpling). En el análisis biológico, se encontró la presencia de bacterias coliformes de origen fecal, lo cual indica el carácter polisapróbico de estas aguas, como lo ilustra el Cuadro 6.

Finalmente concluyen, que las aguas están fuertemente contaminadas y su empleo para agua de riego, es desde el punto de vista de salud pública dudosa. (Balanzario, 1976).

Moncada (1976), menciona que " la calidad del agua de los canales es un problema debido a que es agua negra que ha recibido un tratamiento primario que, en forma muy esquemática consta de: 1) Una sedimentación y decantación primaria, para eliminar desechos. 2) Aireación para que desplieguen sus actividades las cepas bacterianas. 3) Sedimentación y decantación secundaria, para eliminar lodos biológicos y 4) Cloración al 1.5 mg/l.

Las aguas son tratadas en las plantas "Xochimilco" y "Cerro de la Estrella" pero son conducidas a cielo abierto por medio del Canal Nacional y Canal de Garay respectivamente, éstos atraviesan zonas con alta densidad de población, que descargan sus drenajes, basuras, desperdicios, etc., lo cual res



Fotografía 4. Es un acercamiento a uno de los bordes de los canales de Xochimilco, donde se puede apreciar claramente la acumulación de sales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ta valor al hecho de que estas aguas sean tratadas ".

Cuadro 6. Resultados del análisis bacteriológico de las aguas de los canales de Xochimilco, D.F.

Estación y hora	Pruebas	No. de organismos en 100 ml.
Laguna del Toro	Coliformes totales	3,000,000
1 10:30	Coliformes fecales	2,400,000
Laguna de la Asunción	Coliformes totales	100,000
2 12:40	Coliformes fecales	93,000
Canal de Huehuepa	Coliformes totales	110,000
3 12:20	Coliformes fecales	93,000
Canal de Apatlaco	Coliformes totales	930
4 12:00	Coliformes fecales	150
Canal de Atizapa	Coliformes totales	4,300
5 11:30	Coliformes fecales	4,300
Laguna Apanpilco	Coliformes totales	7,500
6 11:10	Coliformes fecales	7,500
Laguna del Toro	Coliformes totales	4,300
7 10:45	Coliformes fecales	1,500

Balanzario, 1976.

4. Clima.

De acuerdo con García (1973), la región presenta un clima C(wo) es decir, clima templado subhúmedo con lluvias en verano.

En el Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, (se considera que presenta) el subtipo climático C(wo)(w)b(i!); el más seco de los templados subhúmedos, con lluvias en verano y con un co cient e de precipitación y temperatura menor de 43.2, un porcen taje de lluvias invernales menor del 5% del total anual con rég imen térmico de verano fresco largo. La temperatura del mes más caliente es mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío está entre -3° y 18°C, la temperatura media anual es de 12° a 18°C.

Los vientos alisios son la principal fuente de humedad, los cuales cruzan la Sierra Madre Oriental y se presentan en el Valle de México con una dirección de noreste a sureste.

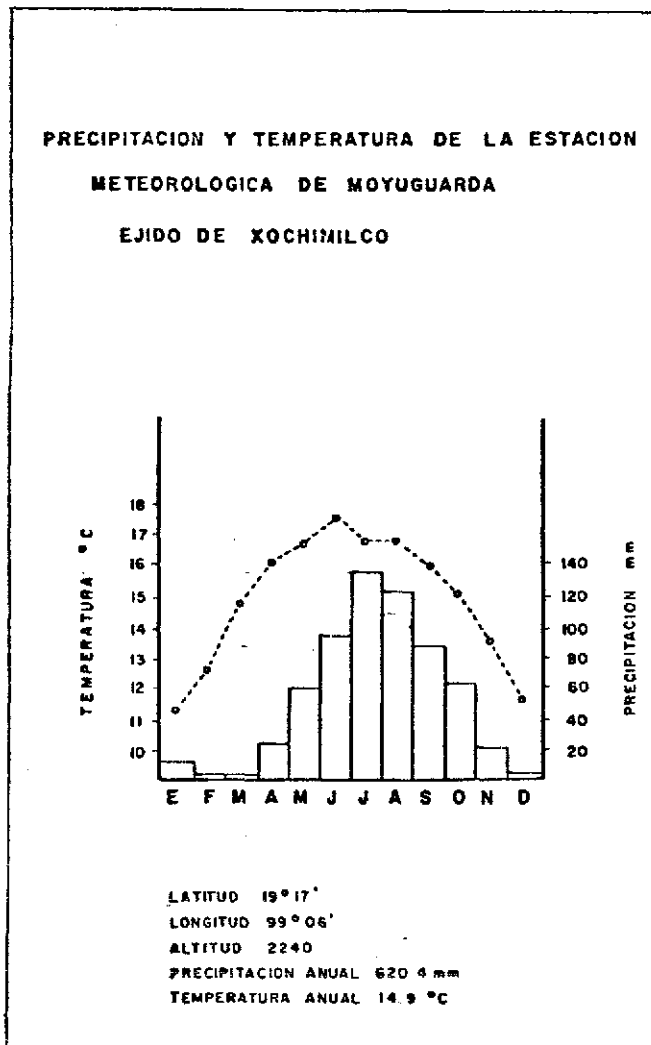
La precipitación es influenciada por la orografía y la al titud de 2,250 m.s.n.m., la precipitación es de 600 a 800 mm an uales. Casi cinco sextas partes de la lluvia anual cae durante los seis meses de mayo a octubre, como se puede ver en la Figura 2.

En las partes bajas hay invasiones de aire frío, que de la Sierra del Chichinautzin bajan por las laderas y se quedan en estas zonas, provocando mayor número de días con heladas, lo cu al afecta a la agricultura del lugar.

5. Vegetación.

En los relieves elevados al sur de la región, se encuentran pequeñas zonas de vegetación de bosque mixto de: pinos (Pi nus sp.), cedros (Cupressus sp.), ahuehuetes (Taxodium sp.), ocotes (Pinus sp.), encinos (Quercus sp.), madroños (Arbutus sp.) ailes y tepozanes (Alnus sp. y Buddleia sp.) respectivamente.

En los lomeríos se encuentran capulines (Prunus capuli), eucaliptos (Eucalyptus sp.), alcanfores, pirus (Schinus molle). Plantas xerófitas y herbáceas como el toloache, que crece en



TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

Figura 2. Gráfica donde se muestra que la mayor precipitación pluvial se registra principalmente en los meses de julio a septiembre.

forma aislada.

Se encuentran también, cultivos de frutales como: tejocotes (Crataegus mexicana), capulines (Prunus capuli), aguacates (Persea americana), duraznos (Prunus persica), membrillos (Cydonia oblonga) y cítricos (Citrus spp.). (Mendoza, 1961).

En la Llanura lacustre se encuentran ahuejotes (Salix bonplandiana), cuyo nombre significa viejo erguido del agua, el cual es un sauce típico del paisaje de Xochimilco, lo mismo que sus chinampas. Los ahuejotes fueron sembrados con el fin de fijar las chinampas al fondo de la laguna. Una vez que la chinampa en formación había llegado a tener una altura de 20 á 25 cm., sobre el nivel del agua procedían a plantar estacas de sauce en las orillas, con el objeto de consolidar el terreno. Por ésto es que los sauces se encuentran en las orillas de los canales de Xochimilco y en los márgenes de las chinampas, las cuales son zonas agrícolas de tipo mixto.

La superficie de los canales es el hábitat de una gran variedad y cantidad de plantas acuáticas, como son: el lirio de agua (Echiornia crassipes), (Limnobium stoloniferoerum), (Pistia stratiotes), chilacastle (Wolfia gladiata) y (Lemna spp.) llamada también lentejilla chichicastle.

Los tules (Thypha angustifolia y la Thypha latifolia) forman parte de las herbáceas acuáticas del lugar.

Se encuentran diferentes zacates, entre ellos el zacate robusto (Enchinochloa cruspavonia), zacate pata de gallo (Cynodon dactylon), zacate criollo (Hordeum adscendens), el carrizo (Gynerium sagittatum). Estas especies sirven de forraje al ganado vacuno.

En las zonas afectadas por sales, se establecen diferentes plantas halófitas como son: Heliotropium curassavicum, Suaeda diffusa, Datura stramonium L. y Distichlis spicata. (Sánchez, 1980).

6. Suelos.

Mendoza (1961), menciona que " debido a que el suelo es inclinado de sur a norte, resulta que los suelos que corresponden a la llanura, fueron formados por acarreos de las aguas que han llegado desde las partes altas, constituyendo así, una llanura lacustre en la que predominan en sus depósitos los migajones ". Mas adelante agrega: " En la zona de la llanura se encuentran suelos ricos en materia orgánica, especialmente los Ejidos de la Ciénega.

Acevedo (1972), por su parte, menciona que " los suelos de Xochimilco se formaron a consecuencia de la intemperización de la roca madre, compuesta principalmente por materiales de origen volcánico". Posteriormente dice " los suelos de las partes altas son migajones arenosos y arcillosos, debido a la tala inmoderada de sus bosques y a la erosión de los suelos ".

Alfaro y Orozco (1980), realizaron un estudio edafológico del Ejido de Xochimilco (Ciénega Grande) y reportan tres tipos de horizontes de diagnóstico: hístico, mólico y cámbico. También encontraron dos características diagnósticas como fueron la salinidad y sodicidad.

Las unidades taxonómicas que encontraron y las cuales han creado controversia, entre los especialistas en suelos son las siguientes: Histosol eutrico, Solonchak mólico y Andosol mólico.

Cartográficamente los autores mencionan cinco unidades cartográficas de suelo.

1) Histosol eutrico, moderadamente salino con inundación temporal y sobre clase textural media.

2) Histosol -utrigo + Solonchak mólico, con fase fuertemente salina y fase sódica, sobre clase textural media.

3) Solonchak mólico + Histosol eutrigo, con fase sódica y sobre clase textural media.

4) Solonchak mólico, con fase sódica y sobre clase textural media. Esta unidad comprende aproximadamente el 15% del área total, cartográficamente está representada por un tipo de suelo, llamado taxonómicamente Solonchak mólico(Zm) y se caracteriza de los demás por no presentar inundaciones en todo el año, además es el de menor contenido de materia orgánica, pero mayor concentración de sales. Sus limitaciones más severas al uso agrícola, son salinidad, sodicidad y drenaje. Las limitaciones son más drásticas y la producción es nula. El drenaje de esta unidad es deficiente debido a que el suelo esta interferido por una fase denominada taxonómicamente duripán.

El uso actual de esta zona debido al salitre, es nulo ya que fué la primera donde dejaron de cultivar, debido a que la producción no era rentable, razón por la cual quedaron abandonadas las parcelas. Considerando esta negativa el DDF - rentó un espacio abierto por 10 años donde se estableció el vivero forestal " Nezahualcōyotl ". También se han instalado 2 granjas porcinas para beneficio de un pequeño grupo de ejidatarios.

El haber enfatizado sobre esta unidad de suelos, es por su cercanía al lugar de estudio del presente trabajo.

5) Histosol eutrigo, con inundación permanente, fase fuertemente salina, fase sódica y sobre clase textural media.

Lugo (1984), hizo un reconocimiento de los suelos sódico-salinos del Ejido Xochimilco, y planteó su posible recuperación.

Trejo en el mismo año, realizó estudios edafológicos, del Ejido GRande de Xochimilco y en sus conclusiones menciona: " Los suelos que más abundan en esta área de estudio son suelos salino-sódicos, los cuales se encuentran representados en 6 de los 8 perfiles efectuados". También menciona, " Los sue-

los del Ejido Grande de Xochimilco presentan características variables para obtener altos niveles de productividad como lo son: el alto contenido de materia orgánica, de fósforo asimilable, de nitrógeno en forma de nitratos y su elevado contenido de humedad; sin embargo, en la actualidad, dichas características se van perdiendo, debido principalmente a la intensa actividad antrópica comprobable, tanto en el elevado nivel demográfico como industrial, en la densidad urbana y en la contaminación con aguas negras; siendo estos factores los que han establecido las limitantes más severas para el uso y manejo del suelo, como son la salinidad, sodicidad e inundación". Fotograffa 5.

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos practicados a uno de los perfiles, - trabajados por Trejo (1984), el cual ilustra las condiciones que prevalecen, en la Ciénega Grande de Xochimilco.

7. La Agricultura Chinampera.

El Valle de México formado por un sistema de cuencas lacustres de poca profundidad, estaba subdividido por la cuenca Xochimilco-Chalco cubierta por una serie de pantanos, ciénegas y lagunas, desde el extremo oriente hasta la salida natural que desembocaba en el Lago de Texcoco. Desde la época precolombina se construían en estos pantanos terrenos hortícolas, elevados por encima del agua.

Investigaciones basadas en la interpretación de fotografías aéreas y en la búsqueda en el terreno de restos de los antiguos sistemas rurales, han revelado que la extensión de los campos elevados construidos en la Cuenca Xochimilco-Chalco, era en el período de los aztecas, mucho mayor de los que se ha reconocido. (Armillas, 1971).

Las chinampas son métodos autóctonos para expandir la tierra de cultivo sobre los pantanos, ciénegas y lagunas de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 5. Perfil de suelo, de un punto de muestreo del Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, la cual se encuentra afectada - por sales y sodio. Se puede observar el color oscuro característico de éstos suelos ricos en materia orgánica y con un manto - freático a pocos centímetros de profundidad.

Cuadro 7. Resultados de los análisis físicos y químicos, practicados al perfil No. 2 Taxonomía Edáfica: Salino - Sódico. Tomado de Trejo, 1984.

Prof. en cm.	SECO	HUMEDO	TEXTURA			D.A. g/cc	D.R. g/cc	% POR.	H ₂ O 1:2.5	KCL % M.O.	CICT	pH			p.p.m.	NO 3		
			% ARC.	% LIM.	% ARE.							Ca ⁺⁺ Meq/100 g	Mg ⁺⁺	K ⁺			Na ⁺	
0-10	7.5YR5/1 gris	5YR2.5/0 negro	18.0	50.0 migajón	32.0 limoso	0.58	1.77	67.23	9.0	8.5	27.42	50.0	67.0	79.0	1.4	36.1	158.0	940
10-20	7.5YR5/1 gris	5YR3/0 g. muy o.	14.0	48.0 migajón	38.0 limoso	0.53	1.78	70.22	9.0	8.5	27.32	44.4	52.0	83.0	1.3	37.4	133.7	845
20-30	7.5YR6/0 gris	5YR2.5/1 negro	21.6	42.0 migajón	36.4	0.45	1.74	74.14	9.1	8.6	27.47	42.0	59.0	59.0	1.4	31.3	129.6	795
30-40	7.5YR5/0 gris	5YR3/0 g. obsc.	22.0	36.0 migajón	42.0	0.40	1.68	76.19	9.1	8.8	17.59	59.0	61.0	73.0	1.1	29.8	129.6	730
40-50	7.5YR5/1 gris	5YR3/0 g. obsc.	24.0	36.0 migajón	40.0	0.45	1.63	72.39	9.3	8.8	16.39	57.0	71.0	27.0	1.1	25.7	141.8	515
50-60	7.5YR7/0 gris claro	5YR4/1 gris obs.	14.0	48.0 migajón	38.0	0.59	1.70	65.29	9.5	9.0	14.58	83.4	40.0	56.0	1.0	23.7	141.8	383
60-70	7.5YR6/1 gris claro	5YR2.5/1 negro	22.0	40.0 migajón	38.0	0.51	1.79	71.51	9.4	8.9	26.58	52.4	50.0	90.0	0.8	24.0	149.9	
70-80	7.5YR5/1 gris	5YR2.5/1 negro	20.0	42.0 migajón	38.0	0.52	1.67	68.87	9.2	8.6	28.21	46.0	46.0	77.0	1.2	24.6	140.0	
80-90	7.5YR4/0 gris obsc.	5YR2.5/0 negro	18.0	42.0 migajón	40.0	0.51	1.75	70.86	9.1	8.7	21.11	48.8	47.0	82.0	1.3	21.4	140.0	
90-100	2.5YR5/0 gris	5YR2.5/0 negro	16.0	40.0 migajón	44.0	0.48	1.82	73.63	9.3	8.8	21.78	52.0	55.0	50.0	1.3	23.9	140.0	
100-110	7.5YR7/1 gris claro	5YR2.5/2 café obsc.	18.0	36.0 migajón	46.0	0.61	1.97	69.04	9.1	8.6	26.43	73.2	34.0	69.0	1.1	17.4	101.3	
110-120	7.5YR5/0 gris	5YR3/0 g. muy o.	18.0	18.0 migajón	64.0 arenoso	0.46	1.80	74.44	8.9	8.5	23.69	52.2	60.0	29.0	1.6	23.1	101.3	21
120-130	7.5YR6/1 gris	5YR3/0 g. muy o.	10.0	30.0 migajón	60.0 arenoso	0.61	1.97	69.04	8.6	8.1	27.91	41.2	52.0	77.0	1.7	16.1	101.3	
130-140	7.5YR5/2 café	5YR3/2 café obsc.	10.0	34.0 migajón	56.0 arenoso	0.59	2.13	72.30	8.7	8.0	26.28	42.4	58.0	36.0	1.6	18.8	93.2	

Cuadro 7. Continuación, Tomado de Trejo, 1984.

EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACION

Prof. en cm.	C. E. muchos/cm	pH	LOS CATIONES Y ANIONES EN meq/100g										S. T.	RAS	PSI
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	CO ₃ ⁼⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	S. T.	RAS			
0-10	47.78	9.0	2.40	10.92	0.56	17.81	---	5.54	3.28	0.49	17.6	21.31	23.18		
10-20	27.03	8.9	1.57	11.01	0.21	17.43	---	4.94	2.56	0.18	15.6	19.56	21.62		
20-30	32.14	9.1	1.74	13.98	0.27	19.00	---	4.70	4.50	0.24	18.8	18.21	20.30		
30-40	29.35	9.1	1.96	13.15	0.26	21.30	---	2.37	2.93	0.21	18.3	21.14	23.03		
40-50	21.80	9.2	2.17	10.85	0.19	20.48	---	4.89	3.05	0.20	14.6	20.79	22.72		
50-60	22.36	9.4	1.43	5.94	0.15	9.60	---	2.13	1.50	0.09	13.1	15.92	18.18		
60-70	17.33	9.4	1.07	7.26	0.16	10.51	---	1.45	0.72	0.11	9.9	14.32	16.57		
70-80	19.84	9.1	1.76	5.05	0.14	10.10	---	1.35	1.58	0.23	10.5	16.85	19.09		
80-90	16.77	9.1	2.20	5.50	0.17	10.52	---	3.17	1.82	0.25	9.6	14.74	17.00		
90-100	16.11	9.2	1.66	8.65	0.18	13.22	---	3.33	2.16	0.29	9.8	14.55	16.81		
100-110	20.12	9.0	1.11	5.80	0.16	14.34	---	2.14	1.64	0.22	5.5	15.77	18.03		
110-120	22.36	9.0	1.62	5.95	0.30	10.86	---	2.08	1.89	0.26	5.3	15.46	17.73		
120-130	19.57	8.8	1.29	5.15	0.17	8.98	---	1.81	1.76	0.21	5.9	15.56	17.82		
130-140	15.83	8.8	1.28	5.75	0.13	8.64	---	1.55	1.66	0.18	5.4	14.40	16.65		

poca profundidad, donde se construfan islotes artificiales por acumulaci3n de espesos mantos de plantas acuáticas y lodo extraído del fondo de la misma ciénega. Las chinampas no flotan, a no ser por corto tiempo después de su construcci3n y aún entonces se mantienen firmes en su lugar al ser fijadas al fondo con ramas del sauce Salix bonplandiana, conocidos como ahuejotes.

El nombre chinampa proviene de chinamitl, que en la lengua nahuatl ó mexicana significa " seto ó cerco de cañas, cercado hecho de palos ó varas entretrejidas ". (West y Armillas, 1950).

A las chinampas, se les ha nombrado también como " jardines flotantes ", "jardines en los pantanos" y como el " milagro de la vida sobre el agua ".

En la actualidad las chinampas lo mismo que los canales, y la calidad de sus aguas han venido a menos. Cordero (1984), menciona que, mientras en 1700 habfa más de 40,000 de estas, para el siglo siguiente disminuyeron a 38, 760 y a principios de 1900, la cifra se redujo a 15,000 chinampas aproximadamente. Lo anterior se debió a que las chinampas se transformaron en "ciénegas"-chica y grande-, o terrenos comunes para la siembra del maíz de temporal.

Pero sí el número de chinampas bajó tan notablemente, entrando este siglo lo más asombroso es que a la fecha, existen aproximadamente 900 en producci3n, con uno o dos cultivos por año; a diferencia de hace 30 años, en que tenían hasta cinco cosechas de productos varios.

Las chinampas antes mencionadas se encuentran en una extensión no mayor de 1,968 hectáreas.

La mayor parte de las plantas cultivadas en las chinampas se siembran primero en almácigos, que se hacen generalmente en el extremo de una chinampa junto al canal. El lodo para ese fin, lo extraen del fondo del canal con el zoquimaitl,

que significa instrumento para el cieno, el cual es una bolsa de tela amarrada a un aro (de brazo de árbol) colocado en el extremo de una vara larga de alrededor de 5 m de largo.

Xochimilco tiene cinco pueblos chinamperos: Nativitas, Acalpixcan, San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco y Tulyehualco.

Los cultivos de chinampa, que se cultivaban en forma rutinaria hasta hace diez años y de los cuales algunos se siguen cultivando en las aproximadamente 900 chinampas, que actualmente se laboran, son:

El maíz (tierno -elote para hervir, etc.), el frijol, las calabazas, las legumbres, los romeritos y las flores.

De las legumbres se tienen: rábano, nabo, colinabo, col, zanahoria, coliflor, lechuga, pepino, apio, cilantro, perejil, epazote, cebollita de cambray, espinacas, acelgas, betabel y haba. (Farias, 1984).

La producción de flores está también muy extendida, cul tivándose una gran variedad de ellas, de preferencia amapola, margarita, clavel, pensamiento, crisantemo, dalia, rosa y alhe lí.

Por otra parte, la superficie de Xochimilco es de 134,58 km², la zona comprendida por las 900 chinampas laborales ahora es de 1,968 ha aproximadamente. El área de los canales es de 2,200 ha y su extensión es de 189 km., y el número de habitantes de acuerdo al censo de 1980, es de 546,802.

Considerando las actividades económicas de la población, en 1975 existían, según una estimación de las autoridades locales aproximadamente 25% de población activa dedicada a actividades primarias y según el censo de 1970, se indica que es de 38.6%. Lo cual demuestra que todavía una considerable mayoría de la población se dedica a la agricultura de chinampas y sólo un 5% posee terrenos ejidales de temporal, en los cuales los únicos cultivos son el maíz y el frijol.

Los cultivos de las chinampas, básicamente hortalizas, flores y plantas de ornato tienen como destino el mercado de Jamaica en la Ciudad de México, al cual se llevan productos diariamente, y en menor cantidad al mercado de Xochimilco.

Aguilar (1976), en su tesis presentada sobre " El impacto Urbano en Xochimilco " menciona la existencia de un proyecto de zonificación, para la zona baja de la Delegación de Xochimilco (bajo la cota de 2,300 m) elaborada por el DDF., y hace referencia a la Ley de Asentamientos Humanos (aprobada en mayo de 1976) y a la Ley del Desarrollo Urbano del D.F. (aprobada en diciembre de 1978), con las cuales este proyecto de zonación genera una relación estrecha.

El contenido general de la Ley de Asentamientos Humanos, se hace referencia a dos aspectos importantes que están directamente relacionados con la zona de Xochimilco y con su futuro desarrollo. Uno de estos aspectos se refiere al contenido del Art. 47 de la Ley, que en su párrafo segundo establece, " Las tierras que se encuentran en explotación minera, agrícola ó forestal, ó que sean aptas para estos tipos de explotación, deberán utilizarse preferentemente en dichas actividades, de las que sólo podrán retirarse para ser incorporadas al proceso de urbanización , de acuerdo con la legislación especial sobre esas materias". Lo anterior podría constituir una base para la preservación de la zona agrícola de Xochimilco, tanto por su carácter de reserva acuífera de la Ciudad de México, como por el uso agrícola que históricamente ha tenido; pero esta disposición, a su vez, esta sujeta a la Ley Local que para el efecto se dicte.

Dentro de la Ley del Desarrollo Urbano del D.F. al igual que se menciona en la Ley General de Asentamientos Humanos, se consideran las áreas predestinadas a la conservación, mencionadas en el Art. 51 Fracc. 11 donde " se consideran espacios destinados a la conservación, los dedicados en forma habitual y adecuada a las actividades agrícolas ". Con lo cual

se establece un instrumento legal, más directo, para propugnar la conservación de las zonas agrícolas de Xochimilco, tanto de la zona chinampera como de la zona ejidal.

Finalmente concluye, que las zonas agrícolas chinamperas representan aún el medio de vida de una gran cantidad de población y que además significan zonas de abastecimiento agrícola de la Ciudad de México. La Ley del Desarrollo Urbano del D.F., puede convertirse en el instrumento legal para la conservación de estas áreas.

Desafortunadamente, aunque existen medios legales que defienden la conservación de áreas con tantos recursos naturales como es Xochimilco, vemos que día con día se van perdiendo y la mancha urbana de la Ciudad de México poco a poco se ha ido extendiendo, en zonas cuya productividad agrícola había sido excelente; lo anterior resulta ilógico ante la inteligencia, ya que la producción de alimentos es una tarea fundamental, en el desarrollo de la vida humana y de las sociedades a través del tiempo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fotografía 6. Fotografía aérea donde se observa el aumento progresivo de zonas urbanas, reduciendo cada vez más la superficie de cultivo de Xochimilco y pueblos aledaños.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI. MATERIAL Y METODOS

El muestreo del área de estudio se hizo en la localidad conocida como Ejido Ciénega Grande en Xochimilco, D.F.

El muestreo fue completamente al azar, cubriendo una su perficie de 2 ha aproximadamente; las muestras de suelo se colectaron a 0.30 m de profundidad y en total se tuvieron 10 muestras, las cuales se mezclaron y homogeneizaron.

Los análisis físicos y químicos practicados al suelo fue ron: color, textura, densidad aparente y real, % de porosidad, pH, % de materia orgánica, C.I.C.T., Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ intercambiables. Se hicieron pastas de saturación con el suelo y del extracto de éstas se determinó: conductividad eléctrica, pH, Cl^- , $SO_4^{=}$, $CO_3^{=}$, HCO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ y se calcularon el PSI, RAS? PSS y el % de saturación.

Con base al sodio intercambiable presente en el suelo originalmente, se hicieron los cálculos de la cantidad de mejorador que se agregó a cada unidad experimental, es decir las dosis de los tratamientos.

Los mejoradores aplicados fueron: yeso, cloruro de calcio, cloruro férrico y ácido sulfúrico. Las dosis de 100% y 150% fueron calculadas teóricamente, para sustituir el sodio del complejo de cambio. Cuadro 8.

El experimento se instaló en el invernadero de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Las unidades experimentales consistieron de 27 botellas de vidrio, de capacidad de 1 lt., con la base removida como se muestra en la Figura 3. Las cuales contenían 500 g de suelo cada una.

La forma de incorporar los mejoradores al suelo fue la siguiente: en un recipiente, a los 500 g de suelo se les agregó el mejorador en la cantidad que le correspondía, dependiendo del tratamiento y agregando agua se hizo una pasta de satu

ración, la cual finalmente se vertió en la botella.

Por otra parte, se hizo un ensayo preliminar, con suelo tratado con mejoradores portadores de calcio: yeso (sulfato de calcio) y Cloruro de calcio, para observar la respuesta a través de un indicador biológico (planta de rábano Scarlet de la PRONASE) en condiciones de invernadero, para comparar la eficiencia de un mejorador altamente soluble y de uno poco soluble, como es el yeso.

Se trabajó con 9 macetas de 2 kg de capacidad, a las cuales se les agregó 1 kg de suelo y por separado los mejoradores: yeso y cloruro de calcio; en una sóla dosis de 100% en la sustitución del sodio, con tres repeticiones por cada tratamiento.

El diseño fue bifactorial combinatorio, en el cual los factores fueron: a) Mejoradores y b) Dosis.

Mejoradores	Acido sulfúrico. Cloruro férrico. Sulfato de calcio (yeso). Cloruro de calcio.
Dosis	100% Calculado teóricamente para sustituir el sodio adsorbi- 150% do en el suelo.

Los tratamientos se mantuvieron saturados con agua por 20 días, después de los cuales se les fue agregando una lámina de agua para lavar el exceso de sales.

El lavado del suelo se suspendió, cuando el agua del lixiviado final presentó una conductividad eléctrica menor de 3 mmhos/cm y fue entonces cuando se determinó la lámina total de agua agregada a los tratamientos de las botellas y de las macetas.

Se hizo el análisis químico del contenido de sales del agua que se usó para lavar el suelo, lo mismo que de los últimos lixiviados, del agua que drenó por el suelo de cada unidad experimental.

Finalmente, el suelo se removió de los recipientes, se secó, se tamizó (con malla de 2 mm de diámetro) y en el laboratorio se analizó nuevamente, para evaluar los cambios producidos por efecto de los diferentes tratamientos.

Análisis Físicos.

1. Color en seco y en húmedo. Por comparación con las Cartas de color Munsell (1954).
2. Densidad Aparente. Por el método del la probeta, empleando 10 cc de suelo. (Baver, 1956).
3. Densidad Real. Por el método del picnómetro. (Baver, 1956).
4. % de Porosidad. Por la relación del cociente de D.A. y D.R.
5. Textura. Siguiendo el método de Bouyoucos (1961).
6. Conductividad Eléctrica. Por medio del puente de conductividad Philips PW 9505.

Análisis Químicos.



7. pH .Se determinó en un potenciómetro Corning modelo 7. Usando una relación suelo-agua de 1:5 y 1:10 con agua destilada hervida. La misma relación se hizo con solución salina de KCl 1N pH 7.
8. % de Materia Orgánica. Se empleó el método de Walkley y Black modificado por Walkley (1947). Se agregó nitrato de plata para precipitar cloruros. (Jackson, 1964).

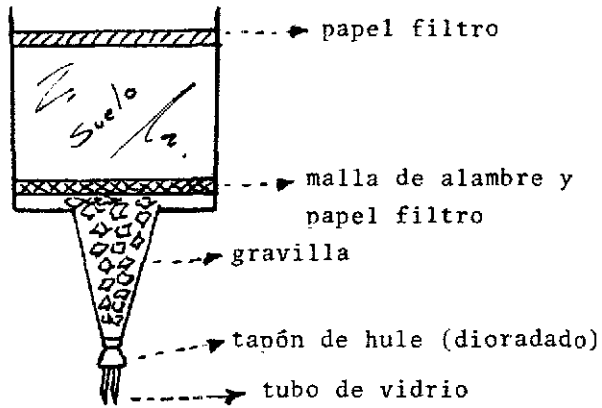
- 91
9. C.I.C.T. Utilizando como saturante el Acetato de Sodio 1 N. Lavando con etanol al 96% y eluyendo con Acetato de Amonio 1 N. Método 19 del Manual de Suelos Salinos y Sódicos. (Richards, 1980).
 10. Calcio y Magnesio intercambiable. Extrayendo con Acetato de Amonio y valorando por el método del Versenato (EDTA).
 11. Potasio y Sodio intercambiables. Extrayendo con Acetato de Amonio, después se empleó un fotómetro de flama Corning 400.
 12. Carbonatos y Bicarbonatos. Por el método 12 del Manual de Suelos Salinos y Sódicos. (Richards, 1980).
 13. Cloruros. Por el método 13 del Manual de Suelos Salinos y Sódicos. (Richards, 1980).
 14. Sulfatos. Por el método 14a del Manual de Suelos Salinos y Sódicos. (Richards, 1980).
 15. Calcio y Magnesio solubles. Se determinaron con alícuotas del extracto de la pasta de saturación, por titulación con versenato (EDTA) 0.02 N., utilizando como indicadores murexida y negro de eriocromo T. (Jackson, 1964).
 16. Potasio y Sodio solubles. Tomando alícuotas del extracto o del agua del lixiviado y diluyendo con agua destilada, para leer la emisión en el flamómetro Corning 400.
 17. RAS y PSI. Por medio del método 20b del Manual de Suelos Salinos y Sódicos. (Richards, 1980).
 18. La calidad del agua de riego se detrmínó de acuerdo con Richards, 1980.

Análisis Estadístico.

19. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el Centro de Estadística y Cálculo del Colegio de Posgraduados de Chapingo, Méx. Usandose una computadora IBM 3145. El análisis de varianza se hizo por el procedimiento de ANOVA

para mejoradores, dosis e interacción de estos, con respecto a las variables: PSI, CE_e , pH, Na^+ y Ca^{++} intercambiables.

Se hizo también la prueba de Gama Estudentizada de Tukey para obtener las pruebas de significancia, con respecto a los diferentes mejoradores y a las variables antes mencionadas.



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Figura 3. Diagrama del dispositivo de incubación empleado como unidad experimental.

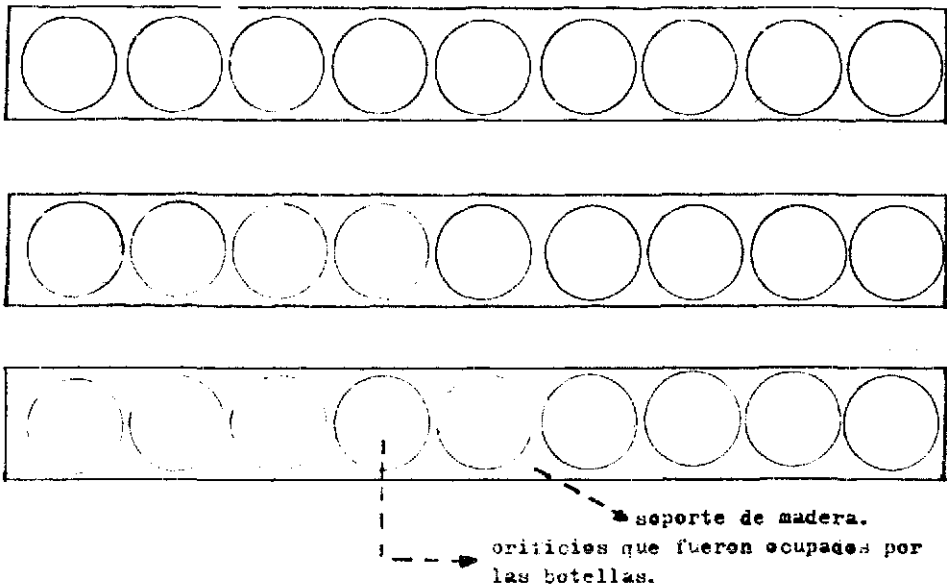


Figura 4. Disposición de las unidades experimentales en el invernadero.

Cuadro 8. Cantidades de los mejoradores para obtener teóricamente 100% y 150% de sustitución del sodio.

Sodio por sustituir en meq/100 g.	Miliequivalentes químicos de los mejoradores.	% de pureza de los mejoradores.
41.42	YESO	0.086 60%
	AC. SÚLFURICO	0.049 95 - 98%
	CLORURO FERRICO	0.090 60%
	CLORURO DE CALCIO	0.055 96%

a) Cantidad de mejoradores para 500 g de suelo.

Dosis	Yeso (g.)	Cloruro férrico (g.)	Cloruro de calcio (g.)	Ac. sulfúrico (ml.)
100%	29.68	31.05	11.95	5.40
150%	44.52	48.23	17.92	8.10

b) Cantidad de mejoradores para 1000 g de suelo.

Dosis	Yeso (g.)	Cloruro férrico (g.)	Cloruro de calcio (g.)	Ac. sulfúrico (ml.)
100%	59.36	62.10	23.90	10.80
150%	89.04	93.15	35.85	16.21

VII. RESULTADOS

Con base a los valores del PSI 39.72%, del pH 8.5 y de la CE_e de 36 mmhos/cm a 25°C., obtenidos de la muestra de suelo representativa de la zona afectada, se caracterizó como un suelo sódico-salino. Cuadro 9.

El análisis del agua que se empleó para lavar el suelo, se muestra en el Cuadro 10.

Con base en los valores del Na^+ 29.87 ppm y de la RAS de 1.04, se clasificó como C_2S_1 lo cual indica, que el peligro de sodio es bajo y el peligro de salinidad es medio.

En el Cuadro 9 se presentan las diferentes cantidades de mejoradores, para obtener teóricamente el 100% y 150% en la sustitución del sodio adsorbido en el complejo de cambio del suelo, en 500 y 1000 g de éste.

En el Cuadro 11, se muestran las necesidades de los mejoradores por hectárea y el costo de cada uno de ellos. El mejorador de mayor conveniencia económica es el yeso, le sigue el ácido sulfúrico, después el cloruro de calcio y el más costoso es el cloruro férrico.

Los resultados de los análisis físicos y químicos del suelo, antes y después de los tratamientos con los diferentes mejoradores químicos, y en las dosis de 100% y 150% de sustitución del sodio adsorbido se muestran en los Cuadros 13, 14 y 15.

El lavado y la aplicación de los mejoradores cloruro de calcio, yeso, ácido sulfúrico y cloruro férrico; cambiaron favorablemente la concentración de sales y de sodio en el suelo.

De una CE_e originalmente de 36 mmhos/cm., después de la aplicación de un tirante de agua de aproximadamente 60 cm se redujo a valores de 0.77 mmhos/cm en el suelo sin mejorador y en los suelos con mejorador y lavado se redujo la CE_e a valores menores de 3 mmhos/cm. Cuadro 15 y Fig. 5.

El PSI inicialmente de 39.72 se redujo significativamente a valores de 2.68 en el testigo, y a valores menores de 2% en los tratamientos con mejoradores. Cuadro 16, Fig. 6.

El pH del extracto de la pasta de saturación, disminuyó en función del mejorador y en algunos casos de la dosis. Fig. 7.

Para el CaCl_2 con un pH inicial de 8.5, no varió ni con 100% de sustitución del sodio, ni con 150%. Con yeso el promedio de los valores de la dosis de 100% dió pH de 8.4 y con 150% de 8.7. Con H_2SO_4 de 100% de sustitución 8.3 y con 150% 8.0 y finalmente con FeCl_3 de 100% fue 8.3 y con 150% 7.9 (Cuadro 17).

La C.I.C.T. se aumentó ligeramente de 41.30 a 43.69 meq/100 g. con lavado sin mejorador y el mayor valor encontrado en los tratamientos fue de 48.74 meq/100 g con H_2SO_4 en la dosis de 100%.

Los cationes intercambiables Mg^{++} , Na^+ y K^+ disminuyeron considerablemente, sobre todo el sodio de 41.42 meq/100 g a 4.15 meq/100 g en el testigo. Con mejorador químico y lavado los valores se disminuyeron, hasta valores de 2.62 meq/100g (Fig. 8).

El calcio intercambiable, varió dependiendo de la composición química de los mejoradores. Los mejoradores portadores de calcio presentaron una mayor concentración. De 65.82 meq/100 g a 67.0 meq/100 g con el tratamiento de CaCl_2 , en dosis de 100% y de 111.56 meq/100 g en suelo tratado con yeso, en dosis de 150% (Fig. 9).

Los tratamientos de H_2SO_4 y FeCl_3 disminuyeron la concentración de calcio de 65.82 meq/100 g a 39.96 meq/100 g con ácido sulfúrico en la dosis de 150% y a valores de 44.92 meq/100g con Cloruro férrico en la dosis de 150% también, y el testigo redujo su contenido de calcio a valores de 51.58 meq/100 g.

Del análisis de varianza, se obtuvo una diferencia altamente significativa entre los mejoradores, con respecto a los valores de PSI, CE_e , pH y Ca^{++} intercambiable (Cuadros 18-21).

Aunque no se encontró interacción entre mejoradores y dosis.

De la prueba de Tukey, se obtuvo significancia con respecto a los diferentes mejoradores y los valores de PSI, CE_e , pH, Na^+ y Ca^+ intercambiables (Cuadros 22 y 23).

No se encontró ninguna diferencia entre los cuatro mejoradores químicos empleados, en cuanto a los valores de PSI, sodio intercambiable y conductividad eléctrica. Pero sí hubo diferencia significativa entre los tratamientos con mejorador químico y el testigo.

Con respecto a los valores de calcio obtenidos, después de los tratamientos, se hizo el análisis de varianza, el cual demostró una diferencia altamente significativa entre mejoradores y una diferencia significativa entre mejoradores y dosis con interacción. (Figura 9 ; Cuadro 21).

Los resultados del análisis del agua que lixivió al final de cada aplicación del agua de lavado en las botellas, con los diferentes tratamientos se presentan en los Cuadros (del 25 al 29). Donde se aprecia la disminución de la concentración de sales, de acuerdo a la aplicación de la lámina de agua (fig. 11 y 12).

Resultados del suelo recuperado con $CaCl_2$ y Yeso, contenido en macetas y sembrado con rábano.

En el Cuadro 29 se presentan los resultados obtenidos del suelo tratado con yeso y cloruro de calcio separadamente en 100% de sustitución del sodio adsorbido, teóricamente calculado.

El análisis de varianza para los mejoradores cálcicos, con respecto a la disminución del PSI, no demostró diferencia significativa estadísticamente hablando. Cuadro 30.

Los resultados de los análisis del agua que lixivió al final de cada aplicación del agua de lavado, en las macetas se muestran en los Cuadros 31 y 32.

En el Cuadro 34 se presentan los pesos en fresco y en seco de las plantas de rábano que fueron sembradas, en los suelos tratados con yeso y cloruro de calcio. El valor promedio del peso seco con cloruro de calcio fue de 0.167 g., con yeso 0.048 g y del testigo 0.065 g. Como se muestra en los valores, el desarrollo de las plantas de rábano no fue el óptimo, sin embargo, de los pesos el valor promedio más alto fue el obtenido en las plantas que crecieron en suelo tratado con cloruro de calcio. Fotografías de 7-10.

El lavado de los suelos resultó ser muy positivo, ya que los pesos obtenidos con yeso y el testigo, no mostraron una diferencia significativa, incluso el valor del testigo fue mayor que el tratamiento con yeso.

Cuadro 9. Análisis físicos y químicos de la muestra de suelo, representativa de la zona afectada por salinidad y sodicidad, antes de haberlo sometido a diferentes tratamientos.

PROF. en cm.	C O L O R	TEXTURA	D.A.	D.R.	%	H ₂ O	pH	KCl	%	C.I.C.T.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺		
						g/cm ³				M.O.						
	Seco	Húmedo	%	%	%		POR	1:5	1:10	1:10	M.O.			Meq/100g.		
			ARC	LIM	ARE											
0-30	pardo grisáceo oscuro	9.2	42.8	48.0	0.75	2.30	67.4	9.2	9.5	9.3	9.4	7.06	41.30	65.82	39.88	41.42
				FRANCO												
		10YR 4/2	7.5YR2/0													

EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACION
LOS ANIONES Y CATIONES EN Meq/ lt.

Prof. cm.	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	C. E. mmhos/cm a 25°C	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	PSI	RAS	% SAT.	pH
0-30	125.0	232.87	---	40.0	36.0	37.40	193.60	489.13	8.33	39.72	45.54	65.20	8.5

Cuadro 11. Cantidad de mejoradores por hectárea y costo de cada uno.

MEJORADORES	CANTIDAD POR Ha.	COSTO EN Ton ó lt	COSTO
YESO	135.56 ton/ha	\$ 10,000.00	\$ 1,335.600.00
ACIDO SULFURICO	25,290 lt/ha	\$ 2,760.00 (20 lt. ind.)	\$ 3,490.020.00
CLORURO FERRICO	155.00 ton/ha	\$ 520,000.00	\$ 80,600,000.00
CLORURO DE CALCIO	54.00 ton/ha	\$ 250,000.00	\$ 22,032,000.00

Cuadro 12. Análisis físicos y químicos del suelo sin tratamiento químico y del suelo únicamente lavado (testigo).

ANÁLISIS DEL SUELO		CONDICIONES DEL SUELO	SUELO + LAVADO
		ANTES DEL TRATAMIENTO	SIN MEJORADORES
pH _{H₂O}	1:10	9.5	9.6
	1:5	9.2	9.4
pH _{KCl}	1:10	9.4	8.8
	1:5	9.3	8.4
C.I.C.T.	} meq/100g.	41.30	43.69
Ca ⁺⁺		65.82	51.58
Mg ⁺⁺		39.88	28.17
Na ⁺		41.42	4.15
K ⁺		2.53	3.19
EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACION			
pH		8.50	8.88
C.E. mmhos/cm. a 25°C		36.00	0.77
CO ₃ ⁼	} meq/lt	---	trazas
HCO ₃ ⁻		40.00	6.66
Cl ⁻		125.00	1.46
SO ₄ ⁼		232.87	0.17
Ca ⁺⁺		37.40	5.44
Mg ⁺⁺		193.60	5.70
Na ⁺		489.13	6.66
K ⁺		8.33	0.57
PSI		39.72	2.68
RAS		45.54	2.78
% DE SAT.		65.20	77.60
PSS		67.14	36.25

Cuadro 13. Resultados de los análisis físicos y químicos obtenidos del suelo después de los tratamientos con yeso y cloruro de calcio.

ANÁLISIS DEL SUELO		CaCl ₂	CaCl ₂	CaSO ₄	CaSO ₄
		100 %	150 %	100 %	150 %
pH _{H₂O}	1/10	9.1	9.0	8.8	8.8
	1/5	8.6	8.7	8.6	8.6
pH _{KCl}	1/10	8.6	8.7	8.7	8.5
	1/5	8.3	8.2	8.3	8.2
C.I.C.T.		47.53	48.18	42.31	39.85
Ca ⁺⁺	meq/100g.	67.00	65.70	95.34	111.56
Mg ⁺⁺		22.46	11.71	13.77	9.33
Na ⁺		2.95	3.08	2.92	2.72
K ⁺		2.34	2.45	2.38	2.17
VALORES OBTENIDOS DEL EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACION					
pH		8.5	8.5	8.4	8.7
C.E. mmhos/cm.a 25°C		2.28	2.35	2.57	2.39
CO ₃ ⁼	meq/lt.	trazas	trazas	trazas	trazas
HCO ₃ ⁻		5.00	4.66	6.33	7.16
Cl ⁻		1.86	1.90	1.26	1.60
SO ₄ ⁼		36.32	33.69	35.80	23.18
Ca ⁺⁺		22.78	21.64	22.04	24.70
Mg ⁺⁺		16.70	12.52	15.20	10.02
Na ⁺		5.50	6.30	7.09	6.15
K ⁺		0.69	0.66	0.66	0.61
PSI		0.56	0.94	1.11	0.81
RAS		1.24	1.50	1.62	1.41
% SAT.	73.50	76.50	75.50	75.30	
PSS	12.04	15.32	15.75	14.64	

* Los valores son la \bar{x} de las tres repeticiones de cada tratamiento.

Cuadro 14. Resultados de los análisis físicos y químicos obtenidos del suelo después de los tratamientos con ácido sulfúrico y cloruro férrico.

ANÁLISIS DEL SUELO		H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	FeCl ₃	FeCl ₃
		100 %	150%	100 %	150 %
pH _{H₂O}	1:10	8.5	7.7	8.5	7.5
	1:5	8.2	7.3	8.0	7.0
pH _{KCl}	1:10	8.0	7.6	8.1	7.5
	1:5	7.7	7.1	7.7	6.8
C.I.C.T.		48.74	45.28	48.18	44.92
Ca ⁺⁺		40.84	39.96	41.13	36.53
Mg ⁺⁺	meq/100g.	15.50	20.25	16.73	10.64
Na ⁺		3.03	2.62	3.06	3.09
K ⁺		2.32	2.25	2.23	2.13
VALORES OBTENIDOS DEL EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACION					
pH		8.3	8.0	8.3	7.9
C.E. mmhos/cm a 25°C		1.76	2.8	2.03	2.16
CO ₃ ⁼					
HCO ₃ ⁻					
Cl ⁻					
SO ₄ ⁼					
Ca ⁺⁺	meq/lt.	15.07	39.17	54.68	34.52
Mg ⁺⁺		14.53	18.24	19.76	22.54
Na ⁺		18.74	23.18	12.03	8.74
K ⁺		5.93	6.40	6.80	6.51
PSI		0.79	0.67	0.55	0.53
RAS		0.86	1.00	1.24	1.15
% SAT.		1.45	1.54	1.71	1.65
PSS		79.80	75.50	77.60	80.00
		14.82	13.19	17.37	20.78

¹ Los valores son la \bar{x} de las tres repeticiones de cada tratamiento.

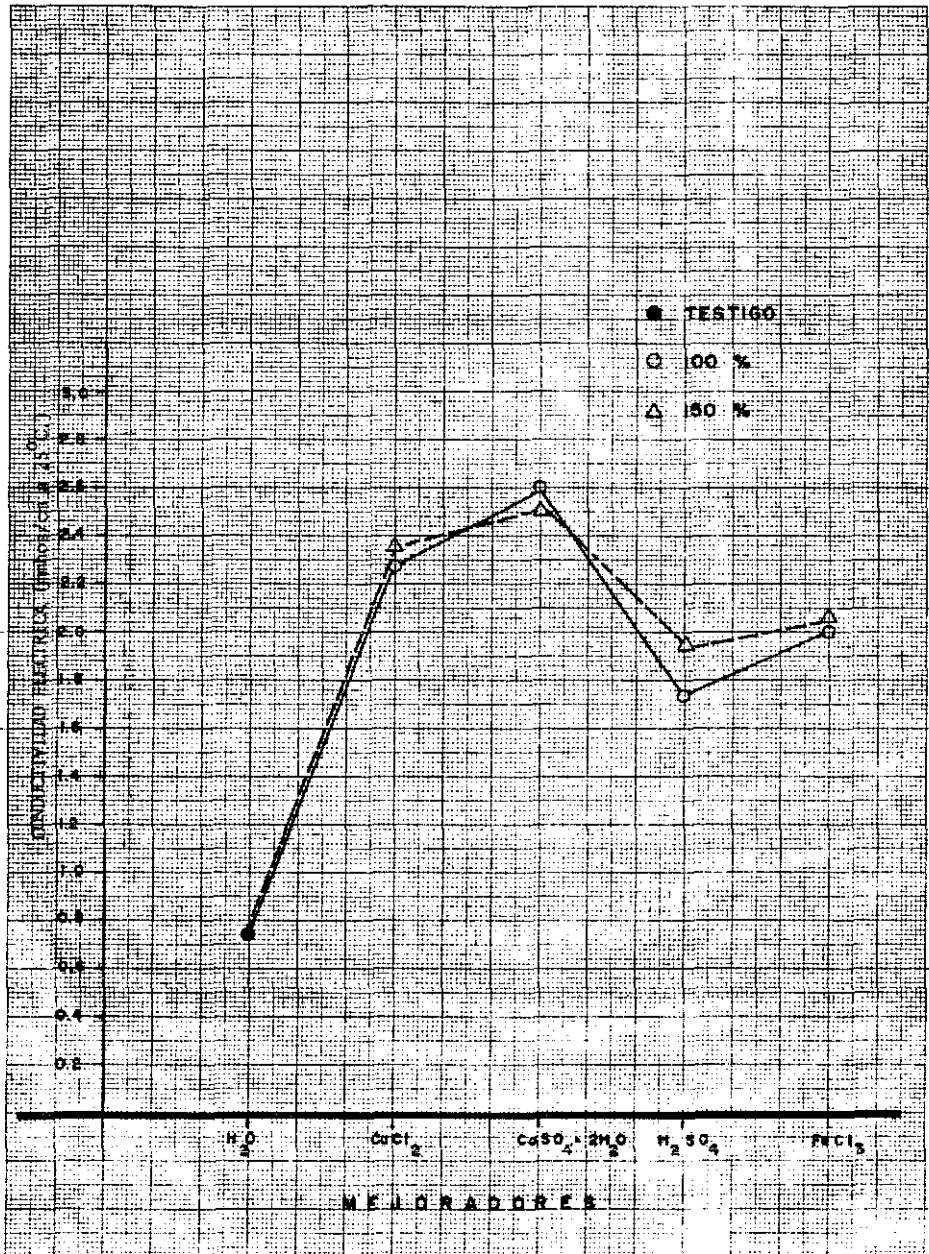


Figura 5. Variaciones de la Conductividad Eléctrica, en relación a los diferentes tratamientos con mejoradores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

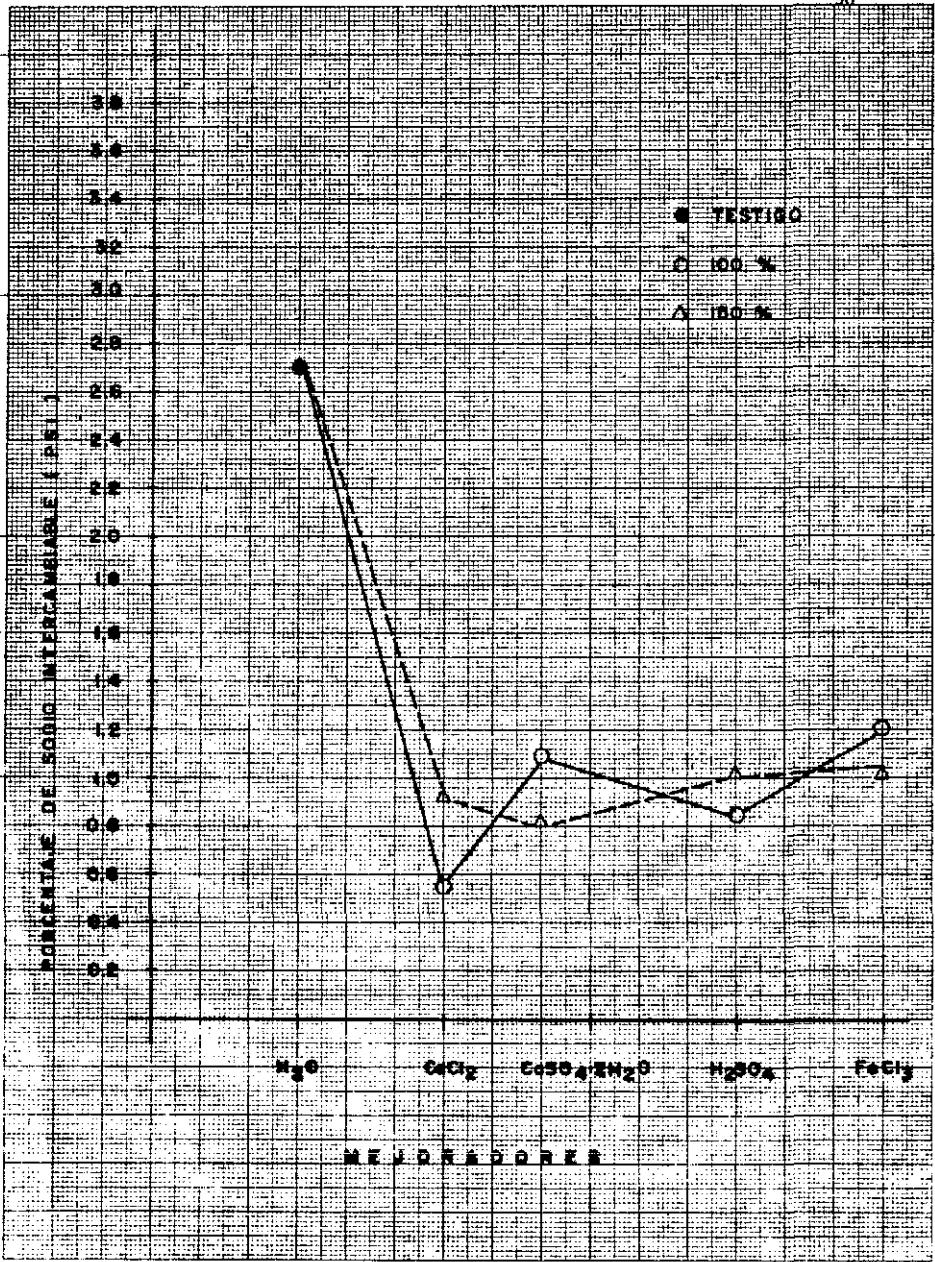


Figura 6. La gráfica ilustra las variaciones del PSI en relación a los diferentes tratamientos químicos, a que se sometió el suelo.

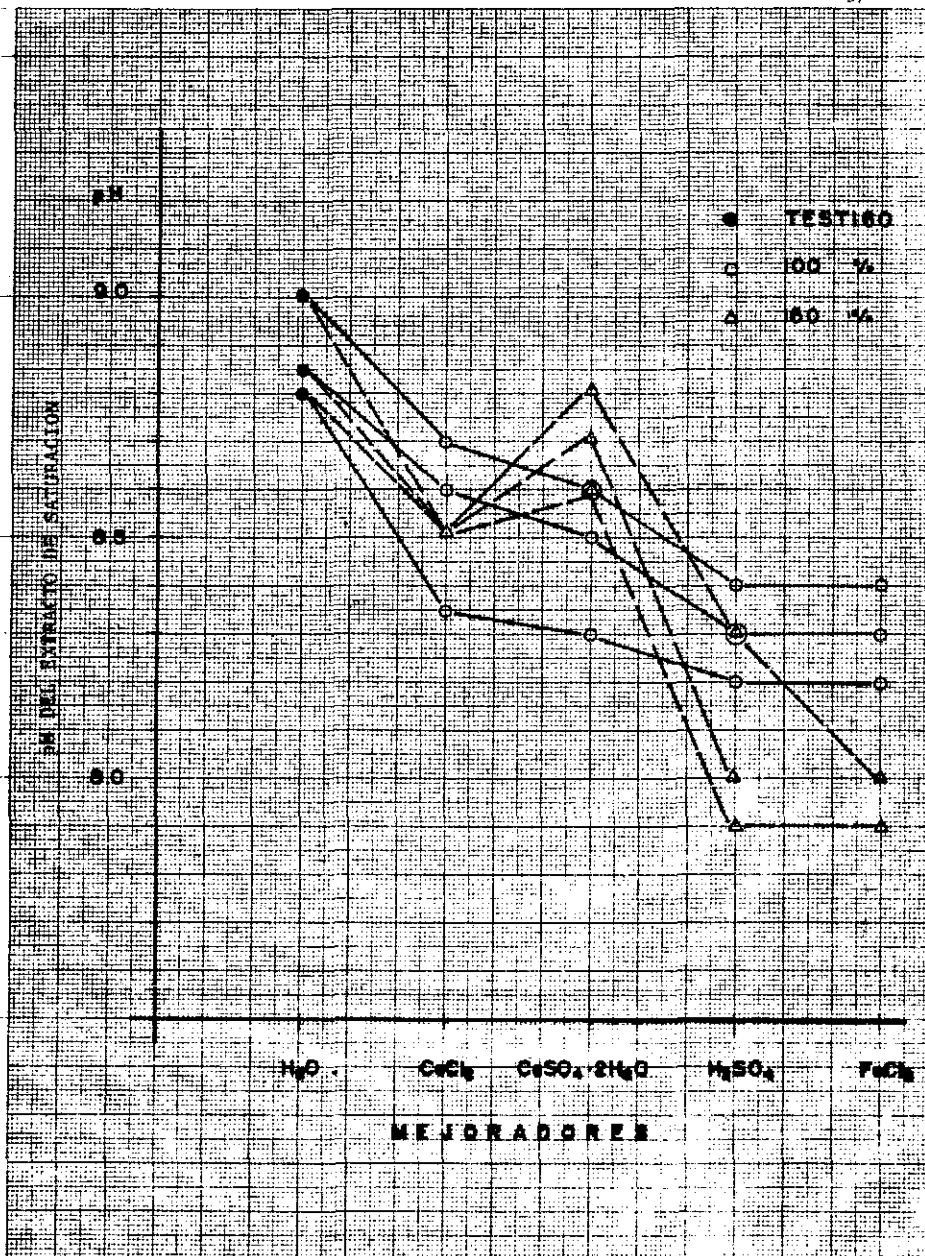


Figura 7. Variaciones del pH del extracto de la pasta de saturación del suelo, en relación con los diferentes tratamientos.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

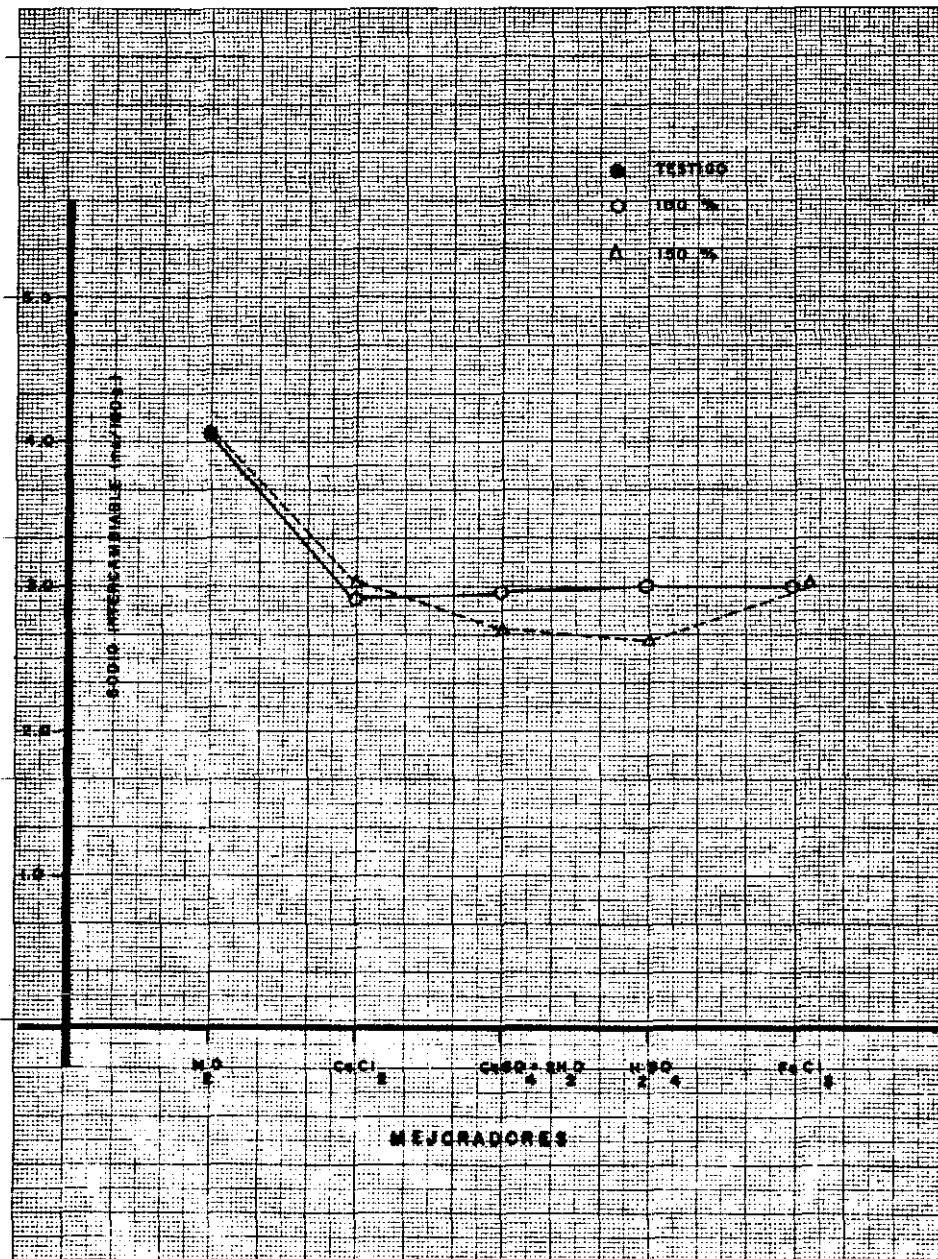


Figura 8. La gráfica ilustra las variaciones del SI en relación a los diferentes tratamientos.

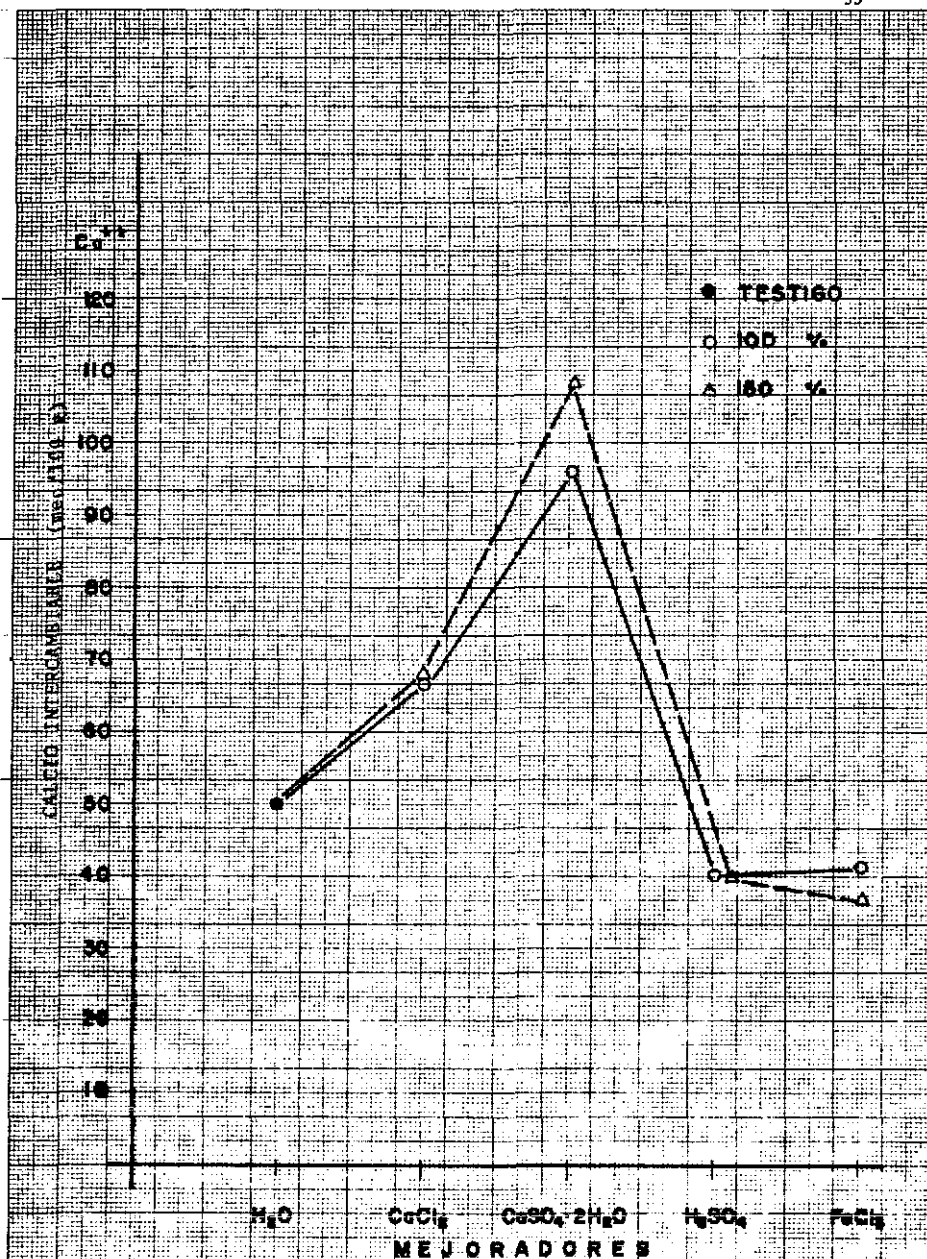


Figura 9. Variaciones en la concentración de Calcio Intercambiable en el suelo, después de los tratamientos aplicados.

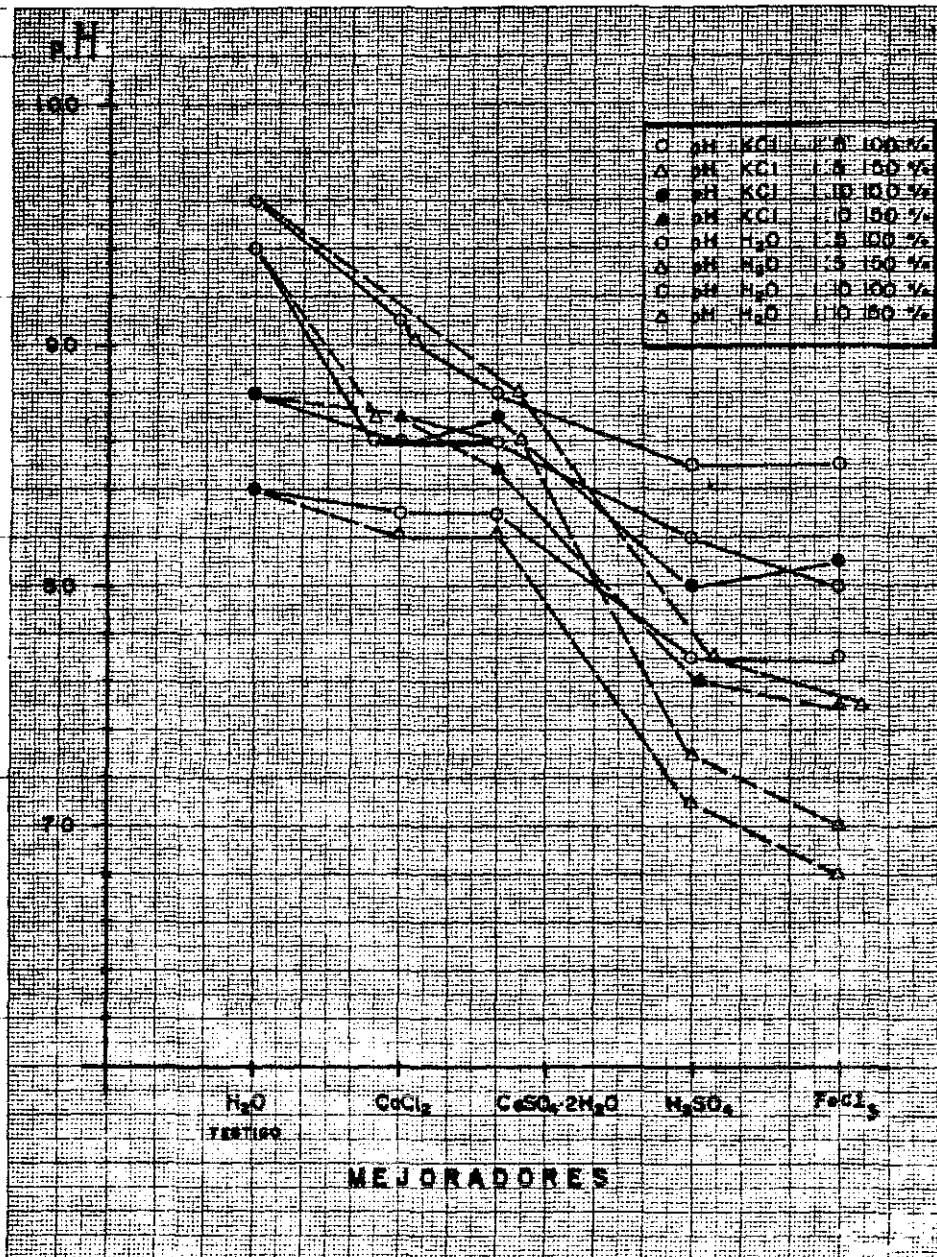


Figura 10. Variaciones del pH del suelo, en relación a los diferentes tratamientos.

Cuadro 15. Valores iniciales (i) y finales (f) de la CE_e obtenida de los extractos de saturación del suelo, con los diferentes tratamientos.

MEJORADOR	DOSIS	REPETICION	C. E. i mmhos/cm	C. E. f a 25°C	DISMIN. DE LA C.E. mmhos/cm	DISMIN. %
Cloruro de Calcio	100 %	1	36.00	2.25	33.75	93.75
		2		2.00	34.00	94.45
		3		2.60	33.40	92.78
	150 %	1	36.00	2.60	33.40	92.78
		2		2.20	33.80	93.89
		3		2.25	33.75	93.75
Acido Sulfúrico	100 %	1	36.00	2.10	33.90	94.17
		2		1.00	35.00	97.23
		3		2.20	33.80	93.89
	150 %	1	36.00	2.10	33.90	94.17
		2		1.90	34.10	94.73
		3		1.90	34.10	94.73
Cloruro Férrico	100 %	1	36.00	2.20	33.80	93.89
		2		1.90	34.10	94.73
		3		2.00	34.00	94.45
	150 %	1	36.00	2.30	33.70	93.62
		2		2.10	33.90	94.17
		3		2.10	33.90	94.17
Yeso	100 %	1	36.00	2.70	33.30	92.50
		2		2.23	33.77	93.81
		3		2.79	33.21	92.25
	150 %	1	36.00	2.79	33.21	92.25
		2		2.62	33.38	92.73
		3		2.16	33.84	94.00
Testigo		1	36.00	0.79	35.21	97.81
		2		0.74	35.26	97.95
		3		0.79	35.21	97.81

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 16. Valores iniciales y finales del PSI obtenidos de los extractos de saturación del suelo, con diferentes tratamientos.

MEJORADOR	DOSIS	REPETIC.	PST _i	PST _f	DISMIN. DEL PSI	DISMIN. en %
Cloruro de Calcio	100 %	1	39.72	0.33	39.39	99.17
		2		0.46	39.26	98.42
		3		0.91	38.81	97.71
	150 %	1	39.72	1.44	38.28	96.38
		2		0.70	39.02	98.24
		3		0.70	39.02	98.24
Acido Sulfúrico	100 %	1	39.72	0.56	39.16	98.60
		2		0.69	39.03	98.27
		3		1.34	38.38	96.63
	150 %	1	39.72	1.10	38.62	97.24
		2		0.91	38.81	97.71
		3		0.91	38.81	97.71
Cloruro Férrico	100 %	1	39.72	1.17	38.55	97.04
		2		1.04	38.68	97.38
		3		1.51	38.21	96.20
	150 %	1	39.72	0.97	38.75	97.56
		2		1.07	38.65	97.31
		3		1.43	38.29	96.40
Yeso	100 %	1	39.72	1.71	38.01	95.70
		2		0.74	38.98	98.14
		3		0.88	38.84	97.79
	150 %	1	39.72	0.92	38.80	97.68
		2		0.47	39.25	98.80
		3		1.05	38.67	97.36
Testigo		1	1	3.18	36.54	92.00
		2	39.72	2.18	37.54	94.50
		3		2.68	37.04	93.26

Cuadro 17. Valores iniciales y finales del pH del extracto de la pasta de saturación del suelo con los diferentes tratamientos.

MEJORADOR	DOSIS	REPETICION	pH INICIAL	pH FINAL
Cloruro de calcio	100 %	1	8.5	8.4
		2		8.7
		3		8.6
	150 %	1	8.5	8.5
		2		8.5
		3		8.5
Acido Sulfúrico	100 %	1	8.5	8.4
		2		8.2
		3		8.3
	150 %	1	8.5	7.9
		2		8.0
		3		8.3
Cloruro Férrico	100 %	1	8.5	8.3
		2		8.4
		3		8.2
	150 %	1	8.5	7.9
		2		7.9
		3		8.0
YESO	100 %	1	8.5	8.6
		2		8.3
		3		8.5
	150 %	1	8.5	8.8
		2		8.7
		3		8.6
TESTIGO		1	8.5	8.8
		2		8.9
		3		9.0

Cuadro 18. Análisis de varianza para mejoradores, dosis e interacción de las mismas con respecto a la disminución del PSI.

CAUSAS DE VARIACION	G.L.	S. C.	C. M.	Fc.	PR Fc	C.V.
Mejoradores.	4	14.820	3.700	25.61	⁺⁺ 0.01 %	
Dosis.	1	0.003	0.003	0.03	0.87	
Mej./Dosis.	4	0.373	0.093	0.65	0.0001	29.19
Error.	20	2.890	0.14			
Total.	29	18.090				

⁺⁺Diferencia altamente significativa.

No hay interacción.

Cuadro 19. Análisis de varianza con respecto a la disminución de la Conductividad eléctrica.

CAUSAS DE VARIACION	G.L.	S. C.	C.M.	Fc.	PR Fc	C.V.
Mejoradores.	4	11.97	2.99	10.90	⁺⁺ 0.01%	
Dosis.	1	0.42	0.42	1.53	0.23	
Mej./Dosis.	4	1.21	0.30	1.11	0.37	
Modelo.	9	13.61	1.51	5.51	0.07	26.14
Error.	20	5.49	0.27			
Total.	29	19.10				

Cuadro 20. Análisis de varianza para mejoradores, dosis e interacción con respecto a la disminución del sodio -- intercambiable.

CAUSAS DE VARIACION	G. L.	S. C.	C. M.	Fc.	PR Fc	C. V.
Mejoradores.	4	7.400	1.850	17.47 ⁺⁺	0.01%	
Dosis.	1	0.058	0.058	0.56	0.46	
Mej/Dosis.	4	0.274	0.068	0.65	0.63	
Modelo.	9	7.330	0.859	8.12	0.01	10.24
Error.	20	2.110	0.105			
Total.	29	9.850				

No hay interacción.

C. V. = 10.24 indica que los datos son confiables y un adecuado manejo del experimento.

Cuadro 21. Análisis de varianza para mejoradores, dosis e interacción de las mismas, con respecto al contenido de Ca⁺⁺ intercambiable.

CAUSAS DE VARIACION	G. L.	S. C.	C. M.	Fc.	PR Fc	C. V.
Mejoradores.	4	9969.70	2492	10.41	⁺⁺ 0.01%	
Dosis.	1	504.95	504	2.11	0.16	
Mej./Dosis.	4	2961.66	740	3.09	⁺ 0.03	
Modelo.	9	13436.32	1492	6.24	0.0003	27.16
Error.	20	4787.62	239			
Total.	29	18223.95				

⁺⁺ Diferencia altamente significativa.
⁺ Diferencia significativa.
 Hay interacción.

Cuadro 22. Resultados de la prueba de Tukey.

P = 0.05 V.C.E. = 4.232		
M.S.E. = 0.14 D. S. M. = 0.65		
<u>PSI</u>		
<u>MEJORADOR</u>	<u>MEDIA</u>	<u>SIGNIFICATIVA</u>
Yeso	0.96	
CaCl ₂	0.75	
H ₂ SO ₄	0.91	No hay diferencia significativa entre tratamientos.
FeCl ₃	1.19	
Testigo	2.68	Hay dif. significativa entre tratamientos y el testigo.
<hr/>		
M.S.E. = 0.1058	D.S.M. = 0.56	<u>Na⁺ Intercambiable.</u>
Yeso	2.81	
CaCl ₂	3.01	
H ₂ SO ₄	2.82	No hay diferencia significativa entre tratamientos.
FeCl ₃	3.07	
Testigo	4.14	Hay diferencia significativa entre tratamientos y el testigo.
<hr/>		
M.S.E. = 0.274	D.S.M. = 0.65	<u>Conductividad Eléctrica.</u>
Yeso	2.54	
CaCl ₂	2.31	No hay diferencia significativa entre tratamientos.
H ₂ SO ₄	2.28	
FeCl ₃	2.10	
Testigo	0.77	Hay diferencia significativa, entre tratamientos y el testigo.

Cuadro 23. Resultados de la prueba de Tukey.

108

P = 0.05 V.C.E. 4.23 M.S.E. = 0.015 D.S.M. 0.21		<u>pH del Extracto</u>
<u>MEJORADORES</u>	<u>MEDIA</u>	<u>SIGNIFICANCIA</u>
Yeso	8.58	Diferencia significativa con respecto
CaCl ₂	8.52	a: H ₂ SO ₄ , FeCl ₃ y testigo.
H ₂ SO ₄	8.18	Diferencia significativa con respecto
FeCl ₃	8.11	a: yeso, CaCl ₂ y testigo.
Testigo	8.88	Diferencia significativa con respecto
		a los tratamientos con mejoradores.
M.S.E. = 0.018 D.S.M.=0.23		<u>pH del Suelo 1:10</u>
Yeso	8.86	Entre yeso y CaCl ₂ no hay diferencia
CaCl ₂	9.10	significativa, pero sí la hay en re-
H ₂ SO ₄	8.13	lación con los demás mejoradores.
FeCl ₃	8.03	Entre ácido sulfúrico y cloruro férrico
Testigo	9.60	no hay diferencia significativa,
		pero si en relación con los demás.
		Hay diferencia significativa, del tes-
		tigo en relación con los tratamientos.
M.S.E. = 239.38 D.S.M.=26.73		<u>Ca⁺⁺ Intercambiable</u>
Yeso	87.65	Entre yeso y CaCl ₂ no hay dif. signi-
CaCl ₂	66.33	ficativa, pero si la hay en relación
H ₂ SO ₄	51.58	con los otros mejoradores.
FeCl ₃	40.40	No hay dif. significativa entre los
Testigo	38.83	mejoradores: H ₂ SO ₄ , FeCl ₃ y el testigo
Yeso	87.65	
CaCl ₂	66.33	
Testigo	38.83	Entre CaCl ₂ y el testigo no hubo di-
FeCl ₃	40.40	ferencia significativa.
H ₂ SO ₄	51.58	

P = Probabilidad V.C.E. = Valor crítico del rango estudentizado.
D.S.M. = Diferencia significativa mínima.

Cuadro 24. Análisis del agua que lixivió al final de cada aplicación del agua de lavado, en las botellas con tratamientos 100% y 150% de sustitución del sodio adsorbido con yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

ANÁLISIS DEL AGUA	VALORES \bar{x} DE LAS TRES REPETICIONES			
	1	2	3	4
pH 100%	8.7	8.7	8.16	8.56
	8.2	8.8	8.53	8.66
C.E. mmhos/cm a 25°C	10.9	6.5	4.08	2.71
	11.03	10.66	2.96	2.53
CO ₃ ⁼	10.00	10.00	6.66	2.33
	3.33	10.00	6.66	2.00
HCO ₃ ⁻	63.33	30.00	10.00	4.83
	56.66	30.00	10.00	6.00
Cl ⁻	15.00	7.00	5.33	4.32
	7.00	7.00	5.66	4.12
SO ₄ ⁼ meq/l	120.00	68.36	54.01	33.66
	85.86	115.93	41.80	24.95
Ca ⁺⁺	19.1	20.30	25.33	2.28
	16.66	29.40	24.66	2.58
Mg ⁺⁺	34.66	16.10	28.66	31.92
	36.00	44.00	26.00	32.28
Na ⁺	173.6	107.33	42.33	10.32
	166.33	166.66	19.19	4.88
K ⁺	4.74	2.36	1.98	1.06
	4.02	3.62	1.75	0.93
PSS	79.79	44.04	43.06	22.64
	74.58	68.30	26.80	12.00

Cuadro 25. Análisis del agua que lixivió al final de cada aplicación del agua de lavado en las botellas con tratamiento de 100% y 150% de sustitución del sodio adsorbido con cloruro de calcio.

ANÁLISIS DEL AGUA	VALORES \bar{x} DE LAS TRES REPETICIONES			
	1	2	3	4
pH 100%	8.46	8.56	8.30	8.50
	8.76	8.93	8.31	8.75
C.E. mmhos/cm a 25°C	21.00	13.60	3.03	1.86
	22.5	5.33	2.73	1.95
CO ₃ ⁼	10.0	16.60	10.00	3.33
	13.3	10.00	10.00	3.66
HCO ₃ ⁻	30.0	trazas	10.00	2.85
	26.6	trazas	10.00	3.33
Cl ⁻	66.33	30.66	8.00	6.15
	77.00	8.33	7.6	5.03
SO ₄ ⁼ meq/l	84.24	92.01	45.69	12.96
	94.52	45.46	35.63	27.27
Ca ⁺⁺	43.30	42.00	30.00	1.62
	60.23	21.70	25.33	1.92
Mg ⁺⁺	68.33	47.60	21.33	25.08
	72.00	21.00	14.00	27.31
Na ⁺	257.33	192.0	22.09	4.52
	268.00	79.70	16.29	5.61
K ⁺	7.26	5.10	1.42	0.74
	7.36	2.13	1.21	0.76
PSS	68.00	67.00	29.51	14.14
	65.00	63.98	28.66	15.75

Cuadro 26. Análisis del agua que lixivió al final de cada aplicación del agua de lavado, en las botellas con tratamientos de 100% y 150% de sustitución de sodio adsorbido con cloruro férrico.

ANÁLISIS DEL AGUA	VALORES \bar{x} DE LAS TRES REPETICIONES				
	1	2	3	4	
pH	100%	8.06	8.86	8.4	8.76
	150%	7.13	7.80	8.13	8.86
C.E. mmhos/cm a 25°C		29.00	7.40	2.36	1.16
		31.00	8.00	5.06	1.18
CO ₃ ⁼		3.00	3.33	10.00	2.33
		0.00	0.00	3.00	2.33
HCO ₃ ⁻		40.00	23.30	11.66	3.50
		40.00	23.30	8.33	2.83
Cl ⁻		76.00	11.00	7.00	5.14
		84.00	12.66	3.66	3.00
SO ₄ ⁼ meq/l		133.70	102.46	36.66	13.03
		107.31	64.36	31.13	13.44
CA ⁺⁺		35.13	20.30	21.33	0.96
		41.33	26.60	26.00	0.96
Mg ⁺⁺		110.60	39.20	24.00	36.94
		41.33	37.80	19.33	13.92
Na ⁺		354.73	97.76	11.22	3.98
		304.00	84.86	5.06	3.62
K ⁺		8.97	2.66	1.10	0.64
		9.11	2.66	0.91	0.64
PSS		69.63	64.31	19.46	12.23
		77.00	55.85	9.87	18.91

Cuadro 27. Análisis de agua que lixivió al final de cada aplicación de agua de lavado en las botellas, con tratamientos de 100% y 150% de sustitución del sodio adsorbido, con ácido sulfúrico.

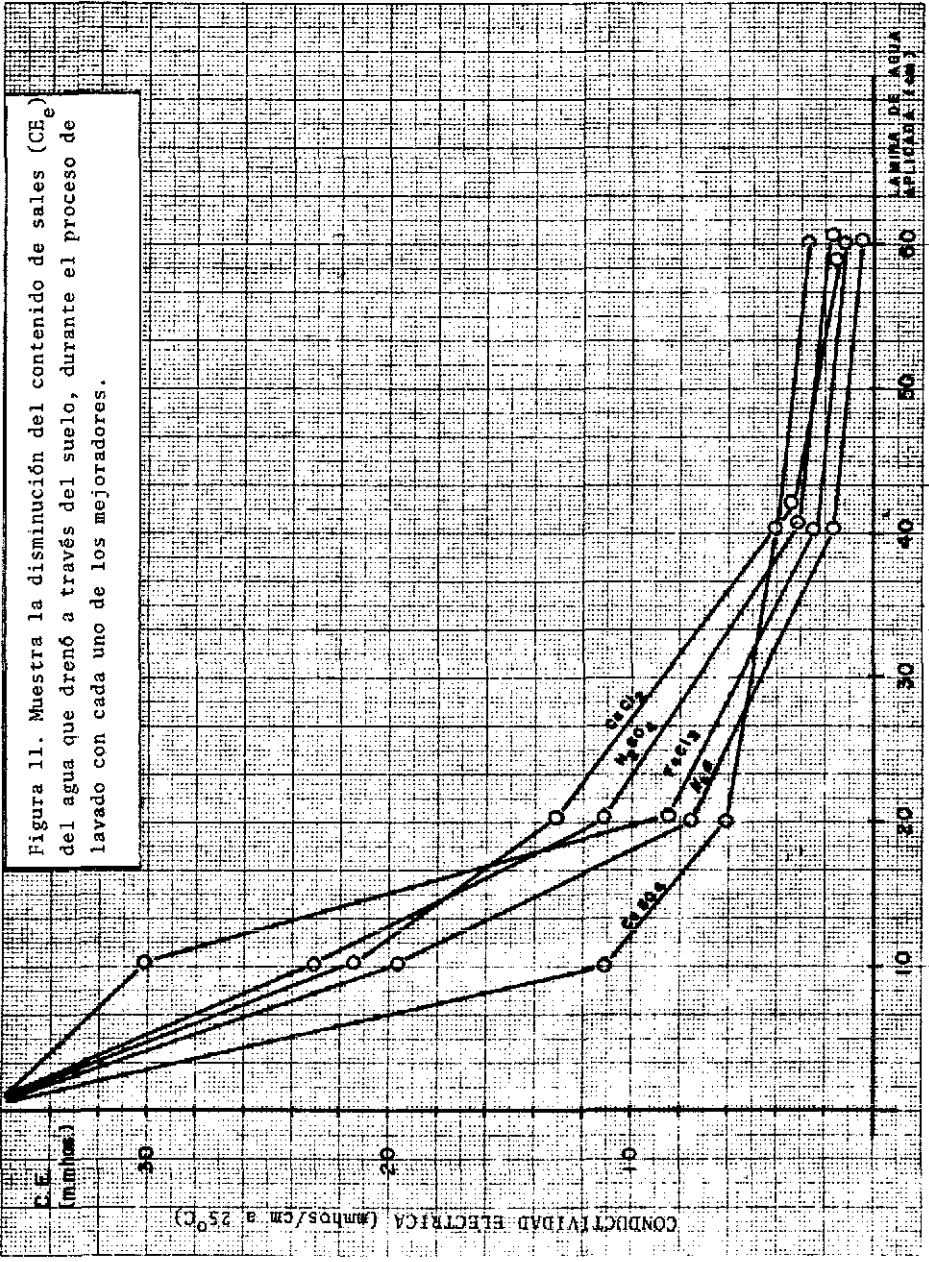
ANÁLISIS DEL AGUA	VALORES \bar{x} DE LAS TRES REPETICIONES				
	1	2	3	4	
pH	100%	8.03	8.9	8.15	8.78
	150%	7.80	8.2	8.26	8.66
C.E. mmhos/cm a 25°C		14.50	11.06	2.85	1.68
		23.30	20.30	2.38	1.80
CO ₃ ⁼		3.33	6.66	3.33	3.00
		3.33	10.00	3.33	2.00
HCO ₃ ⁻		53.33	13.30	17.66	2.83
		86.66	33.33	15.00	4.00
Cl ⁻		20.00	9.33	6.33	4.00
		24.66	6.66	5.00	3.00
SO ₄ ⁼ meq/l		168.83	150.26	36.42	14.79
		292.00	207.33	45.40	22.67
Ca ⁺⁺		23.50	19.60	14.66	1.38
		35.76	28.70	24.66	1.50
Mg ⁺⁺		79.50	55.30	36.66	25.86
		140.00	62.30	27.33	20.94
Na ⁺		210.10	171.71	19.56	5.79
		347.33	184.73	12.67	9.05
K ⁺		6.08	4.16	1.30	0.76
		8.65	4.37	1.19	0.78
PSS		65.66	68.47	26.13	17.13
		65.31	65.95	19.24	17.94

Cuadro 28. Análisis del agua que lixivió al final de cada aplicación del agua de lavado, en las botellas sin tratamiento químico, es decir el testigo.

ANÁLISIS DEL AGUA	VALORES \bar{x} DE LAS TRES REPETICIONES			
	1	2	3	4
pH 100%				
150%	8.53	8.86	8.3	9.85
C.E. mmhos/cm a 25°C	19.53	7.33	1.86	0.73
CO ₃ ⁼	10.00	8.56	6.66	3.33
HCO ₃ ⁻	46.66	30.00	10.00	8.33
Cl ⁻	20.33	8.00	11.00	5.00
SO ₄ ⁼ meq/l	207.90	95.2	17.47	0.00
Ca ⁺⁺	21.30	16.80	15.33	0.54
Mg ⁺⁺	57.36	32.55	10.00	4.16
Na ⁺	282.66	147.80	25.38	7.81
K ⁺	7.25	2.91	1.27	0.68
PSS	76.69	73.90	48.80	55.78

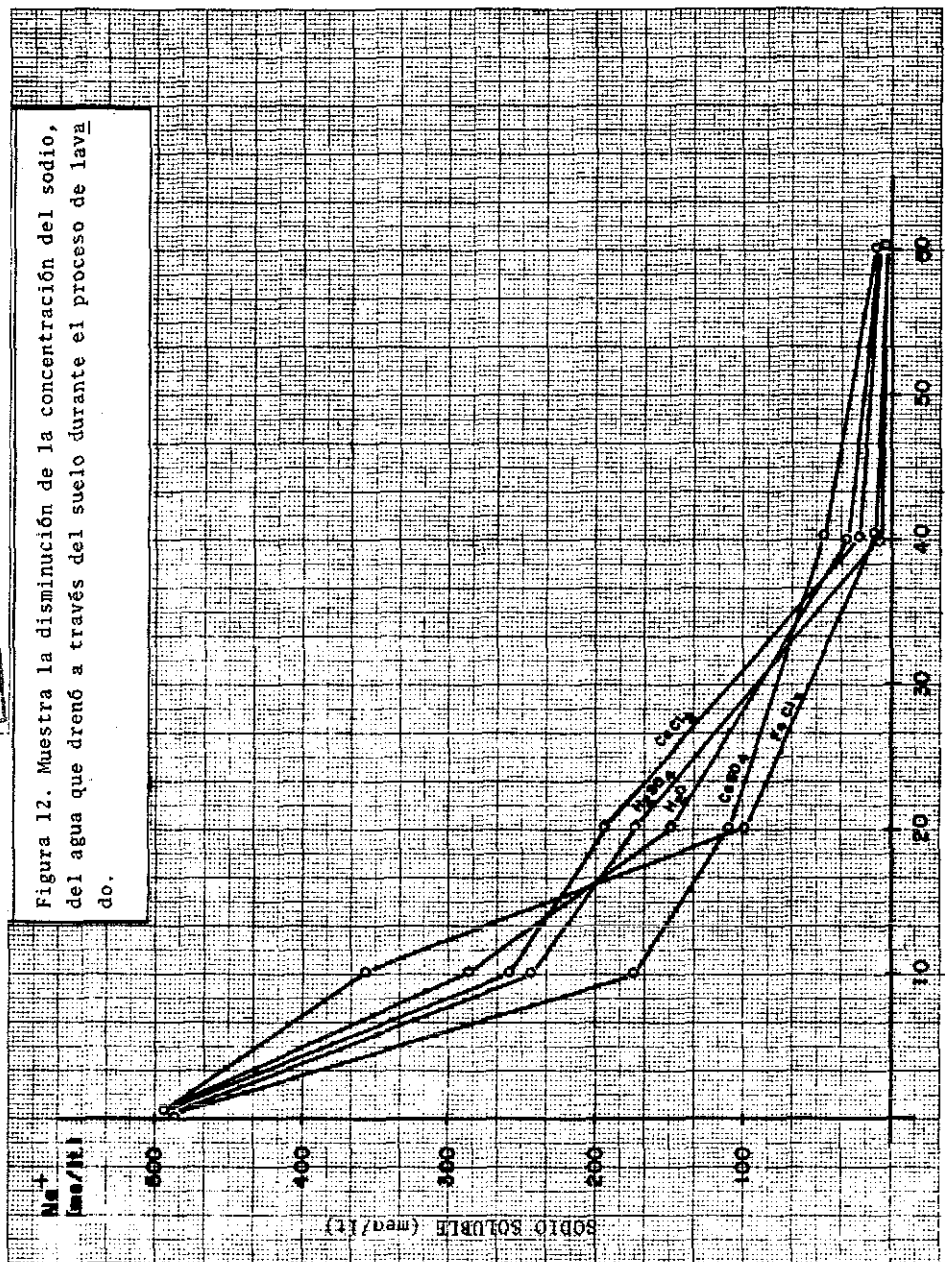
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 11. Muestra la disminución del contenido de sales (CE_e) del agua que drenó a través del suelo, durante el proceso de lavado con cada uno de los mejoradores.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 12. Muestra la disminución de la concentración del sodio, del agua que drenó a través del suelo durante el proceso de lavado.



Cuadro 29. Resultados de los análisis físicos y químicos obtenidos del suelo correspondiente al ensayo preliminar, antes y después de los tratamientos con yeso y cloruro de calcio, en un 100% en la sustitución de sodio adsorbido, lavado en macetas y sembrado con rábano.

ANALISIS DEL SUELO		SUELO SIN LAVA- DO NI MEJORADOR	SUELO CON MEJO- RADOR CaCl ₂ + LAVADO	S. CON MEJORADOR CaSO ₄ 2H ₂ O + LA- VADO
pH	H ₂ O	9.5	9.4	9.1
	1:10 1.5	8.8	8.9	8.6
KCl	1:10	9.4	8.7	8.7
	1:5	8.7	8.3	8.2
C.I.C.T. meq/100 g.		41.30	47.09	45.64
Ca ⁺⁺ meq/100 g.		65.82	55.83	76.41
Mg ⁺⁺ meq/100 g.		39.88	10.48	10.86
Na ⁺ meq/100 g.		41.42	2.68	2.58
K ⁺ meq/100 g.		2.53	2.00	1.69
VALORES OBTENIDOS DEL EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACION				
pH		8.5	8.9	8.7
C.E. mmhos/cm a 25°C		36.0	2.35	2.82
CO ₃ ⁼		---	---	---
HCO ₃ ⁻		40.00	30.00	30.00
Cl ⁻		125.00	19.50	18.60
SO ₄ ⁼ meq/l		232.87	36.82	46.18
Ca ⁺⁺		37.40	20.40	17.28
Mg ⁺⁺		193.60	14.30	34.02
Na ⁺		489.13	5.72	4.70
K ⁺		8.33	0.58	0.59
PSI		39.72	0.77	0.20
RAS		45.54	1.38	0.93
% de Saturación		65.20	74.00	72.80

Los valores son la \bar{x} de las tres repeticiones de cada tratamiento.

Cuadro 30. Análisis de varianza para los mejoradores: CaCl_2 y $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ respecto a la disminución del PSI, después de haber aplicado la dosis de 100% de sustitución del sodio teóricamente calculado. (En macetas).

FUENTE DE VARIACION	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	F-01	F-05
Tratamientos.	2	0.156	0.078	0.120	30.82	9.55
Error.	3	1.936	0.645			
Total.	5	1.801				

$H_0 = \text{CaCl}_2 = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (en función del PSI)

$H_A = \text{PSI}_{\text{CaCl}_2} \neq \text{PSI}_{\text{yeso}}$

$F_t > F_c$ Se acepta la Hipótesis.

No hay diferencia significativa entre los PSI de los dos tratamientos.

Cuadro 31. Análisis del agua que lixivió al final de cada aplicación del agua de lavado, en las macetas con tratamiento de 100% de sustitución del sodio adsorbido con yeso.

ANÁLISIS DEL AGUA	VALORES \bar{x} DE LAS TRES REPETICIONES			
	1	2	3	4
pH 100% 150%	8.73	9.53	8.46	8.43
C.E.mmhos/cm a 25°C	5.33	3.10	2.23	3.86
CO ₃ ⁻	10.00	10.00	-----	trazas
HCO ₃ ⁻	35.00	23.30	20.00	10.00
Cl ⁻	23.30	9.5	2.0	trazos
SO ₄ ⁼ meq/l	77.30	42.40	38.50	19.24
Ca ⁺⁺	16.00	27.90	26.00	18.00
Mg ⁺⁺	32.00	23.00	8.33	3.00
Na ⁺	36.00	17.75	3.62	2.81
K ⁺	2.66	2.51	0.91	0.85
PSS	41.37	24.82	9.28	11.39

Cuadro 32. Análisis del agua que lixivió al final de cada aplicación del agua de lavado, en las macetas con tratamiento de 100% de sustitución del sodio adsorbido con cloruro de calcio.

ANÁLISIS DEL AGUA	VALORES \bar{x} DE LAS TRES REPETICIONES			
	1	2	3	4
pH 100% 150%	8.76	9.3	8.85	8.65
C.E. mmhos/cm a 25°C	3.83	2.76	2.06	1.73
CO ₃ ⁼	10.00	10.00	----	6.60
HCO ₃ ⁻	30.00	23.30	20.00	16.60
Cl ⁻	21.00	4.60	8.00	trazas
SO ₄ ⁼ meq/l	58.30	35.13	32.73	18.96
Ca ⁺⁺	21.00	31.30	31.50	15.30
Mg ⁺⁺	19.00	15.40	9.00	2.60
Na ⁺	25.35	11.59	2.93	3.15
K ⁺	2.13	1.77	0.96	0.86
PSS	37.56	19.29	66.00	14.31

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 7. Plantas de rabanito escarlata, creciendo en un suelo que fue tratado con CaCl_2 y lavado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 8. Plantas de rabanito escarlata, creciendo en un suelo que fue tratado con yeso y lavado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 9. Plantas de rabanito escarlata, creciendo en un suelo sódico-salino al cual se le aplicó un tirante de agua y no se aplicó mejorador químico (testigo).

TESIS CON-
FALLA DE ORIGEN



Fotografía 10. Se ilustra el pobre desarrollo de los rabanitos, los cuales son poco tolerantes a la salinidad. Crecieron en un suelo con CE_e de 2.5 mmhos/cm y un PSI de 0.5 .

Cuadro 33. Peso fresco y seco de las plantas de rábano que fueron sembradas en macetas con suelo tratado con yeso, cloruro de calcio y lavado.

NO. DE REPETIC.	SUELO CON MEJORADOR + LAVADO				SUELO SIN MEJORADOR NI LAVADO (TESTIGO)	
	Ca Cl ₂		YESO		P. Fresco	P. Seco
1	P. Fresco	P. Seco	P. Fresco	P. Seco	P. Fresco	P. Seco
	0.22	0.04	0.23	0.02	0.29	0.05
	0.17	0.04	0.58	0.09	0.27	0.05
	0.21	0.04	0.25	0.03	0.25	0.05
	0.29	0.04	0.24	0.03	0.24	0.04
	0.23	0.04	0.31	0.03	0.37	0.06
	Σ 1.12	0.20	1.61	0.20	1.42	0.25
	\bar{x} =0.224	0.04	\bar{x} = 0.322	0.04	\bar{x} = 0.284	0.05
2	0.43	0.07	0.58	0.09	0.17	0.03
	0.66	0.12	0.44	0.08	0.25	0.05
	0.29	0.06	0.40	0.06	0.25	0.06
	0.62	0.11	0.30	0.05	0.20	0.03
	0.42	0.07	0.31	0.02	0.76	0.14
		Σ 2.42	0.43	2.03	0.30	1.63
	\bar{x} =0.484	0.86	\bar{x} = 0.406	0.06	\bar{x} = 0.326	0.062
3	0.25	0.02	0.18	0.04	0.78	0.16
	0.35	0.04	0.20	0.04	0.72	0.15
	0.25	0.03	0.15	0.04	0.24	0.03
	0.27	0.03	0.32	0.05	0.31	0.06
	0.26	0.03	0.40	0.05	0.37	0.07
		Σ 1.38	0.16	1.25	0.22	2.42
	\bar{x} =0.276	0.032	\bar{x} = 0.25	0.044	\bar{x} = 0.484	0.083
	\bar{x} = 0.328	0.167	\bar{x} = 0.326	0.048	\bar{x} = 0.364	0.065

VIII. DISCUSION

Las características edáficas que presenta la zona de estudio, son el resultado de diferentes factores pedogenéticos y antrópicos, entre los cuales destacan:

1.- El intemperismo de las zonas altas, cuyos productos se fueron depositando, en la llanura lacustre, la cual presenta actualmente texturas areno-arcillosa o bien franca.

2.- La hidrología, de una gran importancia en el lugar, ya que la mayor parte de las tierras planas del sur del Valle de México se encontraban cubiertas por una capa de agua dulce, generalmente conocida como lago Chalco-Xochimilco.

3.- La creación de las chinampas, que surgió precisamente como una necesidad de expandir la tierra de cultivo, sobre los pantanos, ciénegas y lagunas de poca profundidad, formando así, suelos de origen antrópico, por medio de la acumulación de gran cantidad de plantas acuáticas y lodo extraído del fondo de la misma ciénega, creando de esta manera los suelos orgánicos, tan característicos de toda el área chinampera.

4.- La captación del agua de Xochimilco, para abastecer a la Ciudad de México de agua potable, con la consecuente introducción de aguas negras de mala calidad, lo cual causó un : desequilibrio hidrológico y ecológico en el lugar, el cual se manifiesta actualmente en diferentes formas, siendo en este momento de nuestro mayor interés la contaminación por sales, de los suelos.

Los suelos del Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, presenta características de diagnóstico como son la salinidad y la sodicidad, como lo han citado los autores: Alfaro y Orozco (1980), Lugo (1984) y Trejo (1984). Así como también, los resultados de los análisis realizados en este trabajo.

Después de analizar los resultados de perfiles muestreados en esta localidad, podemos decir que los suelos presentan

características muy favorables desde el punto de vista agronómico, como son: altos porcentajes de materia orgánica de 7 a 28% y en consecuencia, densidades aparentes muy bajas de 0.45 a 0.75 g/cm³, un porcentaje de porosidad alto, incluso mayor del 70%. Con una capacidad de intercambio catiónico total (CICT) muy buena de 40 a 70 meq/100 g., alto porcentaje de saturación de bases, mayor del 80%. Nitratos de 500 a 940 ppm y de fósforo asimilable de 86 a 158 ppm. Los valores anteriores tienen una estrecha relación con la génesis del suelo, en la cual el hombre ha intervenido, de manera importante. Cuadros 7 y 9.

La recuperación de los suelos del Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, con antecedentes de altos rendimientos agrícolas y con una extensión de más de 700 ha es económicamente importante; ya que como se demostró en este trabajo preliminar, aplicando mejoradores químicos, lavando el exceso de sales y sodio, contando con un drenaje artificial; estos suelos pueden ser recuperados y por lo tanto incorporados a la producción de plantas altamente redituables de importancia alimenticia y de ornato.

Por otra parte, los resultados que se obtienen al trabajar en el campo difieren con los obtenidos bajo condiciones de invernadero, sin embargo, este tipo de experimentos son importantes, ya que podemos tener la base, para la recuperación de ellos en el campo; como se puede observar en los valores de la conductividad eléctrica y de sodio, que disminuyeron en forma altamente significativa, por lo tanto consideramos que los suelos pueden ser recuperados a corto, mediano y a largo plazo.

Por la lámina de agua agregada a cada tratamiento de 60 cm., las toneladas de mejorador por aplicar en el campo, las cuales con base en este estudio se calcularon de: 133.56 ton/ha/yaso., 25,290 lt/ha/ác. sulfúrico., 155/ton/ha/cloruro férrico y de 54 ton/ha/cloruro de calcio. Aunado a éstos las obras de drenaje que se requieren para la recuperación

del área afectada, esta requiere de un alto costo de inversión; ya que como menciona Aceves (1981), simplemente aplicar 5 - 10 ton/yeso/ha resulta muy costoso. Sin embargo, si se toma en cuenta que el hombre en buena medida ha favorecido el deterioro de estos ecosistemas, los cuales forman parte importante de un centro de abastecimiento agrícola, además de ser un centro recreativo de interés nacional e internacional, por tanto, la recuperación de estos suelos será altamente redituable, aunque al principio represente una alta inversión, al paso del tiempo resultará muy satisfactorio.

Con respecto al efecto de los mejoradores empleados (Fig. 10) todos favorecieron la disminución del pH del suelo.

La prueba estadística de Tukey (Cuadro 22) muestra que el efecto del yeso y del cloruro de calcio en el pH no fue significativo, pero si hubo una diferencia significativa en relación a los demás mejoradores y el testigo.

La acción del ácido sulfúrico y del cloruro férrico con respecto al pH, no mostró diferencia significativa, pero sí la hubo con respecto a los demás tratamientos. Los pH de los suelos tratados con ác. sulfúrico y cloruro férrico fueron menores que los pH de los tratamientos con yeso y cloruro de calcio.

Se encontró una alta correlación entre los pH del suelo y los pH del extracto de la pasta de saturación.

La prueba de Tukey, con respecto a los valores de PSI, CE_e y SI, muestra que no hay una diferencia significativa entre los diferentes valores de los tratamientos con mejoradores químicos. La única diferencia significativa que se encontró fue entre el testigo y los tratamientos con mejoradores. Cuadro 22.

El análisis de varianza mostró una diferencia altamente significativa con respecto a PSI, CE_e y SI, entre el testigo y los tratamientos con mejoradores. Cuadro 18 y 19.

No se observó ninguna diferencia significativa entre los diferentes mejoradores, ni entre las dosis de 100% y 150% en relación a CE_e , PSI y SI estadísticamente hablando, aunque hay ciertas diferencias que se pueden apreciar en los resultados

que se pueden apreciar en los resultados de los análisis físicos y químicos.

Se encontró una diferencia altamente significativa en relación al calcio intercambiable, en los suelos tratados con mejoradores portadores de este elementos como fueron el yeso y el cloruro de calcio. Cuadro 21 y Fig. 9.

Se encontró interacción, como se puede ver en la Fig.9, donde se aprecia que no hubo diferencia significativa entre las dosis de 100% y 150% con cloruro de calcio, pero sí la hubo entre las dosis de 100% y 150% con yeso. También es altamente significativa la concentración de calcio en suelos tratados con yeso, en relación con el suelo tratado con cloruro de calcio, cuyos valores fueron menores.

Los resultados anteriores desconciertan, debido a que se sabe que el cloruro de calcio tiene mayor solubilidad que el yeso y además, se considera como un mejorador más rápido y eficiente que el yeso; por lo que se piensa, que debió de haberse lixiviado en las primeras etapas del lavado del suelo, no así el calcio del yeso, por su baja solubilidad.

En el análisis de varianza de los valores de PSI, CE_e y de Ca^{++} intercambiable, el coeficiente de variación fue relativamente alto, por lo que se considera necesario tomar los datos con precaución, ya que esto se considera debido a la variación de las unidades experimentales. Sin embargo, Reyes (1982) menciona que en general, en experimentos pequeños los coeficientes de variación suelen ser altos, por lo que es necesario tener cautela con los resultados experimentales.

En el análisis de varianza de los valores del sodio intercambiable, se obtuvo un coeficiente de variación de 10.24 que indica que los datos son confiables y que hubo un adecuado manejo del experimento.

Con respecto a los recipientes de incubación que se emplearon, como fueron las botellas con la base removida, que han sido empleadas por diferentes autores (Mizquez, 1973: Gaxiola, 1980) para trabajos de recuperación de suelos con pro-

blomas de salinidad y/o sodicidad, en condiciones de laboratorio o invernadero, la experiencia personal indica que no son del todo funcionales, ni prácticos aparte de ser frágiles. Considerando que es más funcional y práctico el uso de macetas de plástico de buena capacidad, aunque éstas tienen el inconveniente de que es más problemático tomar las muestras del agua que lixivia a través de suelo, durante el proceso de lavado. Sin embargo, lo que se hizo en estas circunstancias fue colocar bolsas de polietileno, las cuales van acumulando el líquido y posteriormente por medio de una perforación en la bolsa se colecta el líquido en frascos, para su análisis posterior. Lo anterior evita la evaporación del agua que drena a través del suelo.

Por otra parte, la forma de determinar la lámina de agua, para desalinizar el suelo, se hizo aplicando sucesivos volúmenes de agua, hasta disminuir la conductividad eléctrica del lixiviado final a valores menores de 3 mmhos/cm; como lo han citado (Mizquez, 1973; Llerena, 1970; Juárez, 1967; Ramírez, 1982 entre otros autores).

Con respecto a la aplicación de los mejoradores al suelo formando una pasta saturada, se hizo con el fin de solubilizar las sales del suelo y de que los mejoradores se distribuyeran de manera uniforme en todo el suelo.

El ensayo preliminar donde se trató al suelo con cloruro de calcio y con yeso separadamente, lavando el suelo en macetas para posteriormente sembrar rábano, se hizo con el objeto de comparar por medio de la planta, las condiciones de un suelo tratado con una fuente de calcio poco soluble, efectivo a largo plazo y económico como es el yeso, con respecto al CaCl_2 , que es altamente soluble, muy efectivo a corto plazo, pero más caro.

Los análisis practicados a estos suelos se muestran en el Cuadro 29, los cuales no difieren mucho de los mismos tratamientos lavados en botellas.

De los resultados obtenidos a partir de los pesos de

las plantas de rábano (cuadro 33) se observa que hubo una bio masa muy similar con los tres tratamientos, sin embargo, es interesante notar que simplemente el lavado de estos suelos, como se observó también en todos los análisis anteriores, reduce significativamente el contenido de sales solubles e incluso el PSI.

Las fotografías 7, 8, 9 y 10 muestran las plantas que crecieron en suelo tratado con CaCl_2 , Yeso y el testigo. No hay una significativa diferencia, sin embargo, en el promedio de los pesos secos de las plantas de rábano, las del tratamiento con CaCl_2 fueron mayores, que con yeso y el testigo.

Aunque no se midió la conductividad hidráulica de los suelos, ésta se vio favorecida con el uso de mejoradores químicos.

Finalmente es importante considerar, que la composición física y química de los suelos del Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, es muy diferente a la composición de los suelos de otras localidades, que presentan también, problemas de salinidad y/o sodicidad; como son los suelos del ex-lago de Texcoco y de algunos distritos de riego.

La principal característica de los suelos de Xochimilco, es su elevado contenido de materia orgánica, la cual le confiere al suelo propiedades físicas y químicas que favorecen el retardo o amortiguamiento de la degradación del suelo y atenúa la pérdida de sus propiedades, que normalmente ocurre cuando se presentan condiciones de ensalitramiento.

IX. CONCLUSIONES

a) La utilización de mejoradores químicos bajo condiciones de lavado y con drenaje reducen significativamente el PSI y la CE_e de estos suelos, por lo cual son altamente reco mendables.

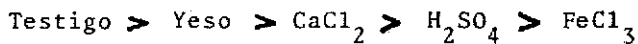
b) La recuperación de éstos suelos es fuertemente bene ficiada con la simple aplicación del agua de lavado, sin embargo, los mejoradores contribuyen a que el proceso sea más rápido y al mismo tiempo permiten incremento de la biomasa - vegetal.

c) El orden de conveniencia económica respecto al costo de los mejoradores es:



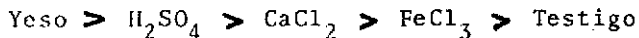
d) Con respecto a las variables: PSI, SI y CE_e hubo una diferencia altamente significativa entre los tratamientos con mejoradores y el testigo, pero no hubo una diferencia significativa estadísticamente hablando, entre los dife rentes mejoradores y dosis.

e) El orden decreciente del pH del extracto de la pasta de saturación del suelo, después de los tratamientos fue:

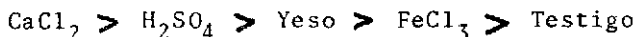


f) El orden de eficiencia en lo que se refiere a la sustitución del sodio adsorbido, tomando en cuenta los valores promedio de los cuatro mejoradores en las dos dosis fue:

Considerando los valores del SI.



Considerando los valores del PSI.



g) No hubo diferencia significativa con respecto al PSI y CE_p entre las dosis de 100% y 150% de los diferentes mejoradores.

h) Considerando la dosis de 100% de sustitución del sodio y la cantidad de mejorador aplicado experimentalmente, la conversión de las necesidades de mejorador por hectárea y el costo de cada uno de ellos, con fecha de cotización de marzo de 1985, es:

Yeso	133.56	ton/ha	Costo aprox.	\$ 1,335,600.00
H_2SO_4	25,290	lt/ha	" "	\$ 3,490,020.00
$FeCl_3$	155.00	ton/ha	" "	\$ 80,600,000.00
$CaCl_2$	54.00	ton/ha	" "	\$ 22,032,000.00

i) Como se puede apreciar en las cifras anteriores, la aplicación de mejoradores químicos a nivel de campo, - con base a lo abtenido en este estudio, nos muestra que la recuperación de los suelos del Ejido Ciénega Grande de Xochimilco, requiere de una alta inversión.

j) Los cuatro mejoradores químicos empleados en el estudio, disminuyeron considerablemente el PSI del suelo, por lo tanto, el costo de la recuperación de éstos suelos esta en función del mejorador o mejoradores que se apliquen.

X. SUGERENCIAS

- Realizar experimentos en campo para determinar la lámina de agua que se requiere para desalinizar los suelos.

- Si se hacen zanjas receptoras de drenaje y éstas trasladan el agua salina a los canales que se encuentran adyacentes al terreno, evaluar las consecuencias que esto tendría, ya que el agua de los canales de Xochimilco, presenta alto contenido de sales y lo anterior aumentaría su concentración, lo cual repercutiría en las chinampas y parcelas que mucha gente del lugar riega por medio de esta fuente y cuyos suelos no presentan altos índices de salinidad y/o sodicidad todavía.

- La aplicación de yeso agrícola como mejorador químico, cuya reacción en el suelo consiste en intercambiar calcio por sodio de los coloides del suelo, resultaría benéfico desde el punto de vista económico y agronómico, debido a que es portador de un macronutriente como es el calcio, importante en la fertilidad del suelo, en la nutrición vegetal y en la dieta animal y humana.

- Se ha probado que el uso del yeso con otras enmiendas, como son la gallinaza u otros abonos orgánicos, aceleran el proceso de recuperación del suelo y permite una mayor producción cuando el suelo es cultivado.

- Con base en la literatura consultada, se recomienda que al inicio de la recuperación de un suelo, se cultiven solamente plantas ó cultivos tolerantes a la salinidad ó resistentes al sodio; así como también, plantas nativas del lugar (consultar el cuadro 5).

- Si el suelo presenta problemas de sodicidad y no se cuenta con riego, la recuperación del suelo dependerá de la precipitación pluvial del lugar, lo cual restringe el uso de los mejoradores y para aumentar la eficiencia se recomienda el establecimiento de drenes y zanjas, que permitan un drena-

je adecuado. Y cultivar no por medio de surcos, sino cultivos de cobertura.

- Los fertilizantes, cultivos y mejoradores con que se piense trabajar, en un suelo que esta siendo recuperado, deben ser seleccionados cuidadosamente, para obtener los mejores resultados.

- La eficiencia de los mejoradores está en función de los métodos hidrotécnicos y químicos que se utilicen, ya que ambos se complementan.

- Con respecto a los suelos que aparentemente no presentan altas concentraciones de sales y/o sodio, pero sin embargo denotan síntomas de ensalitramiento, reflejado en la disminución de su producción; se recomienda a sus propietarios busquen la asesoría de personas capacitadas para resolver este problema, con el objeto de prevenir el deterioro y la pérdida de la fertilidad de sus tierras.

- Es importante que se lleven a cabo más estudios sobre la recuperación de estos suelos salino-sódicos orgánicos, que coadyuven a obtener buenos resultados y con un costo de inversión mínimo, ya sea por medios físicos, químicos, bioquímicos, biológicos o por combinación de algunos de ellos.

- Los trabajos sobre recuperación de suelos, que se lleven a cabo en México, por lo general carecen de una continuidad, por lo que es importante que estos estudios se continúen durante mayores períodos de tiempo, para lograr una verdadera recuperación y no sean infructíferos todos los esfuerzos y el tiempo que se dedica en muchos trabajos, sobre todo de tesis.

- Es importante que el hombre participe activamente en la recuperación del medio ambiente, del cual ha hecho un uso irracional de varios de sus recursos naturales, aunque esto implique una inversión aparentemente costosa, pues con el tiempo será también una inversión fructífera y redituable.

- Finalmente, la aportación de apoyos económicos y de otros recursos de interés para la realización de este tipo de

investigaciones, es fundamental que se incremente, ya que de ellos dependen muchos de los avances que se logran en el campo, cuyo objeto es principalmente la recuperación y conservación del recurso natural suelo, eslabon importante en la cadena alimenticia.

XI. REFERENCIAS.

- Acevedo, L.S. 1972. Monografía Histórica de Xochimilco. Edición mimeográfica.
- Aceves, N.L. 1981. Los terrenos enesalitrados y los métodos para su recuperación. U.A.CH. Chapingo, México. 244 pp.
- Aguilar, M.A. 1976. "El impacto urbano en Xochimilco". Tesis. Fac. de Filosofía y Letras. UNAM., México.
- Alfaro, S.G. y Orozco, CH., F.1980. "Estudio edafológico del ejido de Xochimilco" (Ciénega grande). Tesis. Fac. de Ciencias. UNAM., México.
- Allison, L.E. 1964. Salinity in relation to irrigation. Adv. In Agron. 16: 139-180.
- Anaya, G.M. 1983. La desertificación, su importancia y combate a nivel nacional y mundial. Simposium "La sequía y su impacto en la agricultura". U.A.CH., México.
- Arana, M.O.E. 1970. Recuperación de suelos salino-sódicos del Valle de Mexicali con mejoradores y aguas salinas; experimento en columnas. Tesis. ENA. Chapingo, México. 71 pp.
- Armillas, P. 1971. "Gardens on swamps". Science. 17: 653-661.
- Arora, Y. and Singh, N.T. 1981. Effect of leaching rate on the Ca-Na exchange and removal of sodium from sodic soils. J. Indian Soc. Soil Sci. 29 (2): 268-269.
- Ayers, A.D. 1952. Seed germination as affected by soil moisture and salinity. Agron. J. 44: 82-84.
- Balanzario, Z.J.R. 1976. "Contaminación de las aguas en los canales de Xochimilco". Tesis. Fac. de Filosofía y Letras. UNAM.
- Balanzario, Z.J.R. 1982. "Contaminación en los canales de Xochimilco y su repercusión en las actividades económicas. Soc. Méx. de Geografía y Estadística.
- Becerra, M.A. 1983. Uso del azufre para recuperar suelos salino-sódicos del ex-lago de Texcoco. Tesis. U.A.CH. Chapingo, México. 154 pp.
- Bigger, J.W., Nielsen, D.R. and Nielsen, D.R. 1962. Improved leaching practices. Calif. Agric. 16 (3): 5.
- Bonnet, J.A. 1968. La ciencia del suelo. Colegio de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores de Puerto Rico. 169-177 pp.

Bouyoucos, G.V. 1963. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. Soil Sci. 42: 25-30.

Cervantes, R.M. 1983. La lixiviación de sales en suelos salinos y salino-sódicos del Valle de Mexicali. Tesis U.A.CH. Chapingo, México. 189 pp.

Cordero, S. 1984. Los canales de Xochimilco. Boletín del Archivo Histórico de Xochimilco. Huetzalín. (1). México. 3-5 pp.

Chena, G.R. 1958-59. La importancia de la profundidad de aplicación del yeso en la recuperación de un suelo sódico-salino. Agric. Téc. de Méx. (7): 28-36 pp.

Díaz, H.J.N. 1982. Oxidación del azufre elemental en suelos del ex-lago de Texcoco que presentan excesos de sodio intercambiable. Tesis. U.A.CH. Chapingo, México. 86 pp.

Donahue, R.L. Miller, R.W. and Shickluna, J.C. 1977. Soils. An introduction to solils and plant growth. Prentice-Hall, Inc Englewood Cliffs, New Jersey. USA. pp.

Fariás, G.J. 1984. Xochimilco. Colección Delegaciones Políticas. (4). México. 41.63 pp.

Flowers, T.J., Troke, P.F. and Yeo, A.R. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 28: 89-121.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. UNAM. México.

Gaxiola, V.J.J. 1980. Proyecto de recuperación de suelos salino-sódicos en el Distrito de Riego No. 43 Edo. de Nayarit mediante la aplicación de mejoradores químicos y lavados con agua. Tesis. Fac. de Química. UNAM. 61 pp.

Grande, L.R. 1980. Teoría y problemas de edafología. Folleto técnico. Instituto de Geología y Metalurgía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. No. 75. México. 122-127 pp.

Hausenhuiller, R.L. 1981. Soil Science. Principles and preactices. 2a. ed. Brown Company, Dubuque, Iowa. USA. 415-433 pp.

Jackson, L.M. 1982. Análisis químicos de suelos. 4a. ed. Ed. Omega. Barcelona, España.

Juárez, C. 1967. Prácticas de lavado de un suelo sódico-salino del ex-lago de Texcoco. Tesis. ENA. Chapingo, México.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

- López, U.J.A. 1976. Efecto de mejoradores y lavado de suelos en la recuperación de un suelo salino-sódico del Distrito de Riego No. 25 Bajo Río Bravo, Tamp. Tesis. ENA. Chapingo, México. 97 pp.
- Lugo, de la F.J.A. 1984. Suelos sódico-salinos del Ejido Xochimilco. Tesis. Fac. de Ciencias. UNAM. México. 85 pp.
- Llerena, V.A. 1970. Posibilidades de recuperación y necesidad de aplicar yeso en suelos salino-sódicos del Ejido "El Cubilete" de Guasave, Sin. I. Experimento en columnas. Tesis. ENA. Chapingo, México.
- Márquez, B.S.R. 1983. Simposium "La sequía y su impacto en la -- agricultura". U.A.CH. Chapingo, México.
- Mizquez, V.C.A. 1973. Estudio comparativo sobre la eficiencia de tres mejoradores químicos, en la recuperación de un suelo sódico-salino. Tesis. ITESM. México. 47 pp.
- Mendoza, R.M. 1961. Estudio geográfico de la delegación de Xochimilco. Tesis de Maestría. Fac. de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. UNAM. México.
- Mohite, A.V. and Shingte, A.K. 1981a. Use of high-salt water method in conjunction with FYM and gypsum for reclamation of sodic soils. J. Indian Soc. Soil. Sci. 29(4): 512-517.
- Mohite, A.V. and Shingte, A.K. 1981b. Evaluation of high-salt-water dilution schedule for reclamation of saline-sodic and sodic soils. J. Indian. Soc. Soil Sci. 29(1): 55-60.
- Mooser, F. 1961. Informe sobre la geología de la Cuenca del Valle de México y zonas colindantes. Sría. Rec. Hidráulicos. Com. Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.
- Moncada, M.F.O. 1976. El uso del suelo en el sureste del Distrito Federal. Tesis. Fac. de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. UNAM. México.
- Munsell soil color charts. 1954. Ed. Munsell Color Company. Inc. Baltimore, Maryland USA.
- Nielsen, D.R., Bigger, J.W. and Miller, R.J. 1964. Aid water management for salinity control. Calif. Agric. 18 (8).
- Noyola, I.E. 1975. Salinidad Agrícola. Tesis. ENA. Chapingo, México.

Olguín, P.C. 1969. Observaciones sobre el empleo de corriente eléctrica directa en la recuperación de un suelo salino-sódico. Tesis. U.A.CH. Chapingo, México. 55 pp.

Olsen, S.R. and Watanabe, F.S. 1979. Interaction of added gypsum in alkaline soils with uptake of iron, molybdenum, manganese and zinc by sorghum. Soil Sci. Soc. Am J. 43: 125-130

Oster, J. D. and Frenkel, H. 1980. The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. Soil Sci. Soc. Am J. 44: 41-45.

Overstreet, R., Martin, J.C. and King, H.M. 1951. Gypsum, Sulfur and sulfuric acid for reclaiming and alkali soil of the Fresno Series. Calif. Agric. Exp. St Tech. Bu 21(5).

Peterson, H.T.D. 1963. Técnica del riego, fertilidad y explotación de los suelos. Ed. Continental. México.

Pizarro, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola, Española. Madrid. 521 pp.

Prather, R.J., Goertzen, J.O., Rhoades, J.D. and Frenkel, H. 1978. Efficient amendment use in sodic soil reclamation. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 782-786.

Ramírez, L.E. 1982. Estudio de tres fuentes naturales de yesos agrícolas en la recuperación de los suelos salino-sódicos, bajo dos procedimientos de aplicación solubilizados en agua e incorporados al suelo. Tesis. ENA. Chapingo, México. 139 pp

Reyes, P.C. 1982. Diseño de experimentos aplicados. 2a. reimp. Ed. Trillas. México. 344 pp.

Reyes, E.M. 1964. Ensayo preliminar sobre recuperación de suelos salinos y salino-sódicos en el Valle Yaquí, Son. Tesis. ENA. Chapingo, México. 88 pp.

Reyes Jaramillo I. 1984. Efectos de algunos mejoradores químicos en suelos sódico-salinos del ejido de Xochimilco, D.F., Seminario de Investigación de Edafología Avanzada II, no public.

Reeve, R.C., Allison, L.B. and Peterson, D.F., 1948. Reclamation of saline-alkaline soil by leaching Delta Area Utha. Utha Agric. Bul. 335: 55 pp.

- Richards, L. (ed). 1982. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6a. ed. 4a. reimp. Ed. Limusa. México 171 pp.
- Rodríguez, L. 1965. Características y posibilidades de recuperación de los suelos del lado este del Lago de Texcoco. Tesis ENA. Chapingo, México.
- Rojas, R.T. 1983. La agricultura chinampera. Cuadernos Universitarios. Serie agronomía No. 7. U.A.CH. Chapingo, México 229 pp.
- Sánchez, S.O. 1980. La flora del Valle de México. 6a. ed. Ed. Herrero, México. 519 pp.
- Serrano, C. 1969. Desplazamiento de iones de un suelo sódico-salino por efecto de lavado. Tesis. ENA. Chapingo, México.
- Subhashine, D. and Kanshik, B.D. 1981. Amelioration of sodic soils with blue-green algae. Aust. J. Soil Res. 19(4):361-366.
- Shaninberg, I., Keren, R. and Frenkel, H. 1982. Response of sodic soil to gypsum and calcium choride application. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 113-117.
- Trejo, C.A.S. 1984. Estudios edafológicos del Ejido Grande de Xochimilco. Tesis. Fac. de Ciencias. UNAM. 111 pp.
- Ureña, C.C.F. 1975. Estudio preliminar para la utilización de diversos mejoradores y láminas de lavado para la recuperación de los suelos salino-sódicos del ex-lago de Texcoco. Tesis ENA. Chapingo, México. 85 pp.
- Villaseñor, R. 1973. Estudio preliminar para la recuperación de los suelos salino-sódicos del ex-lago de Texcoco. Tesis. Universidad Autónoma de Coahuila. Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro. México.
- West, R.C. y Armillas, P. 1950. Las chinampas de México. Poesía y realidad de los jardines flotantes. Cuadernos Americanos No. 50, 165-182 pp.