

39
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**“ REHABILITACION DE SUELOS DE CHINAMPA
A NIVEL INVERNADERO, PARAJE TEXHUILCO
XOCHIMILCO D. F.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

B I O L O G O

P R E S E N T A :

GONZALO IGNACIO CASTILLO AMEZCUA

MEXICO, D. F. OCTUBRE DE 1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE DE CONTENIDO

	Pag.
Resumen.	1
I Introducción.	2
II Objetivos.	3
III Antecedentes.	4
III.1 Origen y fundación de Xochimilco.	4
III.2 Origen de la chinampa.	4
III.3 Construcción de las chinampas.	5
III.4 Técnicas chinamperas.	6
III.5 La agricultura chinampera.	8
III.6 Crisis Ecológica y Social de la región chinampera.	9
IV Suelos salinos, salino-sódicos y sódicos.	10
IV.1 El origen de las sales.	10
IV.2 Origen del sodio intercambiable en el suelo.	11
IV.3 Clasificación de los suelos salinos, Salino-sódicos y sódicos, USDA.	12
IV.4 Efectos de la salinidad y sodicidad en el desarrollo de las plantas.	14
IV.5 Enmiendas para la recuperación de suelos afectados por sales y sodio.	17
V Antecedentes del uso del ácido sulfúrico (H_2SO_4) como mejorador de suelos.	21
V.1 Incremento en la velocidad de infiltración.	21
V.2 Reducción en el contenido de sodio intercambiable	22
V.3 Abatimiento en el contenido total de sales.	22
V.4 Reducción en los valores de pH y aumento en la disponibilidad de nutrimentos.	23
V.5 Efectos favorables sobre la producción de los cultivos.	24

VI Descripción de la zona de estudio.	25
VI.1 Localización.	25
VI.2 Geología y Orografía.	27
VI.3 Hidrología.	29
VI.4 Clima.	29
VI.5 Vegetación.	33
VI.6 Suelos.	35
VII Material y Método.	36
VII.1 De campo.	36
VII.2 De laboratorio.	38
VII.3 De invernadero.	39
VIII Resultados.	41
IX Discusión.	72
X Conclusiones.	78
XI Recomendaciones	79
XII Referencias bibliográficas.	81
Apéndice	86

RESUMEN.

Se estudiaron los suelos de chinampa del paraje Texhuilo, Xochimilco D.F., observándose el efecto de H_2SO_4 y lámina de lavado, así como la interacción de ambos sobre las características edáficas del suelo, y el rendimiento de Lactuca sativa cv. white boston.

Se realizaron análisis físicos y químicos de los suelos, los parámetros considerados fueron los siguientes: color seco y húmedo, densidad aparente y real, textura, pH, C.E., % de M.O., CICT, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , $SO_4^{=4}$, HCO_3^- , $CO_3^{=3}$. Debido a sus características este suelo es considerado salino-sódico, con alta capacidad de intercambio catiónico total debido al alto porcentaje de materia orgánica.

Los resultados posteriores a la aplicación de H_2SO_4 industrial en el suelo, indican un aumento en los valores de conductividad eléctrica, debido al efecto del H_2SO_4 y las sales resultantes de la reacción con el suelo. El lavado del suelo, con aguas provenientes de los canales de Xochimilco, tienen un efecto altamente benéfico, en especial para las dosis más altas (18 y 24 cm), las cuales provocaron un decremento en los valores de C.E., y un aumento en el rendimiento de la lechuga. La interacción de las enmiendas, provocó un decremento en los valores de C.E. y el PSI, lo que tuvo un efecto altamente benéfico sobre el rendimiento de la lechuga.

El análisis estadístico indica, que los mejores tratamientos corresponden a la interacción de las dosis más altas de ácido (2189.0 y 29188.0 Kg/ha) y las láminas intermedias y altas de lavado (12.0, 18.0 y 24.0 cm.). Los tratamientos a4b4, a4b5, a5b4 y a5b5 son los que registraron los mejores resultados.

I INTRODUCCION.

La problemática relacionada con la producción de alimentos en el mundo ocupa la atención de muchos científicos y organizadores nacionales e internacionales.

Existen paradojas difíciles de entender ya que existen países en los cuales se tiene que subsidiar a los agricultores para que no produzcan más alimentos y otros en los cuales se tiene que acudir a la ayuda internacional para obtener los alimentos mínimos que requiere la población.

Las razones por las cuales se ha llegado a este triste panorama son múltiples y están relacionadas con una explosión demográfica que rebasa los niveles de alimentación, planes de producción agropecuaria mal enfocados, el descuido del recurso natural del suelo, la tala inmoderada de bosques y selvas, y la pérdida irreversible de suelos agrícolas para uso urbano.

Nuestro país es desafortunadamente un ejemplo de estos problemas, por lo que es indispensable implantar medidas de control de nuestros recursos naturales.

La salinidad edáfica es uno de los grandes problemas del país ya que comprende grandes áreas como las zonas áridas y semiáridas; las cuencas cerradas como la de la capital del país y algunas zonas de Puebla, así como algunos distritos de riego mal manejados.

La zona de estudio contempla los problemas antes mencionados, Xochimilco que antaño era una de las zonas que abastecía a la gran metrópoli de plantas ornamentales y verduras, con una extensión de 9500 Ha Armillas (1971), para 1980 sólo 900 chinampas se trabajaban, estas comprendían 1968 Ha aproximadamente y el área de canales era de 200 Km² con una extensión es de 182 km, sin embargo, para 1988 se calcula que nada más quedan 1040 Ha de superficie de chinampas, de las cuales alrededor del 30% están en actividad, este dato excluye a Tláhuac. Esta problemática ha sido provocada por varios factores tanto naturales como inducidos entre los que destacan:

- a) La explosión demográfica de la metrópoli y con ello la demanda creciente de agua potable, cuyo recurso fué extraído y llevado a la Ciudad de México, con lo que Xochimilco perdió su forma natural de lavado y humedad del suelo.
- b) El origen lacustre de todas estas áreas.
- c) La geoforma del lugar, que ha propiciado la acumulación de minerales, productos del interperismo de las zonas altas que han sido deforestadas y erosionadas hacia las partes bajas de Xochimilco, (Reyes, 1985).

La contaminación producida por todos estos factores ha llevado al suelo a alcanzar niveles de sales y sodio los cuales son tóxicos para gran variedad de cultivos los cuales están desapareciendo paulatinamente. Otro problema de gran importancia es que muchas chinampas han sido absorbidas por la metrópoli para fincar sobre ellas casas habitación. Esta zona desde antaño fué visitada por turistas nacionales e internacionales; los cuales quedaban admirados por la belleza, del paisaje así, como también la gran cantidad de tradiciones que aún prevalecen, hoy se encuentra en vías de extinción, es por ello que organizaciones internacionales como la UNESCO la han nombrado "Patrimonio Cultural de la Humanidad", por tal motivo merece que se le tome en cuenta como un problema de carácter primordial, en busca de posibles alternativas para la recuperación y rehabilitación de la misma.

II OBJETIVOS.

- Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo de una chinampa del paraje Texhuilo Xochimilco D. F.
- Evaluar el efecto de H_2SO_4 y láminas de lavado mediante el uso de Lactuca sativa cv. white boston, bajo condiciones de invernadero y su efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Con base a los resultados obtenidos plantear opciones, para el manejo adecuado de estos suelos.

III.1 Origen y Fundación de Xochimilco.

Si bien precisar la fundación de Xochimilco resulta difícil, los historiadores no se han puesto de acuerdo definitivamente, sin embargo se pueden dar algunos datos históricos aproximados en relación al tema.

Según Chapa (1939) en su ensayo "La Fundación de la Ciudad de Xochimilco", da referencias respecto al origen de los xochimilcas. Todos los historiadores citados en este trabajo aseguran que los xochimilcas conformaban una de las siete tribus (o provincias) Nahuatlacas que significa "gente que se explica o habla claro".

Respecto al nombre del lugar de origen (provincias) sólo se tiene conocimiento de tres que son: **Aztlán** (lugar de las garzas); **Teoculuacan** (tierra de los que tienen abuelos divinos) y por último **Aquilazco** ó **Ahuilazco** sitio cercano a Tula Hidalgo; de donde son originarios los xochimilcas, en donde tenían como vecinos a los Aztlanecas que ahora se llaman mexicanos, (Farias, 1964).

Precedentes de un lugar muy remoto hacia el norte del Valle de México, coinciden varios historiadores (Fray Diego De Duran, Fray Gregorio García y Don Fernando de Alva Ixtlixóchil) aseguran que de las siete tribus la primera en salir o abandonar su tierra madre fué la Xochimilca; las causas de su larga peregrinación posiblemente se deben a una orden divina o a problemas de índole económico; precedidas por choques y enfrentamientos con las demás tribus.

Guiados por su sacerdote **Huetzalin** (jefe guerrero) que peregrinaron largo tiempo hasta establecerse en el Valle de México, el Códice Ramirez, Fray Diego de Duran (citado por Chapa, 1939) y otros coinciden que el tiempo de peregrinación fué de 80 años. Los Xochimilcas salieron de su tierra madre **Aquilazco** ó **Ahuilazco** en el año 820 d. de C. y llegaron al Valle de México en el año 900 aproximadamente, según recopilaciones históricas, los aztecas llegaron 302 años después que ellos, en el año 1202, y en 1325 fundaron la Ciudad de **Tenochtitlán**, peregrinan por el valle más de 100 años; sin embargo el unico historiador que difiere con estos datos es Don Fernando de Alva Ixtlixóchil en su obra "Historia Chichimeca" dice: "Los xochimilcas tardaron ciento ochenta años hasta ponerse en Tula, en donde enviaron a darle reverencia a **Tlotzln** tercer gran chichimeca tecuhlli, y pedirle merced de darles lugar a donde ahora es Xochimilco, lugar bueno para su propósito", (citado por Chapa, op cit.).

III.2 Origen de la chinampa.

La palabra chinampa proviene de **Chlnamtl** que significa seto o cerco de cañas; o cercado de palos entretrojidos, y "pan" encima de.

Las versiones en relación al origen del sistema de construcción de la chinampa son muy diversas, pero solo referiremos tres de ellas que consideramos las más importantes: la primera la da Fray Gregorio García en su obra titulada "Origen de los indios del Nuevo Mundo e indias occidentales" dice: "Las provincias de donde son originarios los xochimilcas tenían sus casas y sementeras, dioses, ritos y ceremonias con mucho orden los cuales se dividían en siete linajes" (citado por Chapa, **op cit**), en esta referencia una de las primeras en las cuales se menciona la chinampa, se puede notar que la construcción de estas chinampas fué utilizada muy posiblemente por las siete tribus nahuatlacas fuera del Valle de México y traída durante su peregrinaje, acentuándose más al llegar; la segunda versión sobre el posible origen de la chinampa la da West y Armillas, (1950) la cual dice: "en tiempos de **Acamapichtli** (siglo XI), siendo los Culhua-Mexica vasallos de **Azcapotzalco**, (antes que se levantara la estrella de su fortuna imperial) el tirano **Tezozomoc** exigió por tributo que le llevaran para plantar en la cabecera de su señorío, sabinos y saucos crecidos y que le habían de hacer cada año sobre una balsa una sementera con: maíz, chile, tomates, calabazas, y flores que le habían de llevar por agua estando todo crecido, su dios **Huichilopochtli** ayudo a los mexicas a cumplir su mandato", según esta versión la chinampa fué construida por primera vez en el valle por los mexicas; por último Don Fernando de Alva Ixtlilxóchilil, Alvarado Tezozomoc, Chimalpain, afirman que los xochimilcas después de la muerte de **Huetzalin** (su guía y sacerdote) eligen a su primer señor que es **Acantonalí** (1265 d. de C.) que se enfrenta a la terrible carestía de alimentos, el cual tuvo que hechar mano de obtener más terreno laborable, sometió al consejo de ancianos la idea de crear sobre las aguas del lago unas balsas de varas, tierra y limo, la obra es aceptada y se emprende, cuyos resultados no se dejan esperar y es así como nace la Chinampa agrícola, a lo largo de las orillas meridionales de los lagos de Chalco y Xochimilco.

III.3 Construcción de la chinampa.

Numerosos autores se han enfocado al estudio de este sistema de cultivo, Sanders, (1957) lo considera como un sistema altamente especializado y limitado hasta donde se sabe, al Valle de México. Jiménez-Osornio y Gómez-Pompa (1987) lo consideran un sistema integral de producción agropecuaria y forestal, así mismo otros autores han enfocado sus estudios a describirlo, aunque algunos no con mucha objetividad; debido a que muchos de ellos en especial los antiguos historiadores han propiciado enormes confusiones en relación a la forma de construcción de las chinampas, tal es el caso de el padre Acosta (citado por Rojas, 1984), el cual describe lo siguiente: "Los que han visto las sementeras que se hacen en la laguna de México, en medio de la misma agua, tendrán por patraña lo que aquí se cuenta, o cuando mucho creerán que era encantamiento del demonio, a quien esta gente adoraba. Más en realidad es cosa muy hacedora, y se ha hecho muchas veces la sementera movediza en el agua, y allí se siembra y se cultiva"; esta como otras más descripciones acerca de la chinampa han propiciado un problema en relación a que si estas flotaron alguna vez; sin embargo existen autores los cuales niegan que estas hayan flotado, tal es el caso de West y Armillas, (1950).

En relación a la forma de construcción de las chinampas Rojas,(1984) realiza un trabajo en el que propone diversas hipótesis, por lo que me basaré en el para la descripción de construcción de las chinampas. La primera a la cual nos referiremos fué descrita por primera vez en 1599 por Vargas Machuca, pero que describe de mejor manera el agrónomo Santamaría, (1912) de la siguiente manera: Esta operación es muy fácil y consiste en sondear el fondo del canal con un remo hasta encontrar un punto en el que el fondo esté a poca profundidad, en seguida y con el mismo remo hacen la limitación del "cimientto", señalando el perímetro con estacas largas. Sobre este "cimientto" van extendiendo capas de tierra y césped alternadas convenientemente hasta lograr que salgan a flor de agua. Para cortar el césped lo hacían con palas o coas. Una vez que la chinampa en formación ha llegado a tener una altura de 20 a 25 cm. sobre el nivel del agua, proceden a plantar estacas de sauce o "ahuejotes" (**Salix bonpladiana**) a una distancia de 4 a 5 metros, ya que han prendido, queda lista la chinampa para ser cultivada".

Las plantas que conformaban el césped estaban conformadas por: Tules de varias especies del género *Thya*, las cuales casi se han extinguido, y en sustitución se ha usado el llamado **Xacatule** o **Zhacaltule** (*Scirpus americanus*), otras plantas utilizadas eran: *Eichornia cassipae*, *Hydromystrya laevigata*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Hydrocotyle verticillata*, *Lilaeopsis schaffneriana*, *Lemna gibba*, *Wolffia columbiana*, así como algunas especies de ninfas como *Nymphaea odorata*, *N. gracilis*, *N. mexicana*, las cuales se encuentran extintas o en vías de extinción. La mayoría de las plantas usadas para la construcción de la chinampa, presentan un eficiente crecimiento vegetativo, y un característico sistema de rizomas y estolones, que las hacen excelentes fijadoras del sedimento, condición indispensable para la construcción de las mismas, (Novelo y Gallegos, 1988). Al tipo de construcción de chinampa descrito anteriormente Palerm, (1973) la clasifica como de "laguna adentro".

La segunda forma de construcción de chinampa es clasificada por este mismo autor como de "tierra adentro", las cuales son descritas por Alzate en (1791) y su construcción consistía en excavar zanjas que al mismo tiempo formaban y delimitaban la chinampa, éstas eran rectangulares, algunas de dos metros de ancho, y veinte o treinta de largo; y otras de cuatro metros de ancho por cuarenta de largo, y amontonaban sobre la chinampa lodo o cieno extraído, hasta que este quedara una vara más alta con respecto al agua. A este lodo se le revuelve con lenteja de agua o chilacastle (*Lemna gibba*) y otras plantas acuáticas, esta mezcla se conoce como majada (Alzate, 1791).

El otro tipo de chinampa al que Rojas, (op cit) se refiere en su trabajo es más bien como ella misma dice de "drenaje de zonas pantanosas de poca profundidad; que de creación artificial de suelo", a este respecto tenemos la siguiente crónica: "Fué el resultado verse inundadas lo menos una tercia de agua las innumerables chinampas... que hay en la circunferencia de toda Xochimilco y sus barrios, las cuales unas eran flotantes hechas a mano sobre el césped, y otras sobre la tierra firme de la orilla del agua...".

III.4 Técnicas chinamperas.

Los asentamientos humanos en el valle datan de la última parte del segundo milenio a. de C. En el caso de Xochimilco, fueron encontrados algunos hallazgos arqueológicos que podrían indicar que las prácticas agrícolas en este lugar datan de hace 2000 años, (citado por Cervantes y Torres, 1981).

En la época prehispánica la zona de chinampas constituía la base real de la economía en el valle de México Coe (1971), la existencia de Señoríos y Estado cobran gran importancia en el sistema chinampero ya que los trabajos de retenes y drenajes para la construcción de canales derivativos (acalotes) y de riego (apancles) así como de mantener los niveles de agua dulce y agua salada requieren de conocimientos empíricos de ingeniería hidráulica y astronomía, para controlar los ciclos estacionales de reproducción biótica, labores difíciles de llevarse a cabo en forma individual; además de un trabajo de participación familiar durante todas las fases de la producción, (Corona, 1981).

Las técnicas agrícolas que se desarrollaron en el valle fueron diversas, entre las de más importancia tenemos las de construcción de la chinampa y la relación con el cultivo de las mismas entre estas se encuentran:

- 1) El uso de almácgos y trasplante: la mayoría de los cultivos ya sea los mesoamericanos como los introducidos por los españoles primero se siembran en un almácgio y posteriormente se transplantan. El uso de almácgos es mencionado por el padre Ponce, el cual describió en 1570 lo siguiente: "Ponen también en éstas chinampas almácgos de maíz y de allí los transplantan, cosa muy particular en esa tierra", (Citado por Rojas 1987).

Para la construcción del almácgio se siguen los siguientes pasos: a) Se construye una cama cerca del canal de seis u ocho centímetros de espesor por uno o dos metros de ancho y de cinco a diez metros de largo; en donde se coloca una capa de estiércol seco y molido o de suelo en las mismas condiciones, esto con el propósito de que el agua-lodo no se adhiera al suelo subyacente de la chinampa; (citado por Cervantes y Torres, op cit).

b) El agua-lodo se extrae del fondo del canal haciendo uso de **Zoquimatl** (instrumento para cieno) que es una bolsa de tela amarrada a un arco colocado en el extremo de una pértiga de alrededor de cinco metros de largo, el chinampero conoce lugares específicos para su obtención, para transportarlo depositan el agua-lodo en su canoa, hasta la chinampa.

c) El sedimento se vierte en la cama y se deja drenar de 24 a 48 horas, según la humedad que el suelo presente, lo cual esta regido por la época de lluvias o de secas.

d) A continuación se procede a cortar el almáxico con cuchillo, el tamaño de estos cubos llamados chapines varía en relación a la semilla seleccionada.

e) En cada chapín se hace un hoyo en el centro ya sea con el dedo, un palito, o un olate, la profundidad y el número de semillas por chapín varía en relación a la planta que se este sembrando.

f) Finalmente se cubren con estiércol seco o con suelo, o también con papel periódico, zacate, o la petatera que es una especie de estera de cañas amarradas con cuerda que se puede enrollar, otra forma de cubrirlos es haciendo pequeños montículos o cobertizos.

El trasplante varía en relación a la planta sembrada como por ejemplo la lechuga, se mantiene en el almáxico de 15 a 21 días, en ocasiones se realizan hasta dos trasplantes antes de dejar a la planta definitivamente en el suelo de chinampa para su cosecha.

2) Asociado a lo anterior encontramos el empleo de abrigos, que permiten proteger a la planta de las inclemencias del tiempo como las heladas, granizadas e incluso los largos periodos de sol, estos abrigos pueden ser zacate de monte o cañas, bloques de césped seco, o cucurucho de papel y la práctica de "allojar" las plántulas del almáxico para detener por corto tiempo su crecimiento y retrasar su trasplante. Esta técnica permite ajustar el tiempo de trabajo para el campesino, más que el de presentar un beneficio real a los cultivos.

3) Otra técnica es la de hacer hoyos someros ("cajetes") en la capa de vegetación acuática que ha sido vertida a la chinampa ó a el suelo sin barbechar. Estos hoyos eran hechos con un instrumento llamado "picador" a manera de trompo; el cual ha sido substituido por el azadón o la pala, ahí se depositan agua-lodo y los "chapines".

4) Otras técnicas utilizadas asivamente, son las escardas individuales, (arrimando de suelo al pie de las plantas) las cuales se realizan con instrumentos manuales; así como, la poda de los cultivos; especialmente utilizada para el maíz.

5) Otra actividad que podríamos considerar una técnica es la del riego, esta se realiza manualmente para lo cual se utilizan cubetas, regaderas ó bateas; ó con la ayuda de bombas de agua; Rojas, (op cit) menciona que en tiempos prehispánicos y de la colonia el riego era innecesario debido a que el agua subía por capilaridad, excepto en las épocas de sequía, sin embargo ésta fué adquiriendo importancia a medida que el lago se fué desecando lo que provocó que las areas chinamperas crecieran con más rapidez. Actualmente los chinamperos han adoptado nuevas técnicas, con el fin de contrarrestar el efecto nocivo de las sales y el sodio que se encuentran en el suelo, sin embargo carecemos aún de información suficiente para describirlas.

III.5 La agricultura chinampera.

González (1981), realizó un estudio palinológico de las chinampas y descubrió que durante algún tiempo estas estuvieron dedicadas exclusivamente al cultivo de *Amaranthus paniculatus* y que su utilización para producir maíz es tardía y, a juzgar por el análisis palinológico, tal parece que ocurrió sólo en momentos específicos; cuando la demanda de este cereal fué especialmente alta, o cuando fracasaba la agricultura en otras regiones. La prioridad del Amarantho sobre el maíz sólo encuentra explicación como producto exigido por ritos religiosos.

De las numerosas plantas nativas que producen éstas parcelas, el maíz ha sido el principal y el más constante a través de los siglos. El jitomate le sigue en importancia, con una producción plenamente orientada al mercado; el tomate los chiles y la calabaza también se cultivaron en forma predominante a fin de expandirse a la ciudad de México.

Frijoles, ejotes *Phaseolus vulgaris*, chíca *Salvia hispanica*, alegría (*Vauhtill*) *Amaranthus paniculatus* var. *leucocarpus*, chayote *Sechium edule*, chilacayote *Cucurbita ficifolia*, diversas flores de ornato, hierbas de olor y quelites, complementan la lista de cultivos mesoamericanos en las chinampas, si bien algunos de ellos han sido sólo huéspedes temporales. Los chiles *Capsicum annum*, *Amaranthus paniculatus*, y la flor de muerto *Tagetes erecta*, pasan su primera edad en los almácigos colocados en la chinampa, pero maduran y fructifican en el suelo de los cerros a donde son transportados en cuanto comienza el temporal.

Prácticamente todas las hortalizas así como gran parte de las flores y hierbas de olor traídas por los españoles durante la colonia, fueron incorporadas, al repertorio de las plantas cultivadas en las parcelas lacustres: pepino *Cucumis sativus*, coliflor *Brassica oleracea* var. *botrytis*, col de bruselas *Brassica oleracea* var. *gemmitifera*, alcachofa *Cyanara scolimus*, ajo *Allium sativum*, cebolla *Allium cepa*, acelga *Beta vulgaris* var. *cicla*, lechuga *Lactuca sativa*, cilantro *Coriandrum sativum*, perejil *Petroselinum crispum*, betabel *Beta vulgaris* var. *crassa*, apio *Apium graveolens*, nabo *Brassica napus*, rábano *Raphanus sativus*, brócoli *Brassica oleracea* var. *cauliflora*, zanahoria *Daucus carota*, colinábolo *Brassica oleracea* var. *caulorapa*; cereales y leguminosas como el trigo *Triticum sativum*, cebada *Hordeum vulgare* y chícharo *Pisum sativum* también han estado presentes alguna vez, pero su cultivo no parece haber prosperado.

De los cultivos conocidos a raíz de la conquista se adaptaron algunos de ellos para cultivarlos en los cerros, en una lista más limitada que incluye a los siguientes: haba, chícharo, papa, lechuga, lenteja, garbanzo y cebada.

Las flores por las cuales Xochimilco destaca, se han cultivado sin interrupción desde el siglo XVI, hasta aproximadamente los años 40's y 50's del presente siglo; en este periodo se arreglaban para la venta en ramos, pero a partir del fin de esta década, se empezaron a preparar como planta, es decir en un cubo de suelo para luego ser transplantadas en jardines o macetas. Esta innovación se atribuye al cambio en las condiciones de humedad en las chinampas. Entre las flores de mayor producción en la región destacan: el pensamiento *Viola tricolor*, la flor de muerto *Tagetes erecta*, alcatraz *Zantedeschia aethiopica*, dalia *Dalia coccinea*, violeta *Viola odorata*, crisantemo *Chrysanthemum morifolium*, rosa *Rosa* sp., clavel *Dianthus carophyllus*, mercadela *Calendula officinalis*. Entre las principales hierbas de olor que se producen en la región tenemos: la ruda *Ruta graveolens*, hierbabuena *Mentha spicata*, romero *Suaeda nigra*, albahaca *Ocimum basilicum*, manzanilla *Matricaria chamomilla*, etc.

En la actualidad se cultivan alrededor de 25 especies en San Andrés Mixquic y se distinguen, al igual que en otras partes de la región, dos tipos de productores, los especialistas, los cuales cultivan todos los años la misma planta y los generalistas que no practican un cultivo en especial. Un total de 48 diferentes cultivos se intercalan y/o asocian, los más comunes son: apio-rábano, espinacas y rábano, acelga y romero, espinaca y remolacha-maíz-frijol y calabaza, maíz y chayote, (Cid y Jiménez-Osornio, 1981).

III.6 Crisis ecológica y social de la región chinampera.

En 1914, los ojos de agua y manantiales que abastecían de agua a la zona lacustre de Xochimilco fueron entubados, para abastecer de agua a la ciudad, con una captación de $2.4 \text{ m}^3/\text{seg}$ con la captación de otros manantiales, esto provocó niveles de sequía, entre los años 1957-58 (Baez y Belmont, 1972, Villanueva, 1977 y Aguilar, 1978), afectando súbitamente la agricultura, la flora y fauna así como el turismo. Estos factores así como las demandas de los chinamperos de agua para riego, llevaron en 1958 al Departamento del D.F. a restablecer el nivel del lago mediante el envío de aguas tratadas del cerro de la Estrella. Sin embargo estas aguas carecen de un tratamiento adecuado, por lo que contienen altos niveles de contaminantes con consecuencias funestas para la flora y fauna, tanto acuática como terrestre.

Actualmente los canales presentan un aspecto bastante deplorable, esto se debe a los factores ya mencionados aunado a la contaminación causada por asentamientos urbanos, los cuales descargan aguas negras directamente a los canales; otro factor de contaminación es el uso de las chinampas como potreros, etc. Estas condiciones han favorecido el desarrollo de plagas como el lirio acuático, y la presencia de organismos causantes de infecciones estomacales en relación a esto, el Instituto de Geofísica de la U.N.A.M. y la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, realizaron un estudio en el cual agruparon a la mayoría de estas aguas con respecto a su calidad, en la clase IV (Von Tumppling), en donde encontraron la presencia de bacterias coliformes de origen fecal lo que indica el carácter polisapróbico; en relación a los contenidos de sales y sodio la mayoría fueron clasificadas dentro de las clase C_3S_1 ; es decir un alto peligro de salinidad y bajo contenido de sodio, finalmente concluyen, que las aguas están contaminadas y su empleo para riego, es desde el punto de vista de salud pública dudosa (Balanzario, 1976).

Actualmente se está dando un rápido proceso de cambio, el aumento de la población ha ocasionado que varias chinampas estén siendo utilizadas como terrenos para vivienda; anteriormente la propiedad de la tierra era un derecho de posesión y sucesión, legalizándose posteriormente como propiedad privada.

Para la década de los ochentas Xochimilco es declarado por la UNESCO "Patrimonio Cultural de la Humanidad", por lo que se enumeran una serie de tareas para el rescate ecológico de la zona, sin embargo no se tiene como prioridad la solución de problemas que afectan a las clases más desfavorecidas.

Actualmente con las reformas al artículo 27 con respecto a la propiedad de la tierra, Xochimilco ha sido objeto de especulaciones por parte de compañías nacionales e internacionales, para elaborar proyectos de zonas habitacionales y de recreación, dirigidos enteramente a un estrato social de alto poder adquisitivo.

Así, los 18 barrios que ahora conforman la delegación Xochimilco, cada vez crecen más, debido a que grandes zonas rurales son utilizadas para la construcción de casas habitación, así esta zona está perdiendo sus formas tradicionales. Grandes extensiones de suelo se encuentran abandonadas, ya que el chinampero ha sustituido la labor agrícola por diferentes oficios, que desempeña dentro de su comunidad y en la Ciudad de México, pasando a formar parte de las filas obreras, o como técnicos calificados y en el mejor de los casos como profesionistas, labores difíciles de combinar con la labor agrícola, lo que ocasiona que poco a poco pierdan su identidad étnica. El chinampero no sólo está perdiendo su identidad campesina, sino sus tierras, que son sus bienes de producción, ocasionando una destrucción del paisaje socialmente hablando. De tal manera el proceso de deterioro ecológico implica de hecho un deterioro social (Villanueva, 1991).

IV SUELOS SALINOS, SALINO-SODICOS Y SODICOS.

IV.1 El origen de las sales.

Las sales en los suelos afectados por este problema proceden de la intemperización de las rocas y minerales que se encuentran en la corteza terrestre. Dentro de los elementos que intervienen en su formación destacan el Ca, Mg, Na, K, Cl, S, C y en menor frecuencia N, B, e I.

Como lo muestra el cuadro (1) los cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos de iones alcalinos y alcalino-térreos, son las sales que con mayor facilidad han de formarse a consecuencia de la intemperización de la corteza terrestre (Pizarro, 1978).

CUADRO 1 Secuencia de la extracción de iones durante la intemperización (Pizarro, 1978).

Aniones	Coefficiente de energía	Cationes	Coefficiente de energía
Cl ⁻ y Br ⁻	0.23	Na ⁺	0.45
NO ₃ ⁻	0.18	K ⁺	0.36
SO ₄ ⁼	0.66	Ca ⁺⁺	1.75
CO ₃ ⁼	0.78	Mg ⁺⁺	2.10
SiO ₃ ⁼	2.75	Fe ⁺	5.15
		Al ⁺⁺⁺	4.25

Las principales fuentes de salinización corresponden a las aguas cargadas de sales procedentes de la meteorización ya sean superficiales (ríos, arroyos, lagos) ó subterráneas, constituyendo mantos freáticos.

Aquellas depresiones en las cuáles el drenaje es deficiente se encuentran expuestas a un proceso de salinización. El clima y los procesos hidrogenéticos de un suelo son factores importantísimos en la salinización del mismo.

El agua de lluvia elimina sales, sin embargo la evaporación y transpiración consumen grandes cantidades de agua, por lo que las sales que se encuentran en la solución del suelo no se ven afectadas de manera significativa. Por esta razón es que zonas donde predomina un clima árido, se encuentran altos niveles de sales.

Las sales presentes en la solución del suelo afectan a las plantas de diferentes formas: elevan la presión osmótica lo que dificulta la absorción de los nutrimentos por las plantas, por otro lado los suelos donde las sales de sodio predominan, observan un pH mayor de 8 lo que ocasiona la no absorción de nutrimentos por las raíces, y la defloculación del suelo provocando que éstos se vuelvan casi impermeables al agua y al aire.

Las sales más abundantes en la parte continental son las constituidas por carbonatos, sulfatos y cloruros.

Las sales más perjudiciales son aquellas que poseen altos niveles de solubilidad al contrario de aquellas que por su baja solubilidad precipitan antes de alcanzar niveles perjudiciales. Es muy importante mencionar que la solubilidad de las sales se ve afectada drásticamente, por la temperatura a la cual se encuentra el suelo. (Pizarro, *op cit*).

Las sales de mayor importancia son:

- i) Sulfato de magnesio ($MgSO_4$) posee una solubilidad de 262 gr/l a $20^\circ C$, es componente típico de los suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados.
- ii) Sulfato de sodio (Na_2SO_4): típico de suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados, su solubilidad a $20^\circ C$ es de 185 gr/l y aumenta con la temperatura. La superficie del suelo se hace bofa (quebradiza) cuando ésta sal existe en abundancia.
- iii) Cloruro de sodio ($NaCl$): junto con el Na_2SO_4 son las sales más abundantes en los suelos salinos, su solubilidad es de 318 gr/l a $20^\circ C$, su toxicidad es tan elevada, que al 0.1% de ésta en el suelo las plantas se ven seriamente afectadas, de 2 a 2.5% los suelos son improductivos.
- iv) Carbonato de sodio (Na_2CO_3): a $20^\circ C$ su solubilidad es de 213 gr/l y aumenta con la temperatura. Su hidrólisis provoca una fuerte alcalinidad, se encuentra en suelos con un pH mayor de 12, afecta seriamente la estructura del suelo así como su permeabilidad.
- v) Cloruro de magnesio ($MgCl_2$): el cloruro de magnesio, posee una solubilidad de 353 gr/l a $20^\circ C$, es una de las sales más perjudiciales para las plantas, es muy higroscópico por lo que absorbe vapor de agua.
- vi) Carbonato de calcio, "caliza" ($CaCO_3$): es una sal poco soluble 0.0131 gr/l la cual al acumularse en grandes proporciones, se precipita y forma horizontes fuertemente cementados, impermeables al agua, e impenetrables por la mayoría de las raíces.
- vii) Sulfato de calcio-dihidratado, "yeso" ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$): esta sal se precipita y forma un mineral conocido como yeso, su solubilidad es de 2.04 gr/l, a excepción de que se encuentre en grandes proporciones no afecta las condiciones fisicoquímicas del suelo; es utilizada como mejorador en suelos que poseen problemas de salinidad y sodicidad.
- viii) Otra sal muy importante pero poco común son las formadas por nitratos (NO_3^-), las cuales poseen una solubilidad muy elevada, (686 g/l el $NaNO_3$ y 279 g/l el KNO_3 a $20^\circ C$).

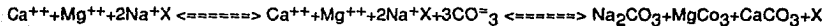
IV.2 Origen del sodio intercambiable en el suelo.

Las coloides, orgánicos y minerales del suelo adsorben cationes, a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en su superficie. Los cationes adsorbidos por reacciones químicas con las partículas del suelo, pueden ser reemplazados por otros cationes en la solución del suelo, el sodio, calcio y magnesio son rápidamente intercambiables; el potasio y el amonio pueden quedar adsorbidos pero con mayor dificultad, (Allison *et al*, 1973).

Cuando la solución del suelo se concentra más a consecuencia de la evaporación del agua, los sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio exceden sus límites de solubilidad y se precipitan causando el correspondiente aumento de sodio, en estas condiciones, una parte de calcio y magnesio son reemplazados por el sodio, a pesar de que estos son fuertemente adsorbidos por el complejo de intercambio a concentraciones equivalentes las cantidades de éstos iones son varias veces la del sodio, por lo que para que este aumento en el complejo de intercambio, su concentración en la solución del suelo debe aumentar, hasta constituir más de la mitad de los cationes solubles, y cuando esto ocurre pasan a ser suelos sódicos, (Allison et al. 1965).

Cuando el agua de riego contiene considerables cantidades de sodio en solución éste se acumula paulatinamente en el suelo, a concentraciones elevadas sustituye a otros cationes intercambiables y ocasiona un desequilibrio eléctrico de la micela coloidal, en donde deja cargas residuales, Por lo que las partículas del suelo se repelen y como consecuencia, este se delocula y pierde su estructura; la permeabilidad al aire y agua disminuye, lo que favorece la formación de costras en la superficie; todo esto impide el desarrollo normal de los cultivos. (Palacios y Aceves 1970).

En la alcalinización del suelo los cationes solubles participan en una reacción reversible con los sitios de intercambio, esta se representa a continuación, en donde X son los sitios de intercambio:



A partir de esta ecuación y ciertas consideraciones sobre la solubilidad de los carbonatos, se puede ver que gran parte del Ca^{++} y Mg^{++} de la solución se precipitan y las sales de sodio quedan en la solución para intercambiarse con el complejo de intercambio. (Kamphorst, 1978).

IV.3 Clasificación de los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos, USDA.

El Departamento de Conservación de los Estados Unidos de América ha establecido los límites para la clasificación de los suelos salinos y sódicos con base a la Conductividad Eléctrica (C.E.), de la solución que es extraída de un suelo saturado de agua. El extracto se prepara añadiendo agua al suelo, la necesaria para llenar todos los poros. A continuación se deja equilibrar la pasta saturada y se separa el extracto de saturación mediante vacío. La conductividad eléctrica se expresa en mmhos/cm a 25°C.

El otro parámetro utilizado es el porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I.) que es el porcentaje de sitios ocupados por el ión Na^+ en el complejo de cambio y se obtiene a partir de la Capacidad de Intercambio Catiónico Total del suelo (Allison et al. 1965).

La agrupación de los suelos salinos y sódicos es la siguiente:

Suelos salinos: Son aquellos que contienen sales solubles neutras cuya concentración es suficiente para inhibir el desarrollo vegetal; presentan una conductividad eléctrica del extracto mayor de 4 mmhos/cm a 25°C. y un P.S.I. menor de 15%; con una lectura de pH menor de 8.5, Hilgard (1906) los designa como suelos "alcali blanco", que corresponden a los "Solonchack" de la clasificación rusa.

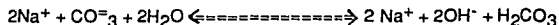
Estos suelos se reconocen por la formación de costras de sal en la superficie, debido a la evapotranspiración intensa durante la estación seca. Las propiedades físicas de estos suelos dependen del tipo y cantidad de sales presentes, en la solución del mismo. El sodio rara vez presenta más de la mitad de los cationes solubles y no es absorbido por las plantas en forma significativa junto con el potasio, son poco abundantes. Los cationes predominantes son el Calcio y Magnesio, en la solución del suelo y en el complejo de cambio. Los aniones más frecuentes son los: Cloruros, Sulfatos y a veces Nitratos, pudiendo presentar pequeñas concentraciones de bicarbonatos y fosfatos, pero invariablemente no se encuentran carbonatos solubles.

Además de las sales solubles, estos suelos pueden contener sales insolubles, como caliza (CaCO_3) y yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Los suelos salinos se encuentran floculados debido al exceso de sales de calcio y magnesio, y la ausencia de concentraciones significativas de sodio intercambiable, en consecuencia la permeabilidad es igual o mayor a la de los suelos similares no salinos.

Suelos sódicos: Son suelos pobres en sales neutras solubles, la C.E. del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25°C, y su P.S.I. es mayor del 15%, bajo estas condiciones el pH varía entre 8.5 y 10. Estos suelos fueron designados por Hilgard (1906) como "alcali negro" y corresponden a los "Solonetz" de los autores rusos; ésta designación se debe a que la elevada concentración de sodio produce la dispersión y disolución de la materia orgánica, la que durante la evapotranspiración del agua, se deposita en la superficie, produciendo ennegrecimiento. Estos suelos son frecuentes en regiones áridas y semiáridas y en aquellos suelos bajo riego con bajas concentraciones de yeso.

La intensa reacción alcalina de los suelos sódicos es provocada por la hidrólisis del carbonato de sodio, que produce que el pH pueda alcanzar valores de 10 y cuya reacción es la siguiente:



donde los iones Na^+ y OH^- disueltos elevan el pH drásticamente.

La alta concentración de sodio provoca la dispersión de los coloides del suelo, que son transportados hacia capas profundas, donde se acumulan y alteran las propiedades físicas. De esta manera, unos cuantos centímetros superficiales presentarían una textura relativamente gruesa y estructura quebradiza, sin embargo, en capas inferiores, donde se acumula arcilla, el suelo desarrolla una capa densa y de baja permeabilidad, con una estructura prismática y columnar típica, lo que dificulta el laboreo.

Los aniones más comunes son los cloruros, sulfatos y bicarbonatos, aunque suelen encontrarse pequeñas concentraciones de carbonatos. A pH muy elevado y en presencia de carbonatos, el calcio y el magnesio se precipitan de la solución del suelo, disminuyendo su concentración y favoreciendo la predominancia del sodio. A veces pueden encontrarse grandes concentraciones de potasio, tanto soluble como intercambiable.

Los suelos sódicos son los más alcalinos y de estos los más difíciles de recuperar; para ello debe eliminarse el sodio intercambiable por cationes como el calcio y su remoción del suelo por lavado.

Ciertos suelos sódicos contienen un P.S.I. mayor de 15%, y sin embargo el pH de la superficie, se encuentra por debajo de 6. A estos suelos De Sigmond (1938) los denominó suelos "alcali degradados", se presentan en ausencia de caliza y el pH bajo es resultado del hidrógeno intercambiable; no obstante, sus propiedades físicas están dominadas por el sodio intercambiable.

Suelos salino-sódicos: son suelos cuya conductividad eléctrica del extracto de la pasta de saturación es mayor de 4 mmhos/cm a 25°C, y un porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15%, su formación es el resultado de procesos combinados de salinización y acumulación de sodio. Cuando hay exceso de sales el pH es raramente mayor de 8.5 y las partículas permanecen floculadas. 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, puede cambiar a carbonato de sodio. El lavado de estos suelos pueden hacerlos mucho más alcalinos (pH mayor de 8.5), las partículas se dispersan y el suelo se vuelve desfavorable para la entrada del agua y las labores agrícolas.

El manejo de estos suelos es un problema hasta que se elimina el exceso de sodio intercambiable y sales.

La recuperación de estos suelos se realiza mediante la combinación de mejoradores y lavado, lo cual ya sea aplicando ácidos o sustancias productoras de ácidos para reemplazar el sodio del complejo de intercambio, aunque en algunos casos cuando el suelo no contiene calcio se recomienda aplicar yeso, polisulfuro u otros mejoradores que aporten este elemento químico.

IV.4 Efectos de la salinidad y sodicidad en el desarrollo de las plantas.

Cuando en un suelo la concentración de sales es muy alta, las plantas se ven impedidas de absorber agua, quedan marchitas y cesan de crecer. La reducción de la asimilación del agua, se debe al aumento de la presión osmótica en la solución del suelo, mientras que la presión osmótica de la savia celular es de 10 a 20 atmósferas, la del suelo en su punto de marchitez permanente pocas veces alcanza 2 atmósferas, pero si esta sube, la planta intenta mantener una diferencia de 10 atmósferas entre su savia y la solución del suelo. (López, López, 1985).

Aparte de los efectos osmóticos, la naturaleza dispersante del suelo es un factor perjudicial para las plantas, los suelos se vuelven sumamente compactos y encharcados, su espacio poroso casi desaparece y las plantas sufren todas las consecuencias de las condiciones anaeróbicas, la nitrificación se detiene, la respiración y penetración de las raíces queda restringida y aumentan las enfermedades radiculares. Las altas concentraciones de Na^+ y Mg^{++} en la solución del suelo y el complejo de cambio causan efectos de dispersión del suelo.

Cuando los suelos salinos presentan un pH elevado, los aluminio-silicatos tóxicos llegan a disolverse, el K^+ se adsorbe con dificultad debido a la competencia del Na^+ o Mg^{++} , disminuye la asimilación del fósforo, hierro, zinc y cobre; así como la solubilidad del Fe^{++} , Mn^{++} , Ca^{++} y Mg^{++} ; y las plantas empiezan a intoxicarse con aluminio-silicatos antes de sufrir deficiencias minerales o llegan a morir. (López, López, ~~op cit~~).

La tolerancia de las plantas a las sales, es variable, el principal daño se presenta en la germinación y las primeras etapas del desarrollo de las plantas. (Donahue, et al y Ayers, 1952).

El carácter de halofitismo se debe a adaptaciones morfológicas y fisiológicas de las plantas que les permiten absorber agua de soluciones de elevada presión osmótica, *Salicornia herbacea* puede crecer en suelos muy salinos debido a que su plasma celular es permeable a las sales acumulando grandes cantidades de sales en sus tejidos, con lo que eleva su presión celular, que se aproxima a la de la solución del suelo, facilitando la absorción del agua; otras plantas acumulan ácidos orgánicos como el oxálico y málico, éstos cargados negativamente balancean la excesiva acumulación de cargas.

El contenido de sales en los tejidos se modifica, de varias formas, algunos arbustos del desierto arrojan el exceso de sales por medio de sus hojas, otras las acumulan lo que incrementan la entrada de agua a sus tejidos, esto les da succulencia y produce una dilución de las sales.

Ciertas plantas cultivadas en medios salinos alteran su metabolismo acumulando aminoácidos libres, algunos de los cuales tienen efectos tóxicos como: la leucina, alanina y tirosina, así el tabaco y el maíz observan un perjuicio en el desarrollo de los tallos (Flowers, 1977).

En la India se utiliza el cultivo de plantas tolerantes, a suelos afectados por sales y sodio, con dos objetivos: el aprovechamiento industrial de la planta y la recuperación del suelo; dos de las especies utilizadas para este fin son *Rosa damascena*, la cual crece en suelos con un pH de 8 a 9, y de la cual se obtiene un aceite esencial empleado en perfumería, y la manzanilla *Matricaria chamomilla* L., que soporta condiciones de fuerte alcalinidad (pH de 9 a 9.2) y es capaz de extraer hasta 27,970 Kg de sodio por hectárea; de la manzanilla se puede extraer un aceite que funciona como droga, se emplea como antiespasmódico, sedante y diurético (Singh, 1970).

El establecimiento de plantas tolerantes a las sales y el sodio favorece el incremento en la conductividad hidráulica así como la buena agregación del suelo, lo cual reduce la evapotranspiración manteniendo un control sobre el nivel freático. Entre los cultivos que producen estos efectos tenemos al girasol, el apio, los puerros y la alfalfa, la cual es capaz de extraer hasta 25 Kg de sodio por hectárea (Pizarro, op cit).

El efecto de las sales, sobre algunos cultivos, se observa en el cuadro 2.

CUADRO 2. Disminución en la producción de varios cultivos, según los niveles de salinidad del suelo (Pizarro, 1978).

CULTIVOS	C. E. (mmhos/cm) que causa una disminución de la producción del:		
	10%	25%	50%
FORRAJES			
Pasto de Bermudas (<i>Cynodo dactylon</i>)	13	16	18
(<i>Agropyron elongatum</i>)	11	15	18
(<i>Agropyron desertorum</i>)	6	11	18
Festuca (<i>Festuca arundinaceae</i>)	7	10.5	14.5
Cebada, paja (<i>Hordeum vulgare</i>)	8	11	13.5
Ballico (<i>Lolium perenne</i>)	8	10	13
Alpiste pratense (<i>Phalaris tuberosa stepnoptera</i>)	8	10	13
Alfaifa (<i>Medicago sativa</i>)	3	5	8
Dactilo (<i>Dactylis glomerata</i>)	2.5	4.5	8
Cola de zorra (<i>Alopecurus glomerata</i>)	2	2.5	4
Trébol sueco (<i>Trifolium hybridum</i>)	2	2.5	4
Trébol rojo (<i>Trifolium pratense</i>)	2	2.5	4
CULTIVOS EXTENSIVOS			
Cebada, grano (<i>Hordeum vulgare</i>)	12	16	18
Remolacha azucarera (<i>Beta vulgaris</i>)	10	13	16
Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)	10	12	16
Cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i>)	8	11	12
Trigo (<i>Triticum vulgare</i>)	7	10	14
Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)	6	9	12
Soja (<i>Soja max</i>)	5.5	7	9
Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	3	5	8.5
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	5	6	8
Maíz (<i>Zea mays</i>)	5	6	7
Haba (<i>Vicia faba</i>)	3.5	4.5	6.5
HORTALIZAS			
Remolacha de mesa (<i>Beta vulgaris</i>)	8	10	12
Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	5.5	7	8
Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)	4	6.5	8
Brócoli (<i>Brassica oleracea italica</i>)	4	6	8
Col (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	2.5	4	7
Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)	2.5	4	6
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	2	3	5
Pimiento (<i>Capsicum frutescens</i>)	2	3	5
Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	2	3.5	4
Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	1.5	2.5	4
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1.5	2	3.5

IV.5 Enmiendas para la recuperación de suelos afectados por sales y sodio.

Para la recuperación de suelos afectados por sales y sodio se utilizan dos técnicas fundamentales; el lavado y las mejoras químicas (Pizarro, op cit), además de técnicas auxiliares como las que se presentan en este capítulo.

I Mejoradores químicos.

a) Yeso: El yeso es el mejorador químico más utilizado, debido a su bajo costo y facilidad de obtención. La substitución del sodio del complejo de cambio se realiza mediante la siguiente reacción:

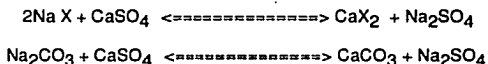


La solubilidad del yeso aumenta en la presencia del ión Na^+ y del cloro en el agua, y disminuye en presencia de calcio y sulfatos, es lo suficientemente baja para limitar, los efectos benéficos de este mejorador.

Por lo anteriormente expuesto la adición de lavados al suelo aumenta la eficiencia del yeso, así mismo las partículas de este mejorador que se hacen pasar por un tamiz de 2 mm, han tenido mejores resultados.

El yeso puede agregarse al suelo, ya sea directamente, o añadirlo al agua de riego. Para una mejor substitución del sodio en el complejo de cambio es ventajoso lavar después de la aplicación de este mejorador químico. (Pizarro, op cit).

Sin embargo en suelos que posean problemas de permeabilidad este proceso no es aconsejable. Un litro de agua disuelve 36 miliequivalentes de calcio como yeso, la reacción de este mejorador en un suelo sódico comprende las siguientes reacciones:



Hay diferentes variedades de sulfato de calcio, anhidrita, yeso monohidratado, yeso de moldar usado por los cirujanos en la fractura de huesos, y la selenita que es transparente.

El yeso comercial que se utiliza como enmienda proviene de minas en donde anteriormente había mar, su pureza puede variar de 50 a 95% o más y libre de impurezas contiene 79.1 de CaSO_4 , 32.6% de CaO y 46.5% de SO_3 y 20.9% de agua combinada, (citado por Reyes, op cit).

Chena (1958-59), realizó un estudio sobre la importancia de la profundidad de aplicación del yeso, en la recuperación de un suelo sódico-salino y reporta, que cualquier cantidad menor de 3 toneladas de yeso/ha deben mezclarse con el suelo, Chena experimentó con profundidades de 15, 30 y 45 cm, en relación a la incorporación de este mejorador y obtuvo mejores resultados a los 30 cm.

b) Cloruro de Calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): Debido a su elevada solubilidad (427 gr/l a 20°C) es un mejorador químico de efectos muy rápidos y de gran eficiencia. Sin embargo su elevado costo, impide su uso a nivel de campo, (citado por Reyes, op cit).

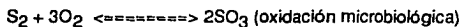
El suelo tratado con cloruro de calcio presenta la siguiente reacción:



Existen muy pocos trabajos en relación al uso de este mejorador, entre ellos tenemos (Prather et al, 1978; Arora, 1981; Shainberg et al, 1982).

c) Azufre: Este mejorador es ampliamente utilizado, debido a su bajo costo; se aplica en forma elemental, y su pureza varía de 50 al 99% o más, es insoluble en agua por lo que su efecto es muy lento.

En suelos que poseen al menos el 1 % de CaCO_3 pueden efectuarse las siguientes reacciones:



La oxidación microbiana para formar H_2SO_4 se lleva a cabo por las bacterias Thiobacillus thiooxidans.

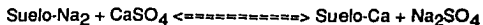
El azufre es un mejorador lento, ya se ha observado que una tonelada de este tarda en oxidarse aproximadamente de dos a tres semanas en suelos con buena aereación y drenaje, y se prolonga hasta más de un año, en suelos poco aireados.

Por tal motivo un suelo que ha sido tratado con azufre no debe lavarse inmediatamente, pero debe mantenerse húmedo, lo cual es esencial para la acidez del mismo.

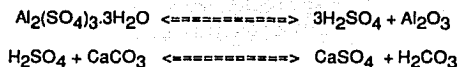
De los trabajos realizados con azufre podemos mencionar Overstreet et al 1951; López, 1976; Rodríguez, 1965; Ureña, 1975; Díaz, 1972; Becerra, 1983, (citado por Reyes *op cit*).

d) 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:



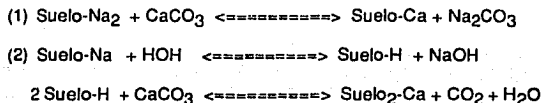
El sulfato de aluminio es más efectivo que el sulfato de hierro y su reacción en presencia de agua y carbonato de calcio es la siguientes:



El inconveniente de usar este mejorador es el efecto tóxico residual en las plantas. Sin embargo su acción es rápida en suelos que posean altas cantidades de carbonatos alcalinotérreos, a pesar de ello su uso es mínimo debido a su elevado costo. (Pizarro, *op cit*).

d) **Acido Sulfúrico:** Este mejorador es uno de los más usados en la recuperación de suelos con problemas de sales y sodio, se tratará de éste en el próximo capítulo.

e) **Caliza:** La caliza CaCO_3 puede ser un mejorador muy barato, sobre todo si se emplean los carbonatos existentes en áreas cercanas. Kelley y Brown (1934) sugieren dos posibles reacciones en el suelo:



La eficiencia del CaCO_3 depende de su solubilidad, que normalmente es muy baja, pero que aumenta en presencia de CO_2 y al disminuir el pH.

El uso de la caliza está indicado para suelos con un pH menor de 7.5 y en ausencia de carbonatos alcalinotérreos. La eficiencia de la caliza como mejorador se eleva por cualquier procedimiento que aumente el contenido de CO_2 y disminuya el pH. El método más práctico consiste en el uso de abonos orgánicos o enterrados en verde e intensificar, por medio de labores mecánicas, el proceso de descomposición microbiana de la materia orgánica.

Kelley (1937-1951), consiguió la recuperación de un suelo sódico en Fresno, California, movilizanddo el calcio existente en la caliza del suelo mediante el cultivo en regadío de pasto de Bermudas (2 años), cebada (1 año), alfalfa (4 años) y avena (1 año). El autor recomienda el cultivo de las siguientes especies resistentes a la salinidad y su enterrado en verde: *Cynodon dactylon* (pasto de Bermudas), *Lolium perenne* (ray grass), *Sorghum vulgare* var. *Sudanesa*, *Chloris gayana* (pasto de Rhodes), *Melilotus alba* y una mezcla de ray grass y tréboles (citado por Pizarro, *op cit*).

II. Técnicas auxiliares, para la recuperación de suelos salinos.

Las técnicas auxiliares en la recuperación de los suelos salinos mejoran alguna propiedad del suelo que afecta a la eficiencia de los lavados o de los mejoradores químicos. Estas técnicas auxiliares se pueden clasificar de la forma siguiente:

- a) Técnicas mecánicas.
- b) Técnicas biológicas.
- c) Técnicas eléctricas.

a) Técnicas mecánicas.

i) Arados profundos.

Estos consisten en labores que alcanzan profundidades comprendidas entre 40 y 150 cm. Esta técnica es de aplicación cuando existen capas de baja permeabilidad entre otras más permeables. El paso del arado mezcla los suelos de las capas que atraviesa, creando un suelo más homogéneo.

Los arados profundos se han utilizado con éxito en suelos en donde la capa superficial contenía exceso de sodio y a más profundidad existía una capa rica en yeso.

ii) Subsolados.

Los subsolados rompen las capas impermeables, mejorando por tanto la permeabilidad del suelo. Su efecto es de duración limitada.

iii) Mezclas con arena.

La adición y mezcla de arena a capas de suelo de textura fina mejora la permeabilidad y la penetración de las raíces, lo que a su vez ocasiona también una mejora en las propiedades transmisoras del agua.

iv) Inversión del perfil.

Consiste en enterrar un perfil de suelo de características no deseables, substituyéndolo con material que originalmente se encontraba a más profundidad y que posee mejores características.

b) Técnicas biológicas.

i) La adición de estiércol, o el enterrado en verde tiene dos efectos que ayudan a la recuperación de los suelos salinos:

1° Mejorarán la estructura y la permeabilidad del suelo.

2° Liberan CO_2 , aumentando la solubilidad del CaCO_3 .

ii) Cultivos con elevado ETP.

Estos cultivos provocan el descenso de la capa freática, facilitando el lavado de las sales. Si la salinidad inicial no permite el cultivo de especies rentables, como alfalfa u otros pastos, puede ser útil en la siembra de caña.

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

c) Técnicas eléctricas.

Estas técnicas se encuentran en fase experimental. Algunos investigadores han demostrado que el tratamiento con corriente eléctrica puede acelerar la recuperación de suelos salino-sódicos (Pizarro, *op cit*).

V ANTECEDENTES DEL USO DEL ACIDO SULFURICO (H_2SO_4) COMO MEJORADOR DE SUELOS.

Debido a factores climáticos, topográficos y de manejo, muchos terrenos que hace algunas décadas se dedicaban con éxito a la agricultura, hoy presentan problemas de ensalitramiento, la mayoría de éstos suelos son de riego lo cual representa un problema aún más grave (Caraveo, 1984).

A nivel mundial existen 900 millones de hectáreas afectadas con problemas de salinidad, sodicidad y/o drenaje.

En nuestro país se cultivan cerca de 23 millones de hectáreas, de las cuales una cuarta parte poseen riego, y dado que estas áreas con riego aportan casi la mitad de la producción total a nivel nacional, debe considerarse su importancia y proporcionales un manejo adecuado. De éstas áreas bajo riego alrededor de la tercera parte tiene problemas de ensalitramiento (Aceves, 1979).

La utilización de un ácido para mejorar o rehabilitar suelos resulta una alternativa adecuada, cuando en el suelo existen cantidades apreciables de Ca^{++} y/o Mg^{++} en forma precipitada, estas condiciones los suelos tiene un pH alcalino mayor de 8.5 y compuestos como los $CaCO_3$, $MgCO_3$, y $CaSO_4$ son prácticamente insolubles.

El uso de ácidos inorgánicos en la recuperación química de los suelos sódicos, se basa en lo siguiente: al reaccionar los ácidos con los carbonatos de metales alcalinotérreos de los suelos sódicos los neutraliza y como resultado de las reacciones químicas de intercambio la solución del suelo se enriquece con sales secundarias de sodio, que mediante el proceso de lixiviación deben ser eliminadas o llevadas a estratos inferiores del suelo. Los compuestos de Ca^{++} y Mg^{++} que se formaron durante las reacciones deben actuar sobre el suelo desplazando al sodio intercambiable del complejo de intercambio (Manukyan et al. 1976).

El H_2SO_4 al interactuar con suelos de alto contenido de Na_2CO_3 , los neutraliza formando primero Na_2SO_4 . El ión hidrógeno del ácido sulfúrico interactúa con el complejo de intercambio desplazando al sodio, y esto también resulta en la formación de Na_2SO_4 ; al disolverse los $CaCO_3$ y $MgCO_3$ por acción del H_2SO_4 , se forman yeso ($CaSO_4 \cdot H_2O$), finamente disperso y en cierto modo como $CaHCO_3$, los cuales también desplazan al Na^+ de la micelas coloidales, cuando interactúan con el complejo de intercambio (Manukyan et al. 1976).

El uso del ácido sulfúrico beneficia la agricultura y en especial el tratamiento del suelo y agua de riego; varios estudios han demostrado que este ácido presenta los siguientes efectos sobre el suelo.

V.1 Incremento en la velocidad de infiltración.

Durante el proceso de acidificación de los suelos sódicos altamente dispersos, de pobre infiltración el Ca^{++} de los carbonatos es liberado y substituye al sodio en el complejo de intercambio, lo que favorece la agregación del suelo, esto se debe principalmente a la floculación de los coloides hidrofílicos lo cual incrementa la infiltración (Conductividad hidráulica), (Oganessian, 1964).

Doneen (1948) menciona que la conductividad hidráulica de los suelos salino-sódicos se mejora con la aplicación de ácido sulfúrico, si la RAS del agua de riego es mayor de 7.0 y el contenido total de sales solubles del agua oscila entre los 7.0 y 39.0 meq/l.

Yahia et al (1975), observaron un incremento en la velocidad de infiltración cuando el PSI inicial del suelo era muy alto.

En un experimento bajo condiciones de invernadero conducido por Overstreet *et al* (1951), con suelos salino-sódicos de California se aplicó ácido sulfúrico directamente al suelo, y se realizó un lavado posteriormente, los resultados demostraron un incremento en la velocidad de infiltración bajo todos los tratamientos.

A través de estudios de rehabilitación de suelos Manueyan *et al* (1968), reportan que la velocidad de infiltración se incremento hasta 12 veces en un suelo salino afectado por Na_2CO_3 , bajo concentraciones de 0.05 y 0.1 N de H_2SO_4 . Estos estudios mostraron además que es necesario tener Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} y Al^{+++} en la solución del suelo para asegurar la floculación de los coloides y con ello mejorar la infiltración y condiciones de lavado.

En un estudio muy interesante, debido a que en el se utilizaron como mejoradores sobrantes de H_2SO_4 y $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sobre suelos salino-sódicos, Petrosyan, (1975), observó un incremento en la conductividad hidráulica del suelo, en períodos cortos de tiempo, después de haber agregado los sobrantes de estos productos secundarios.

V.2 Reducción en el Contenido de Sodio Intercambiable.

El PSI es abatido en proporción considerable cuando se agrega H_2SO_4 a los suelos sódicos o salino-sódicos. Este efecto se ve altamente relacionado con el incremento en la conductividad hidráulica (k), debido a que el Ca^{++} desplaza al Na^+ del complejo de intercambio, lo que provoca una disminución del PSI y en consecuencia floculación, y formación agregados, los cuales dejan que se infiltre el agua (Aceves, *op cit*).

En un estudio realizado por Overstreet *et al* (*op cit*), se aplicaron diferentes mejoradores entre ellos el H_2SO_4 , en un suelo saturado al 100% con Na^+ , los resultados mostraron una amplia reducción del Na^+ de los sitios de intercambio.

Prater *et al* (1978) estudiaron el efecto de H_2SO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y CaCl_2 , sobre columnas de suelo con un alto contenido de sodio, encontrando que el ácido sulfúrico, fué el más efectivo en relación al desplazamiento de sodio del complejo de intercambio.

Recientemente Reyes (*op cit*), en un experimento a nivel invernadero con suelos de Xochimilco aplicó en dos dosis, y demostró que para la primera dosis (H_2SO_4 al 100%) el PSI disminuía de 39.72 a 0.55% y en cuanto a la segunda dosis (H_2SO_4 al 150%) el PSI disminuía de 39.72 a 0.91%. Los efectos aquí registrados muestran al H_2SO_4 como una promesa de eliminación del Na^+ de los suelos afectados por este ión.

V.3 Abatimiento en el contenido total de sales.

Se ha encontrado que el ácido disminuye el contenido total de sales solubles, esto siempre y cuando este se aplique en soluciones diluidas o que después de su aplicación se realicen lavados.

En 1975 Ryan menciona la utilización de 2 láminas de lavado sobre macetas de 1.5 Kg de suelo calcáreo tratadas con H_2SO_4 , para remover el exceso de sales solubles producidas por la acidificación, con resultados favorables.

En un estudio realizado por Ananyan *et al*, 1969, encontraron que para recuperar un metro de suelo salino-sódico, se necesitan de 90-120 ton de solución de H_2SO_4 al 1 % y de 40-50,000 m^3 por hectárea. También indican que para remover una tonelada de sales por hectárea se requieren de 360 a 400 m^3 .

Oganessyan (1975), reporta que para desalinizar un suelo salino-sódico a un metro de profundidad mediante H_2SO_4 se requiere 1300, 730 y 2400 m^3/ha en base a ciertas fórmulas establecidas de antemano.

En un estudio realizado por Sid'ko (citado por Caraveo, *op cit*), comprueba que un suelo sódico no puede ser lavado sólo con agua, sino mediante la adición de un mejorador químico; por eso para desalinizar un metro de suelo profundamente sodificado (Solonetz) emplearon ácidos inorgánicos en cantidades superiores a los 68 ton métricas y enseguida un lavado continuo de 17500 m^3/ha , el proceso tuvo una duración de 16 a 63 días.

Shuchurina, (1976), reporta que debido a la aplicación de H_2SO_4 en un suelo salino-sódico, el contenido total de sales se incrementa hasta en un 70% del valor de la C.E. y de un 32-40% cuando se utilizó $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ por lo que resulta de suma importancia que se realicen lavados después de la aplicación del ácido.

V.4 Reducción en los valores de pH y aumento en la disponibilidad de nutrimentos.

El abatimiento del pH, depende del suelo con el cual se trabaja, la aplicación de H_2SO_4 produce la solubilización de los $CaCO_3$ y $MgCO_3$, además trae consigo un efecto sobre el potencial redox (aumento), lo cual favorece enormemente la disponibilidad de los macro y micronutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas (Miyamoto, 1975).

En 1975 Ryan *et al.* trabajaron con suelos calcáreos a nivel invernadero, en Fresno California y observaron que al aplicar H_2SO_4 , al suelo los rendimientos y la absorción de fósforo, se incrementaba en las dos primeras cosechas de lechuga. Las dosis utilizadas en este trabajo fueron de 1.1, 5.5 y 11.0 ton/ha.

Manukyan (1976), reporta que la aplicación de ácido sulfúrico en soluciones 1.0 N reduce el pH de un suelo salino-sódico de 9.8 a 7.0, con un PSI inicial de 62%.

Tabia y Pollard (1958), reportan como el H_2SO_4 , acidificó un suelo sódico en un rango entre 5 y 6 unidades de pH, e hizo disponible grandes cantidades de fósforo.

En un estudio realizado por Ryan y Stroehlein (1973), estos investigadores probaron el efecto del H_2SO_4 en bajas proporciones 300, 600 y 1200 libras/acre, y bajo 4 métodos de aplicación:

- i) En el agua de riego.
- ii) Uniformemente mezclado con el suelo.
- iii) Aplicación de una lámina de ácido.
- iv) Con una aplicación localizada (franjas).

Los resultados mostraron, un marcado incremento en la cantidad de P disponible, así como en el rendimiento del tomate; además señalan que la aplicación del ácido en franjas resultó la más efectiva.

Reyes (*op cit*), al aplicar ácido sulfúrico observó que los valores de pH disminuían de 8.5 a 7.9 en suelos de Xochimilco, este fenómeno refleja su efecto amortiguador, lo cual se debe fundamentalmente a la alta cantidad de materia orgánica, presentes en estos suelos.

V.5 Efectos favorables sobre la producción de los cultivos.

Algunos investigadores han encontrado incrementos en la producción de los cultivos después del tratamiento ácido; tal es el caso de Overstreet *et al.* (1955) en donde la aplicación de ácido sulfúrico aumentó los rendimientos de una mezcla de pastos y leguminosas; Ryan *et al.* (1975) mencionan incrementos en el rendimiento de peso seco del tomate, después de haber agregado H_2SO_4 al suelo y varias láminas de lavado.

Kurvatov *et al.* (1975) utilizaron H_2SO_4 industrial y "sobrantes" del mismo, sobre suelos sódicos del oeste de Siberia, encontraron un incremento en el rendimiento de cebada y avena.

En otro estudio realizado por Overstreet *et al.* (1955) se aplicaron 3.5 ton/ha de H_2SO_4 en suelos salino-sódicos y se observó que el desarrollo de la alfalfa fué muy favorable, desde el momento de la germinación hasta la cosecha.

El incremento lineal del contenido de clorofila, fué observado por Ryan *et al.* (1975), cuando se utilizaron cantidades crecientes de H_2SO_4 , hasta llegar a un máximo de 6 ton/ha. Esto fué correlacionado con el alto crecimiento de pasto bermuda de la 3ª a la 7ª cosecha.

En estudios de campo realizados por Cates *et al.* (1984), sobre suelos salino-sódicos del estado de Montana, a los cuales se les aplicó H_2SO_4 , mostraron un incremento en las concentraciones de P, Zn y Mn, lo cual fué relacionado con el incremento en la producción de maíz y alfalfa.

La aplicación de ácidos sobre suelos con problemas de sodicidad, era un verdadero problema hace algunas décadas, sin embargo hoy en día su aplicación es de poco riesgo debido a que existen tractores o pipas especiales para este fin. Por lo general la aplicación de ácidos a nivel campo se efectúa en combinación con el riego (Miyamoto *et al.* 1975).

Sin embargo la morfotisiografía de la región lacustre de Xochimilco, dificulta el uso de este equipo.

VI DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

VI.1 Localización.

El Distrito Federal se encuentra ubicado en la parte Austral del Altiplanicie mexicana, a una altura promedio de 2240 msnm, y está dividido administrativamente en 16 Delegaciones políticas, posee una extensión territorial de 148 km², la mayor parte se encuentra en zonas montañosas del sur y suroeste.

La zona de estudio está ubicada dentro de la Delegación Xochimilco, situada al sureste del Distrito Federal, entre los paralelos 19°18' y 19°19' de latitud norte y 99°05' y 99°06' de longitud oeste a una altura promedio de 2240 msnm.

Xochimilco limita al norte con la Delegación Iztapalapa, al oeste con Tlalpan, al este Tláhuac y al sur con Milpa Alta. La delegación Xochimilco se divide en barrios: El Rosario, Xaltocan, Santa Cruzita, Caltongo, San Lorenzo, San Diego, La Asunción, San Juan, San Antonio, Belén, San Cristobal, San Esteban, La Santísima, La Guadalupita, Tiacoapa y San Marcos; así mismo existen 12 pueblos que son: Santa María Tepepan, Santiago Tepalcatlalpan, San Mateo Xalpa, San Lorenzo Atemoaya, Santa Cruz Acalpixca, San Luis Tlaxialtemalco, Santa Cruz Xochitepec, San Lucas Xochimaca, San Francisco Tlanepanila, Santa María Nativitas, San Gregorio Atlapulco y Santiago Tulyehualco, y las siguientes colonias: Huichapan, San Bernardino, Las Peritas, Tierra Nueva, La Noria, Jardines del Sur, Ampliación Tepepan, Bosque Residencial del Sur. (Reyes, 1980).

La Delegación cuenta con una población aproximada de 800,000 habitantes, con un área aproximada de chinampas de 800 hectáreas y con alrededor de 38760 chinampas de diferentes áreas que van de: 200, 450, 600, y 950 metros cuadrados, con una zona de más de 200 km² de canales para el riego, figura 1, (Balanzario, 1982)

La chinampa de estudio se localiza en el paraje Texhuilo, a un lado del canal Tlicuili (modulo demostrativo de la Delegación Xochimilco), tiene una área de 900 m² en el momento de hacer el muestreo ésta había sido desempastada y barbechada, tenía alrededor de 15 a 20 años sin cultivarse.

VI.2. Geología y Orografía.

La Cuenca o Valle de México, esta situada en el borde de la Mesa central entre los meridianos 98°15' y 99°30' N; y los paralelos 19°00' y 20°15'. Mooser (1961) considera a las formaciones de este valle, tanto por su orden de aparición, posición estratigráfica y grado de erosión sufrida en tres periodos: Terciario Medio, Terciario Superior y Cuaternario. figura 2.

El Terciario Medio comprende productos volcánicos emitidos entre el Oligoceno Superior y el Mioceno. Dentro de esta formación existen restos de volcanes estratificados, corrientes de lava, tobas, brechas y depósitos lávicos, sin embargo no se ha conservado formas volcánicas mayores, ya que éstas fueron destruidas por materiales eruptivos del Cuaternario.

Al suroeste de la Delegación, se localiza la sierra de Xochitepec, esta formada por depósitos típicos del Terciario Medio constituidas por rocas volcánicas andesíticas, basálticas, tranquiandesíticas, dacitas, lutitas y riolitas.

Al noroeste, se localiza la sierra de Santa Catarina formada esencialmente por potentes acumulaciones de material piroclástico de composición intermedia y básica: arena, cenizas, lavas y pequeños derrames lávicos basálticos, es considerada como un límite natural de la zona.

Por lo que se refiere a depósitos de Terciario Superior, aparecen entre otras formas la Sierra de Guadalupe y la Formación Tarango.

Al extremo sur de la Delegación encontramos la Sierra del **Chichinautzín**, la cual es resultado de la actividad tectónica de la zona Clarión y el desarrollo del vulcanismo del Cuaternario Superior, esta formada por potentes derrames lávicos basálticos, así como acumulaciones de brechas y cenizas. Según Farías (1964), este terreno pertenece a la vertiente norte de la sierra volcánica Transversal del **Cuahutzín** y del **Ajusco (Axochco)**, que corresponde a la era Cenozoica, esta constituida por rocas efusivas, andesíticas de horblenda y de hiperstena, las cuales aparecen en porciones muy reducidas en comparación a los basalitos los cuales se formaron debido a las corrientes de olivino, durante la erupción del **Xitle** y del **Ajusco**, en estas zonas existen laderas con escalones sucesivos de ceniza fina que se extienden hacia el norte y sureste.

La zona lacustre a una altura promedio de 2200 msnm, presenta debido a la intemperización de la roca madre, materiales de "deposito" de migajones volcánicos con textura areno-arcillosa o franca, es una extensa planicie que sólo se interrumpe por afloramientos volcánicos aislados, los cuales subdividen la región en subcuencas.

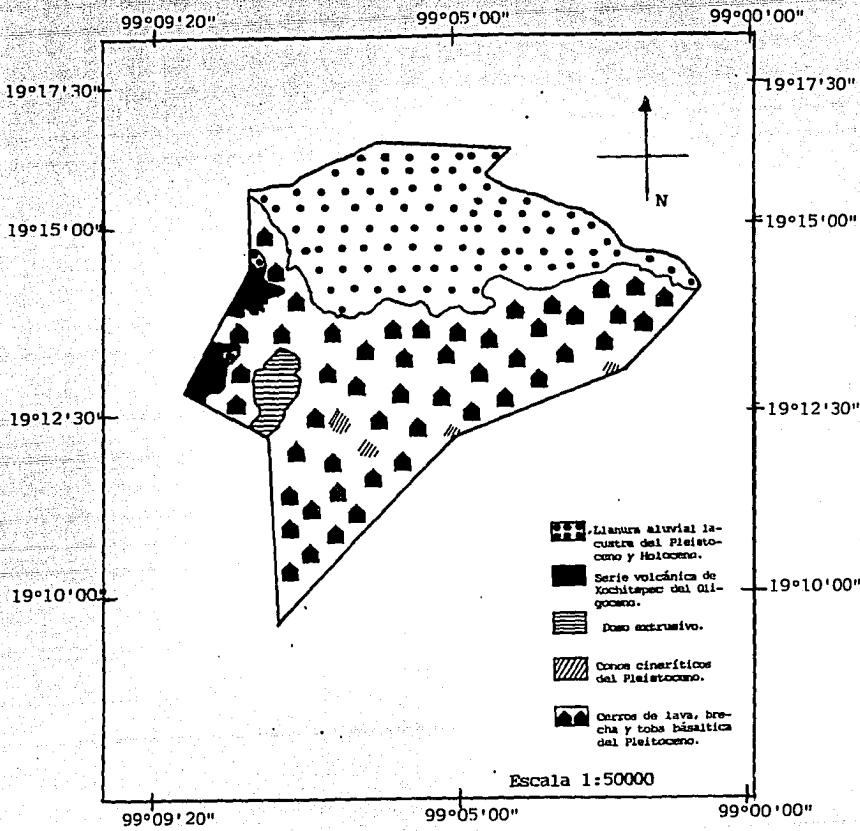


FIGURA 2. Geología de la zona de estudio Mendoza, (1961).

Los lagos del valle de México se formaron durante la era Cuaternaria, muy probablemente durante el período Champlain o Diluvial, el cual a causa de los deshielos propició terribles inundaciones. Las aguas se acumularon en muchas depresiones terrestres y formaron extensos y numerosos lagos, los cuales con sus sedimentos llenaron las desigualdades del terreno, hasta que concretándose a espacios limitados, dejaron descubiertas sus riberas (Mooser, 1933).

Orográficamente se distinguen 3 zonas: 1) la media boreal o del Ajusco, 2) la media oeste o de Tlalpan y 3) la del centro o lacustre de la Noria o Moyotepec, (citado por Fernández, 1933).

VI.3 Hidrología.

Uno de los sistemas más afectados por la actividad del hombre es el referente a lo que es hoy del Valle de México. Es cual posee una extensión de 9600 km². Es una cuenca endorreica, la cual en un principio tenía un solo lago, pero debido a posteriores alteraciones del nivel del lago producidas por un cambio en el régimen pluviométrico se originaron 5 lagos o subcuencas: al norte, Zumpango, Xaltocan y San Cristobal; al centro México-Texcoco y al sur Chalco-Xochimilco.

El lago de Xochimilco mide 3200 m de norte a sur y 9600 m de este a oeste, su profundidad es variable y va de 1 a 10m. La Delegación aunque no tiene corrientes de agua de gran importancia, sí presenta una importancia hidrológica, por las innumerables zanjas y canales permanentes que limitan las chinampas y sirven de comunicación entre las mismas. En esta zona hay 9 canales y 7 lagunas importantes. Los canales son: Cuemanco, Apatlaco, Tlicuili, Nacional, Tezhuilo, Apampilco, Japón, La Noria, Amelaco y Atlitic. Las lagunas son: El Toro, La Virgen, Tiliac, Tlicuili, Tezhuilotl, Caltongo y Xaltocan (Escobedo, 1987).

Los principales afluentes son: el canal Nacional que acarrea las aguas residuales de la Ciudad de México, incluye agua del río Churubusco y de la planta tratadora del Cerro de la Estrella por el Canal de Garay, así como por ríos temporales que descienden de las montañas cercanas y por aportes pluviales y agua de drenaje urbano de la zona.

Los manantiales más importantes de agua potable son: San Luis, Santa Cruz, Nativitas y la Noria. El agua de éstos manantiales está entubada y abastece a la Ciudad de México.

El agua de los canales se utiliza para el riego de las tierras de cultivo, sirve a la navegación de embarcaciones y constituye un refugio importante para la fauna silvestre acuática de la zona.

VI.4 Clima.

Las dos estaciones más cercanas al lugar de estudio son: Xochimilco y Moyoguarda; Xochimilco posee una precipitación media anual 1200 mm y una temperatura media anual de 15.9 C°, con un cociente de precipitación y temperatura mayor de 55.0, lo que indica la alta precipitación que existe en el lugar; la fórmula climática correspondiente es la C(w₂) (w)b(i'), templado subhúmedo con lluvias en verano. La estación Moyoguarda al norte de la anterior presenta una precipitación media anual de 620.4 mm y una temperatura media anual de 15.1, con un cociente de precipitación y temperatura menor de 43.2 y una fórmula climática C(w₀) (w)b(i'), el más seco de los templados subhúmedos (García, 1981) figura 3.

En los diagramas ombrotérmicos de las dos estaciones se presenta un déficit hídrico de 6 meses: noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, con altos niveles de precipitación en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

Las dos estaciones presentan una temperatura media anual muy parecida, sin embargo en lo que respecta a la precipitación media anual, Xochimilco presenta casi el doble (1200 mm), que la estación Moyoguarda (620.4 mm) esto debido a la situación orográfica en la cual se encuentra cada una de ellas.

La precipitación pluvial es de tipo orográfico-convectivo, las principales fuentes de humedad provienen del centro de alta presión Bermudas-Azores que cruzan la Sierra Madre Oriental y se precipitan en el Valle de México en dirección noreste-sureste. (citado por Fernández, *op cit*).

Xochimilco se encuentra entre las siguientes isotermas:

- 1) Al norte 17° y 15°
- 2) Al centro 15° y 13°
- 3) Al sur 13° y 11° o entre 11° y 9°, figura 4.

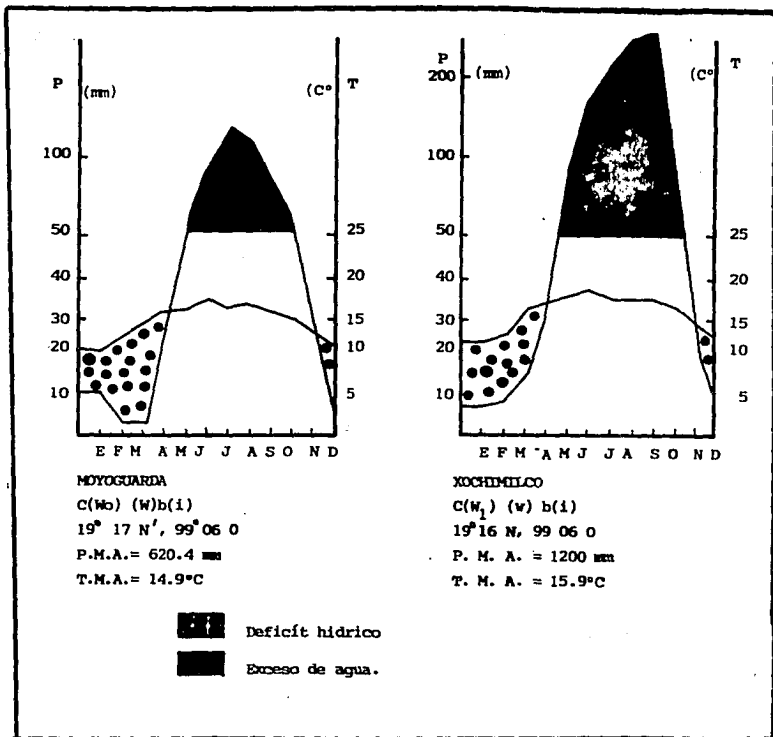


FIGURA 3. Diagramas ombrotérmicos de las dos estaciones más importantes en Xochimilco (García 198).

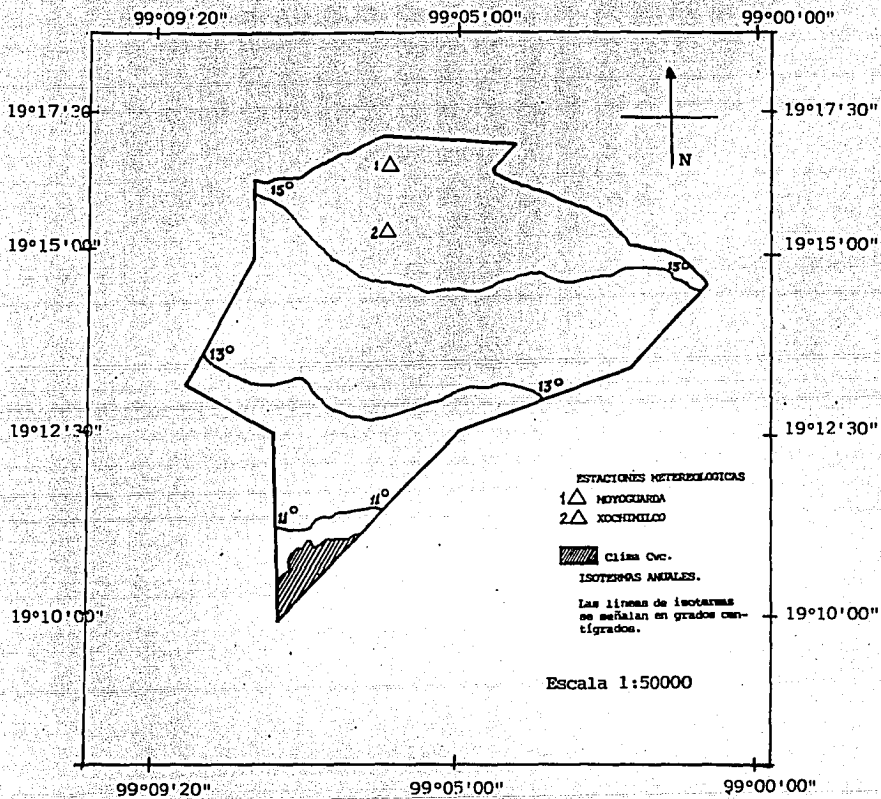


FIGURA 4. Localización de las estaciones meteorológicas más importantes de la zona (Mendoza, 1961).

VI.5 Vegetación.

Al sur de la Delegación en donde existen las partes más altas encontramos una vegetación de bosque mixto de: pinos (*Pinus* sp.), cedros (*Cupressus* sp.), ahuehuetes (*Taxodium* sp.), madroños (*Arbutus* sp.), ailes y tepozanes (*Alnus* sp. y *Buddleia* sp.); en las partes un poco más bajas (lomeríos) encontramos capulines (*Prunus capuli*), pirules (*Schinus molle*), tejocotes (*Crataegus mexicana*), aguacate (*Persea americana*), duraznos (*Prunus persica*), membrillos (*Cydonia oblonga*) y cítricos (*Citrus* sp.) (Mendoza, 1961).

En la llanura lacustre se encuentran ahuejotes (*Salix bomplandiana*) cuyo nombre significa "viejo erguido del agua", y que sirven para lijar las chinampas. Novelo y Gallegos 1988 presentan un trabajo en el cual dividen el sistema de chinampas en 4 ambientes ecológicos que son: a) canales principales o acalotes, b) canales entre chinampas o aplanques, c) cienegas o pantanos, d) lagunas; en la que describen las siguientes especies vegetales.

a) Canales principales o acalotes: La vegetación acuática en éstos canales es fundamentalmente de hidrófitas libremente flotadoras, entre las especies que podemos encontrar durante la época cálida y lluviosa del año, tenemos: *Eichhornia crassipes* (lirio acuático), *Spirodela polyrrhiza*, *Wolffia columbiana*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *H. verticillata* y *Lilaeopsis schaffneriana*. Hacia las partes más secas de estos taludes se encuentran; *Ambrosia cumanensis*, *Cynodon dactylon*, *Chenopodium fremonti*, *Ch. mexicanum*, *Hordeum jubatum*, *Plantago mayor*, *Polygonum lapathifolium*, *P. persicarioides*, *Rumex crispus*, *R. obtusifolius*; debido al intenso dragado muchas de éstas especies no se encuentran durante la mayoría del año, sin embargo existen algunas especies enraizadas las cuales se desarrollan sobre un sustrato pedregoso lo que facilita su crecimiento durante todo el año como: *Ceratophyllum demersum*, *C. muricatum*, *Nymphaea mexicana* y *Potamogeton pectinatus*.

b) Canales entre chinampas o aplanques: Aquí encontramos de igual, manera, hidrófitas libremente flotadoras como son: *Eichhornia crassipes*, *Hydromystris laevigata*, *Lemna gibba* y *Wolffia columbiana*; en los bordes de los canales se establecen hidrófitas enraizadas emergentes como son: *Benula erecta*, *Bidens aurea*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *H. verticillata*, *Jaeqenia bellidiflora*, *Lilaeopsis schaffneriana*, *Polygonum amphibium*, *P. lapathifolium*, *P. persicarioides*, *Scirpus americanus*.

c) Ciénega o pantano: Las especies asociadas a este ambiente son *Nymphaea mexicana* única en su género, así como algunas hidrófitas emergentes como son: *Eleocharis macrostachya*, *Lilaeopsis schaffneriana* y *Scirpus americanus*; como especies asociadas se encuentran: *Benula erecta*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *H. verticillata*, *Polygonum amphibium*, *P. lapathifolium*, *P. persicarioides*; entre las hidrófitas libremente flotadoras se encuentran: *Hydromystris laevigata*, *Lemna gibba* y *Wolffia columbiana*; estas especies llegan a extenderse dentro de los canales elevando el fondo del mismo mediante la acumulación de materia orgánica.

Por último existen especies son tolerantes a los cambios drásticos de humedad en el suelo como: *Hordeum jubatum*, *Paspalum humboldtianum*, *Polygonum acre*, *P. persicarioides*, *Rumex crispus* y *R. obtusifolius*.

d) Lagunas: en este sistema se encuentran muy pocas especies, debido a que éstos ambientes están sometidos a intensos dragados, se mencionan algunas especies enraizadas sumergidas como *Potamogeton pectinatus* y *Ceratophyllum demersum*.

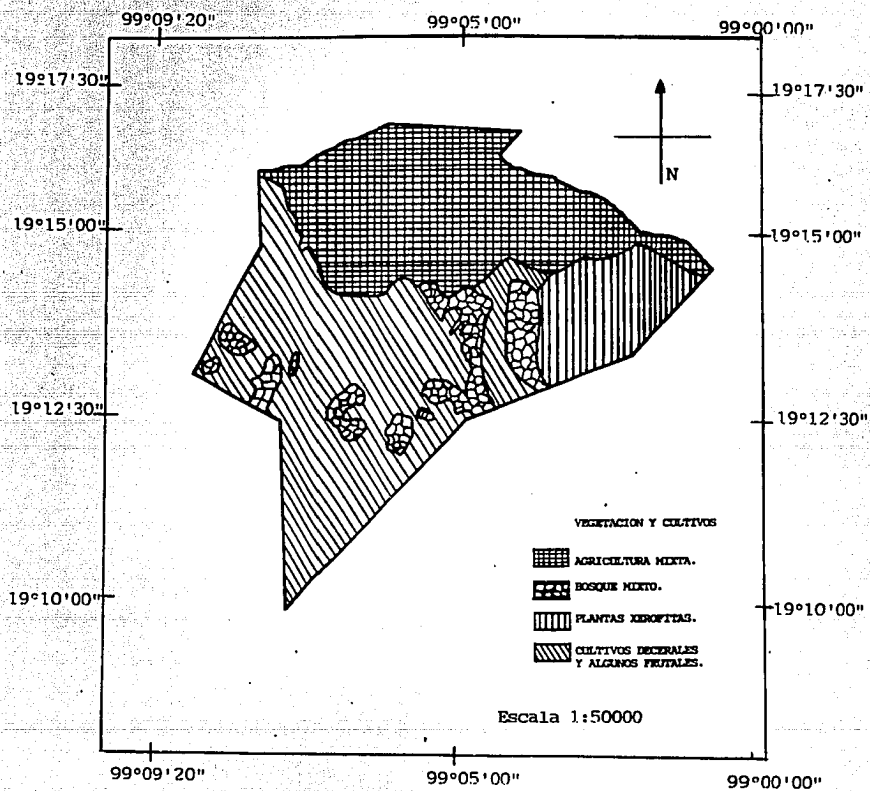


FIGURA 5. Vegetación y cultivos. El área de agricultura mixta se refiere al área de chinampast Mendoza, 1961).

La planta acuática más importante dentro del sistema de chinampas es el huachinango o "lirio acuático" (*Eichhornia crassipes*).

Aunque esta planta representa graves problemas en los lugares en donde se desarrolla (en especial por bloquear la navegación), los chinamperos la utilizan como una fuente de abono verde para sus chinampas; Quiroz, *et al* (1982) la sugieren debido por su alto contenido de nitrógeno y fósforo y además indican que su uso mejora la estructura del suelo, evita el contacto de las raíces con las sales, mantiene la humedad y reduce la incidencia de malezas en los cultivos.

Entre las plantas que se encuentran en las chinampas abandonadas y asociadas a un sistema agrícola tenemos: el zacate robusto (*Echinochloa crusgavonia*), zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*), zacate criollo (*Hordeum adscendens*) y el carrizo (*Cyperium sagittarium*), estas especies sirven de forraje al ganado (citado por Reyes, *op cit*), entre las plantas asociadas a los cultivos tenemos: *Stellaria media*, *Conyza bonariensis*, *Eriogon longipes*, *Taraxacum officinale*, *Sonchus oleraceus*, *Hordeum jubatum*, *Poa annua*, *Polygonum intermedium*, *Plantago maior* y *Rumex crispus*; además de algunas halófitas como: *Heliotropium curassavicum*, *Suaeda diffusa* *Suaeda nigra* (romeritos) y *Distichlis spicata* (Novelo y Gallegos *op cit*) y (Sánchez, 1980).

VI.6 Suelos.

Los suelos de chinampa han sido estudiados por diversos investigadores, los correspondientes a la llanura lacustre, se han formado por factores alternos como son: el vulcanismo, el clima, la morfología, así como por la intervención directa del hombre, origen antrópico (Aguilera *et al*, 1987).

Esta llanura situada por debajo de los 2500 msnm, contiene materiales de depósito de origen aluvial lacustre y orgánico, Lugo (1984), Trejo (1984) y Escobedo (1987), han encontrado suelos con diversos colores que van desde el gris al negro, una densidad real y aparente bajas, textura franca y areno-arcillosa, un pH de 6.0 a más de 8.5, una C.I.C.T. alta, alto porcentaje de M.O. y ricos en nutrientes, así como un exceso de sales y sodio, planteando su recuperación.

El uso actual de los suelos de chinampa, se ha reducido notablemente, observándose un 70 % de abandono; esto se debe a los efectos de la contaminación por sales y sodio, y el uso de aguas de mala calidad (Fernández, *op cit*).

VII MATERIAL Y METODO.

VII.1 Campo.

Se realizó un reconocimiento previo a la zona de estudio para poder observar que chinampas tenían problemas de salinidad y sodicidad. Con base a esto se escogió una chinampa ubicada en el paraje Texhuilo con una extensión alrededor de 900 m², figura 6.

Muestreo.

La calicata se excavó en el centro de la chinampa hasta una profundidad de 1.5 m esto denota la profundidad de la capa freática, además se realizaron 4 pozos de fertilidad, cada uno se ubicó en las esquinas de la chinampa, hastalos 60 cm de profundidad.

En la calicata central la toma de las muestras fué cada 10 cm en lo concerniente a los pozos de fertilidad las muestras se tomaron cada 20 cm. Para el experimento en el invernadero, se colecto suelo de la capa arable (0-30 cm de profundidad), en forma diagonal por toda la superficie de la chinampa.

El muestreo del agua del canal Ticuili, se realizó durante la temporada de lluvias, en frascos de 1 litro de capacidad, a una profundidad de 30 a 50 cm.

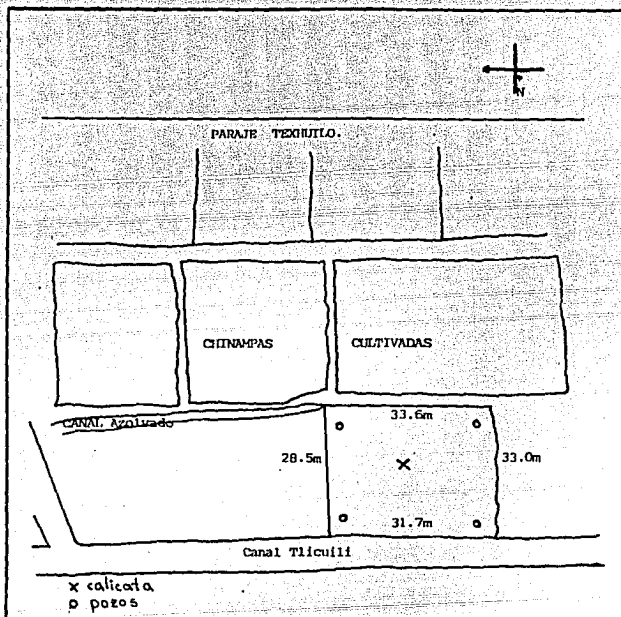


FIGURA 6. Localización de la chinampa de estudio, paraje Texhuilo Xochimilco D.F.

VII.2 De laboratorio.

A las muestras de suelo secas al aire se les tamizó con una malla de 2 mm, y se les determinaron los siguientes análisis físicos y químicos:

- a) Color en seco y en húmedo por comparación con las tablas de color de Munsell (Munsell, 1975).
- b) Densidad aparente por el método de la probeta, empleando un volumen de suelo de 10 cm^3 (Baver, 1956).
- c) Densidad real por el método del picnómetro (Baver, 1956).
- d) Porcentaje de espacio poroso por el cociente de la densidad aparente y la real.
- e) Textura por el método de hidrómetro de Bouyoucos (1961).
- f) pH se determinó con un potenciómetro Corning modelo 7, usando una relación suelo-agua y con una solución salina de KCL 1N pH 7 ambas en relación 1:5 y 1:10.
- g) Materia orgánica, por el método de Walkley y Black, modificado por Walkley (1947).
- h) Capacidad de intercambio catiónico total utilizando como saturante CaCl_2 1N pH 7, lavando con alcohol etílico al 96%, y sustituyendo con el NaCl 1N pH 7 (Jackson, 1982).
- i) Calcio y Magnesio con acetato de amonio 1N pH 7 y se titula con EDTA 0.02N (Jackson, 1982).
- j) Sodio y Potasio intercambiables con acetato de amonio, se determinaron con un espectrofotómetro de flama marca Corning 400 (Jackson, 1982).

Salinidad y sodicidad

- a) Pastas de saturación (Allison *et al.* op cit).
- b) Conductividad eléctrica usando un conductímetro PW 95 05 marca Philips (Allison *et al.* op cit).
- c) pH con un potenciómetro Corning mod. 7.
- d) Carbonatos y bicarbonatos por el método volumétrico (Reitemeier, 1943).
- e) Sulfatos por gravimetría, en forma de sulfato de bario (Jackson, 1982).
- f) Sodio y Potasio soluble con un espectrofotómetro de flama marca Corning modelo 400.
- g) Cloruros por el método de Mohr (Reitemeier, 1943).
- h) Calcio y Magnesio soluble por el método del EDTA. (Jackson, 1982).
- i) Relación de adsorción de sodio (RAS) (Allison *et al.* op cit).
- j) Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) (Allison *et al.* op cit).

Análisis de Agua.

- a) Conductividad eléctrica usando un conductímetro PW 95 05 marca Philips.
- b) pH con un potenciómetro Corning mod. 7.
- c) Carbonatos y bicarbonatos por el método volumétrico (Reitemeier, *op cit*).
- d) Sulfatos por gravimetría, en forma de sulfato de bario (Jackson, 1982).
- e) Sodio y Potasio con un espectrofotómetro de flama marca Corning modelo 400.
- f) Cloruros por el método de Mohr (Reitemeier, *op cit*).
- g) Calcio y Magnesio, por el método del EDTA. (Jackson, 1982).
- h) Relación de adsorción de sodio (RAS) (Allison *et al*, *op cit*).
- i) Porcentaje de sodio posible (Palacios y Aceves, 1970).
- j) Carbonato de sodio residual (Palacios y Aceves, *op cit*).
- k) Salinidad potencial (Palacios y Aceves, *op cit*).
- l) Salinidad efectiva (Palacios y Aceves, *op cit*).

VII.3 De Invernadero.

El suelo colectado para el experimento de se secó al aire y se tamizó con una malla de 5 mm. El diseño experimental fué bifactorial combinatorio con 25 tratamientos distribuidos al azar y 4 repeticiones; el experimento se montó en invernadero de la Facultad de Ciencias UNAM, cuadro 3.

Por cada unidad experimental (maceta) se pesaron 2 Kgs. de suelo, el cálculo de las dosis experimentales de H_2SO_4 y de lámina de lavado está hecho en base a un previo ensayo en el laboratorio y al trabajo de Castillo (inédito).

El mejorador químico se aplicó en solución al suelo de la maceta, incorporándolo perfectamente, y se mantuvo húmedo a capacidad de campo durante 21 días, al otro día se aplicaron las dosis de lavado. Esto se realizó para cada uno de los 25 tratamientos.

Para determinar el efecto de cada uno de los tratamientos se utilizó como bioindicador lechuga (*Lactuca sativa* cv. white boston), la cual fué sembrada en un almácigo, utilizando las técnicas del lugar, el espacio para su construcción fué proporcionado por la Delegación Xochimilco, en el vivero "La Draga". Para hacer el almácigo se construyó una cama de 2 m² de superficie, por 10 cm de profundidad, sobre la cual se aplicó una capa de estiércol seco y tamizado; a continuación se agregó el agua-lodo extraído del fondo de un canal cercano al vivero, este se dejó escurrir durante 24 horas y se procedió a cortar el almácigo en cubos de 3 cm por lado (chapines); a cada uno de los cuales se les pusieron 3 semillas, finalmente se cubrieron con estiércol seco y se protegieron de las inclemencias del tiempo con un plástico.

El trasplante de las plántulas se realizó después de transcurridos 21 días, colocándose una sola planta por maceta, manteniéndose en éstas durante 69 días, para completar el ciclo de 90, durante todo el experimento el cultivo se regó con agua del canal adyacente a la chinampa de estudio.

Las plantas cosechadas se lavaron con una solución jabonosa al 0.1% y agua destilada; y se secaron en un horno a 65°C durante 48 horas, posteriormente se pesaron, los datos obtenidos se analizaron estadísticamente, mediante un Análisis de Varianza (ANDEVA) y un Análisis múltiple de Tukey, entre dosis y tratamientos.

Después de la cosecha el suelo de cada uno de los tratamientos fué analizado, con base a sus condiciones físico-químicas, para lo cual se procedió a la homogeneización de las 4 repeticiones, y la toma de una muestra.

CUADRO 3 Tratamientos utilizados en el diseño experimental, a nivel invernadero, sobre suelos de chinampa del paraje Texhuilo, Xochimilco D.F.

Lámina de lavado (cm)	b1 (0.0)	b2 (6.0)	b3 (12.0)	b4 (18.0)	b5 (24.0)
H ₂ SO ₄ (Kg/ha)					
a1 (0.0)	a1b1 (1)	a1b2 (2)	a1b3 (3)	a1b4 (4)	a1b5 (5)
a2 (7297.0)	a2b1 (6)	a2b2 (7)	a2b3 (8)	a2b4 (9)	a2b5 (10)
a3 (14594.0)	a3b1 (11)	a3b2 (12)	a3b3 (13)	a3b4 (14)	a3b5 (15)
a4 (21891.0)	a4b1 (16)	a4b2 (17)	a4b3 (18)	a4b4 (19)	a4b5 (20)
a5 (29188.0)	a5b1 (21)	a5b2 (22)	a5b3 (23)	a5b4 (24)	a5b5 (25)

VIII RESULTADOS.

1) Calicata central (0-150 cm).

Los resultados que se muestran en el cuadro número 4, indican que existen 5 colores en seco, 5Y 4/1 gris oscuro, 5Y 3/1 gris muy oscuro, 5Y 7/1 gris claro, 5Y 6/2 gris olivo, y 5Y 5/1 gris, en húmedo es negro se conserva el matiz 5Y, con algunas variaciones en el valor de 2.5 y 4.0 y en el croma de 1 a 2, es importante mencionar que esta variable está fuertemente influenciada por los altos niveles de materia orgánica presente en estos suelos.

La densidad aparente es muy baja, los valores van de 0.32 a 0.58 g/cm³, disminuyen con la profundidad, excepto en la capa de 120 a 130 cm. La densidad real tiene valores bajos que van de 1.01 a 2.16 g/cm³, aquí no existe un comportamiento específico de los resultados. Estos valores bajos dan altos porcentajes de porosidad, con valores de hasta 83.6 % debido a los altos niveles de materia orgánica y agregados.

Las texturas son variadas; de 0 a 40 cm de profundidad son migajones arcillosos, de 40 a 60 cm son francos, entre los 60 a 90 cm son arcillosos y de los 90 a 110 cm vuelven a ser francos, de 110 a 120 son arcillosos y de los 120 a 150 cm son migajones limosos. No existe un comportamiento específico en relación a los porcentajes de arcillas, limos y arenas a lo largo de la calicata.

El pH de la solución del suelo, tomado con agua destilada relación 1:5 comprende valores que van de 7.7 a 9.9, el pH "potencial" tomado con KCl 1N a pH neutro relación 1:5 tiene valores que van de 6.3 a 8.4, ambos valores disminuyen con la profundidad.

La materia orgánica comprende valores que van de 3.4 a 31.4 %, en relación con otros suelos agrícolas estos porcentajes son altos, lo cual se debe fundamentalmente a las características antrópicas de estos suelos.

La capacidad de intercambio catiónico total (CICT), presenta valores de 25.4 a 65.3 meq/100g este último valor en la capa de 0-10 cm, el comportamiento de los valores es una tendencia a la baja a medida que aumenta la profundidad. Es importante mencionar que los valores de capacidad de intercambio catiónico más altos se obtuvieron donde el porcentaje de materia orgánica del suelo es de igual forma alto, así se observa en la figura 7.

En lo concerniente a los cationes intercambiables el Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ presentan un comportamiento muy parecido, los valores van de 18.48 a 59.40 meq/100gr y de 35.11 a 61.44 meq/100gr respectivamente, ambos disminuyen sus concentraciones a medida que aumenta la profundidad, los cationes monovalentes Na⁺ y K⁺, tienen valores de 11.20 a 58.20 meq/100g para el primero disminuyen con la profundidad, el valor más alto se observa en la capa de 0 a 10 cm; los valores de potasio son por lo general bajos y van de 0.41 a 2.61 meq/100g.

El análisis del extracto de la pasta de saturación muestra valores de conductividad eléctrica de 20.5 mmhos/cm a 25°C en la capa de 0-10 cm y disminuye hasta 0.9 mmhos/cm a 25°C en la capa de 140-150 cm, lo cual indica el decremento en la concentración de las sales a medida que aumenta la profundidad. El pH del extracto es mayor de 8.9 en las capas de 0-30 cm y disminuye de igual forma con la profundidad; estos valores indican la presencia de elevadas concentraciones de bicarbonatos de sodio en el suelo.

De los cationes solubles el sodio es el más abundante dentro de la calicata, especialmente en la superficie donde alcanza un valor de 353.30 meq/l, los cationes divalentes tienen bajas concentraciones para el calcio van de 1.94 a 11.64 meq/l y para el magnesio van de 3.8 a 21.3 meq/l en ambos el valor más alto se obtuvo en la capa de 0 a 10 cm. El potasio tiene valores muy bajos que van de 0.05 a 1.58 meq/l.

En relación a los aniones solubles predominan los cloruros y sulfatos con valores de 16.0 a 194.0 meq/l y de 6.8 a 168.7 meq/l respectivamente, ambos alcanzan sus valores más altos en la capa de 0 a 10 cm; los bicarbonatos comprenden valores 0.08 a 50.0 meq/l, este último valor en la capa de 0 a 10 cm, aún cuando los análisis de rutina indican la ausencia de carbonatos por el método de Reitemeier (op cit), en el suelo, el pH alcalino del mismo indica su presencia aún en cantidades muy incipientes (Kamphorst, op cit).

El PSI es mayor del 15%, especialmente en la superficie, la conductividad es mayor a 4 mmhos/cm a 25°C y el pH es mayor de 8.5, todo esto indica que el suelo tiene características de diagnóstico, que lo colocan como salino-sódico, (Allison et al. op cit).

Los valores de los 4 pozos de fertilidad analizados son muy parecidos a los de la calicata central, lo cual corrobora esta observación, cuadros 5, 6, 7 y 8.

Cuadro 4. Resultados de los análisis físicos y químicos de la calicata central de la zona de estudio, paraje Texhuilo, Xochimilco D. F.

PROFUNDIDAD (cm)	COLOR		TEXTURA		DENSIDAD Aparente	POR. % Real	PH		M.O. %	C %	CATIONES DE CAMBIO				C.I.C.P.S.I. %	C.E. micro/cm	EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACION													
	Saco	Humedo	Arena	Liana Arcilla.			H ₂ O	NCL			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺			pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻					
							g/cm ³	1.5 1.10			1.5 1.10	mg/100g					mg/l													
0-10	Sy 4/1	Sy 2.5/1	26.1	37.9	36.0	0.57	1.62	64.8	9.3	9.5	8.4	8.6	11.7	6.92	59.40	61.44	58.20	1.10	65.3	89.50	20.5	9.2	11.64	21.3	353.30	1.58	194.0	20.0	168.7	-
	gris osc.	negro	miga yón arcilloso																											
10-20	Sy 4/1	Sy 2.5/1	27.2	34.0	38.8	0.55	1.84	70.1	9.9	9.9	8.6	8.9	11.7	6.92	52.80	61.44	49.80	1.00	61.4	81.10	6.8	9.0	5.82	21.3	98.20	0.46	60.0	40.0	42.8	-
	gris osc.	negro	miga yón arcilloso																											
20-30	Sy 4/1	Sy 2.5/1	30.8	36.0	33.2	0.55	1.84	70.1	9.9	9.8	8.7	9.2	13.3	7.85	51.48	51.17	38.10	0.70	51.2	74.20	5.1	8.9	7.76	9.7	73.50	0.48	46.0	30.0	46.2	-
	gris osc.	negro	miga yón arcilloso																											
30-40	Sy 4/1	Sy 2.5/1	33.2	37.6	29.2	0.54	1.84	72.1	9.8	9.5	8.8	9.3	13.3	7.85	51.48	50.16	36.00	0.46	50.2	71.71	4.7	7.1	9.70	9.7	51.70	0.37	44.0	30.0	29.9	-
	gris osc.	negro	miga yón arcilloso																											
40-50	Sy 3/1	Sy 2.5/1	36.8	38.0	25.2	0.54	1.80	70.0	9.7	9.6	8.7	9.4	16.2	9.55	59.40	55.17	31.60	0.41	55.2	57.08	3.1	7.5	9.70	7.7	38.20	0.28	30.0	30.0	37.6	-
	gris n. osc.	negro	franco																											
50-60	Sy 3/1	Sy 2.5/1	35.1	39.0	25.9	0.56	1.91	70.6	9.4	9.2	8.5	8.4	18.3	10.77	54.12	41.38	19.30	0.41	41.4	46.60	4.3	6.6	5.80	9.7	46.60	0.28	24.0	30.0	37.6	-
	gris n. osc.	negro	franco																											
60-70	Sy 5/1	Sy 2.5/1	26.8	25.0	47.3	0.33	1.74	81.0	8.9	8.7	8.5	8.0	15.3	9.03	39.60	37.50	19.30	0.41	32.6	59.20	2.5	7.2	3.60	5.8	28.70	0.32	18.0	20.0	17.1	-
	gris claro	negro	arcilla																											
70-80	Sy 7/1	Sy 4/2	31.0	9.4	59.6	0.27	1.65	83.6	9.3	9.1	8.2	8.1	7.5	4.40	27.72	28.84	16.60	0.41	28.8	57.95	1.9	6.5	5.80	7.7	30.40	0.28	18.0	20.0	17.1	-
	gris claro	gris olivo	arcilla																											
80-90	Sy 7/1	Sy 3/2	27.2	17.2	55.6	0.24	1.45	83.4	8.6	8.4	7.6	7.5	13.2	7.85	31.68	32.60	15.10	0.52	32.6	46.41	1.9	7.0	3.88	5.8	21.59	0.27	18.0	20.0	24.8	-
	gris claro	gris olivo	arcilla																											
90-100	Sy 4/1	Sy 2.5/1	32.8	44.8	23.2	0.38	1.57	75.2	7.7	7.6	7.7	7.0	28.6	16.84	48.84	50.16	17.40	0.78	50.2	34.80	2.2	8.0	1.94	5.8	17.34	0.25	22.0	20.0	38.5	-
	gris osc.	negro	franco																											
100-110	Sy 3/1	Sy 2.5/1	43.0	31.8	75.2	0.39	1.57	76.6	7.6	7.4	6.3	6.9	31.4	18.53	42.24	52.66	15.10	0.61	48.9	30.94	1.9	6.4	1.94	3.8	15.80	0.18	22.0	20.0	17.4	-
	gris osc.	negro	franco																											
110-120	Sy 5/1	Sy 2.5/1	23.2	32.0	44.8	0.25	1.01	65.3	8.0	7.8	6.7	7.2	13.1	7.70	22.44	35.11	11.20	0.22	51.4	21.80	1.7	6.0	1.94	3.8	14.35	0.12	16.0	20.0	11.0	-
	gris	negro	arcilla																											
120-130	Sy 7/1	Sy 4/2	24.8	57.6	17.6	0.58	2.16	73.1	8.8	8.7	7.4	7.5	3.4	1.99	18.48	38.87	18.00	0.87	29.5	28.80	0.7	8.3	9.70	3.8	14.42	0.10	22.0	20.0	8.5	-
	gris claro	gris olivo	miga yón limoso																											
130-140	Sy 4/1	Sy 2.5/1	32.7	50.0	16.8	0.41	1.79	77.0	7.8	7.6	6.8	7.1	26.8	14.60	35.64	45.14	16.00	0.98	25.4	62.50	0.9	7.8	7.70	9.7	9.80	0.08	22.0	20.0	11.1	-
	gris osc.	negro	miga yón limoso																											
140-150	Sy 6/2	Sy 2.5/1	28.8	45.8	15.4	0.32	1.63	80.3	8.1	7.9	7.1	7.4	19.1	11.27	25.08	37.62	19.80	0.82	26.8	73.90	0.9	7.9	5.80	13.5	7.14	0.05	18.0	20.0	6.8	-
	gris olivo	negro	miga yón limoso																											

* Porosidad

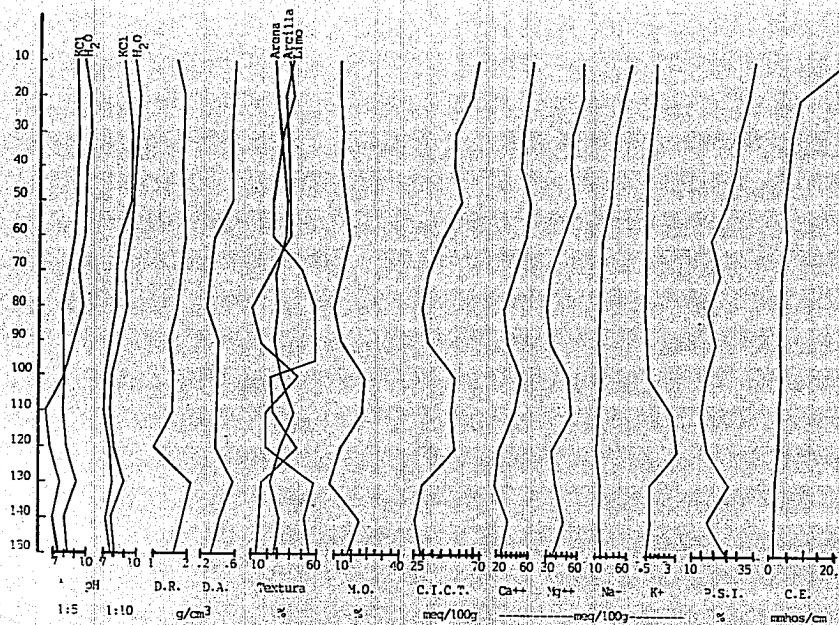


Figura 7. Resultados de los análisis físicos y químicos de la calicata central, paraje Texhuilo, Xochimilco D. F.

Cuadro 5. Resultados de los análisis físicos y químicos del pozo de fertilidad # 1.

Prof. (cm)	Color		Textura			Densidad		Por.*	pH		M.O.	C	N	C/N	Cationes de Cambio				CICP	PSI
	Seco	Húmedo	Arena	Limo	Arcilla	Aparente	Real		H ₂ O	KCl					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺		
			----- % -----			----- g/cm ³ -----			1:5	1:5	%	%	%	----- meq/100g -----				%		
0-20	10YR5/1	10YR2/1	28.0	39.2	32.8	1.65	0.53	68.0	9.3	8.5	13.45	7.8	0.72	10.83	47.25	34.0	26.0	0.28	63.37	41.02
	gris	negro	migajón arcilloso																	
20-40	10YR5/1	10YR2/1	30.0	40.4	29.6	1.65	0.59	64.2	9.5	8.5	13.80	8.0	0.45	17.77	38.80	37.0	13.0	0.17	78.50	16.56
	gris	negro	migajón arcilloso																	
40-60	10YR5/1	10YR2/1	38.0	34.4	27.6	1.64	0.54	67.0	9.4	8.7	15.73	9.1	0.47	19.40	36.75	39.8	8.7	0.10	70.00	12.42
	gris	negro	migajón arcilloso																	

* Porosidad

Extracto de la pasta de saturación.

Prof. (cm)	C. E. mmhos/cm	pH	Cationes				Aniones				S. T.*
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	
			----- meq/l -----				----- meq/l -----				
0-20	11.5	9.0	8.0	6.8	154.90	17.9	57.0	25.0	85.53	---	6.0
20-40	3.2	9.4	1.6	1.4	69.56	11.5	25.0	21.0	28.09	---	2.4
40-60	2.0	9.2	8.0	2.6	71.73	15.7	17.0	24.0	47.03	---	2.8

* Sólidos totales

Cuadro 6. Resultados de los análisis físicos y químicos del pozo de fertilidad # 2.

Prof. (cm)	Color		Textura			Densidad		Por.* %	pH		M.O. %	C %	N %	C/N	Cationes de cambio				CICT %	PSI %
	Seco	Húmedo	Arena	Limo	Arcilla	Aparente	Real		H ₂ O	KCl					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺		
0-20	10YR5/1 gris	10YR2/1 negro	30.0	48.4	21.6	0.54	1.57	65.6	9.0	8.3	11.15	6.5	0.55	11.74	37.00	36.0	39.1	0.53	63.37	61.17
20-40	10YR5/1 gris	10YR2/1 negro	28.8	35.2	36.0	0.54	1.75	69.1	9.1	8.3	12.90	7.5	0.43	17.39	36.00	29.0	21.7	0.65	63.37	34.24
40-60	10YR5/1 gris	10YR2/1 negro	30.8	35.2	34.0	0.51	1.80	71.6	8.8	8.2	11.70	6.8	0.49	13.84	35.70	23.0	13.0	0.71	68.25	19.10

*Porosidad

Extracto de la pasta de saturación.

Prof. (cm)	C. E. mmhos/cm	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	S. T.*
			-----meq/l-----				-----meq/l-----				
0-20	16.7	8.5	6.2	2.9	202.10	30.76	75.0	11.0	135.78	---	9.1
20-40	7.0	8.9	8.0	2.8	80.43	33.30	26.0	13.0	65.53	---	3.5
40-60	4.2	8.6	4.0	4.0	47.82	23.07	18.0	12.0	38.89	---	2.2

* Sólidos totales.

Cuadro 7. Resultados de los análisis físicos y químicos del pozo de fertilidad # 3.

Prof. (cm)	Color		Textura			Densidad		Por.* %	pH		M.O. %	C %	N %	C/N	Cationes de cambio				CICT	PSI %	
	Seco	Húmedo	Arena	Limo	Arcilla	Aparente	Real		H ₂ O	KCl					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺			meq/100g
0-20	10YR5/1	10YR2/1	32.0	32.4	35.6	0.52	1.64	68.3	9.5	8.6	14.55	8.4	0.63	13.38	52.30	38.9	30.4	0.53	73.12	41.61	
	gris	negro	migajón arcilloso																		
20-40	10YR5/1	10YR2/1	22.8	41.6	35.6	0.51	1.87	72.7	9.5	8.3	14.01	8.1	0.67	12.20	47.20	21.0	23.0	0.25	63.37	37.70	
	gris	negro	migajón arcilloso																		
40-60	10YR5/1	10YR2/1	32.0	34.4	33.6	0.52	1.87	72.2	9.0	8.6	13.45	8.6	0.54	14.44	44.00	28.0	15.2	0.65	68.25	22.27	
	gris	negro	migajón arcilloso																		

*Porosidad.

Extracto de la pasta de saturación.

Prof. (cm)	C. E. mmhos/cm	pH	Cationes				Aniones				S.T.*
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	
0-20	13.0	9.1	22.0	7.6	202.10	10.2	63.0	17.0	140.86	---	7.2
20-40	5.2	9.2	22.0	8.8	89.13	15.7	41.0	18.0	56.63	---	4.0
40-60	4.0	9.0	4.0	17.2	47.82	15.7	18.0	11.0	42.72	---	2.0

* Sólidos totales

Cuadro 8. Resultados de los análisis físicos y químicos del pozo de fertilidad # 4.

Prof.	Color		Textura			Densidad		Por.*	pH		M.O.	C	N	C/N	Cationes de cambio				CICT	PSI
	Seco	Húmedo	Arena	Limo	Arcilla	Aparente	Real		H ₂ O	KCl					Ca++	Mg++	Na+	K+		
			-----%			-----g/cm ³ -----		%		1:5	1:5	%		%		%				
0-20	10YR5/1	10YR2/1	30.8	35.2	34.0	0.53	1.58	66.5	9.6	8.7	15.29	8.85	0.64	13.82	40.00	40.0	30.4	0.38	63.37	48.01
	gris	negro	migajón arcilloso																	
20-40	10YR5/1	10YR2/1	32.0	42.0	26.0	0.53	1.30	59.2	9.2	8.5	19.97	11.78	0.47	25.06	32.00	31.0	26.0	0.28	68.25	38.09
	gris	negro	migajón arcilloso																	
40-60	10YR5/1	10YR2/1	40.0	32.0	28.0	0.54	1.30	58.5	8.7	8.4	14.10	8.17	0.56	14.60	47.00	45.2	23.9	0.20	82.87	28.84
	gris	negro	migajón arcilloso																	

*Porosidad.

Extracto de la pasta de saturación.

Prof.	C.E.	pH	Ca++	Mg++	Na+	K+	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	S.T.*
0-20	10.0	9.2	10.0	30.0	169.56	32.05	50.0	20.0	150.61	---	6.1
20-40	8.2	8.9	20.0	16.0	102.17	53.84	30.0	22.0	120.01	---	4.2
40-60	6.7	8.7	34.8	10.0	85.86	11.53	36.0	13.0	73.19	---	3.0

* Sólidos totales.

2) Capa arable (0-30 cm)

Los análisis de suelo para el experimento en el invernadero indican un color del suelo gris 10YR 5/1 en seco y negro 2.5 YR 2.5/0 en húmedo.

La densidad aparente tiene un valor de 0.61 g/cm³ y una densidad real de 2.16 g/cm³, por lo que el porcentaje de porosidad es del 71.0%.

La clase textural indica un migajón arcillo-arenoso, donde las arcillas predominan sobre las otras partículas.

El porcentaje de materia orgánica es alto, 20.4 %, como ya se mencionó anteriormente esto se debe al origen antrópico de estos suelos.

La capacidad de intercambio catiónico total tiene un valor de 63.75 meq/100g, menor a la suma total de los cationes intercambiables.

Los cationes intercambiables tienen los siguientes valores. 64.68, 1.17, 39.13 y 1.79 meq/l para Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺ respectivamente.

El análisis del extracto de la pasta de saturación tiene una conductividad eléctrica de 11.5 mmhos/cm a 25°C, el pH es de 8.7, las concentraciones de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ solubles son 24.31 y 52.00 meq/l, las de Na⁺ y K⁺ de 160.70 y 2.09 meq/l respectivamente, los aniones predominantes son los sulfatos con 105.7 meq/l, le siguen los cloruros con 17.13 meq/l, y por último los bicarbonatos con 14.0 meq/l, cuadro 9.

El PSI es mayor al 15% por lo que la muestra tomada de una chinampa del paraje Texhuilo Xochimilco, D.F., se clasifica, como un suelo salino-sódico (Allison *et al.* op cit).

Cuadro 9. Resultados de las determinaciones físicas y químicas de la muestra de suelo (capa arable) de la chinampa de estudio.

Prof. (cm)	Color		Textura			Densidad		Poros		pH		H ₂ O		C		CATIONES DE CAMBIO				C.I.C.T. (meq/100gr)	P.S.I.
	Seco	Húmedo	ARENA	LIMO	ARCILLA	Aparente	Real	%	H ₂ O	KCl	%	%	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	(meq/100gr)				
			(%)			(gr/gr)			1:5	1:10	1:5	1:10									
0-30	10Y/R	2.5YR	60.0	22.0	18.0	0.51	2.16	71.8	9.4	9.5	8.6	8.7	20.4	11.8	64.68	1.17	39.13	1.79	53.75	61.38	
	gris	negro	Migajon	acillo	arenoso																

*Porosidad

Extracto de la pasta de saturación.

Prof. (cm)	C.E. (mmhos/cm)	pH	CATIONES SOLUBLES				ANIONES		SOLUBLES		R.A.S.
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	
			(meq/l)								
0-30	11.5	8.7	24.31	52.00	160.70	2.09	14.0	—	17.13	105.7	6.84

3) Agua para riego y lavado.

Los índices calculados para el agua de riego y lavado indican, que esta debe clasificarse como C_3S_1 , la cual corresponde a un alto riesgo de salinidad y un bajo riesgo de sodicidad, por lo que no es recomendable para el riego (Allison et al. op cit).

Los cationes predominantes son el Na^+ con un valor de 15.0 meq/l y el Mg^{++} con 4.25 meq/l, los aniones tienen valores muy parecidos, predominan los bicarbonatos con un valor de 6.5 meq/l y los sulfatos con 4.69 meq/l cuadro 10.

CUADRO 10 Resultados del análisis químico del agua de canal empleadã para riego y lavado de sales en el experimento de invernadero.

C.E.*	CATIONES					ANIONES				
	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	SO ₄ ⁼	RAS
						(meq/l)				
975	9.0	1.95	4.25	15.0	2.2	4.0	4.0	6.5	4.69	8.5

*micromhos/cm a 25°C

CUADRO 11 Resultados de los índices calculados del agua empleada para riego y lavado de sales, en el suelo utilizado para el experimento de invernadero.

INDICE	VALOR	CLASE
Conductividad eléctrica (micromhos/cm 25°C)	975.0	Alto riesgo
Salinidad efectiva (SE) (meq/l)	17.2	No recomendable
Salinidad potencial (meq/l)	6.4	Condicionada de (3 a 15)
Carbonato de sodio residual (meq/l)	4.3	No recomendable para el riego
Cloruros (meq/l)	4.0	Condicionada depende del cultivo
Relación de absorción sodio	8.5	Bajo problema de sodio
Nomenclatura de clasificación:		
	C_3S_1	

(Palacios y Aceves, 1970)

4) Efecto residual de los mejoradores.

Los resultados de los análisis físicos y químicos del suelo después de la cosecha, presentan el siguiente comportamiento, en relación al efecto de las dosis ácidas, de lavado, y de su interacción.

El calcio es un ión divalente capaz de competir por los sitios de intercambio con el sodio, por tal motivo su presencia es de particular importancia. El efecto de los tratamientos ácidos sobre la concentración de este catión, produce una disminución en su concentración inicial, así el tratamiento a5b1 tiene un valor de 37.20 meq/100 g, un 50.57% inferior al valor del tratamiento testigo a1b1, los otros tratamientos ácidos afectan de igual forma la concentración de calcio, así el tratamiento a4b1, a3b1 y a2b1 tienen valores de 36.00, 39.20 y 59.78 meq/100g respectivamente.

El efecto del lavado produce una disminución en la concentración de calcio intercambiable, el tratamiento a1b4 tiene un valor de 55.86 meq/100g, 25.77% por abajo del testigo; los tratamientos a1b2, a1b3 y a1b5 tienen valores de 65.66, 59.78 y 56.84 meq/100g respectivamente, todos por abajo del valor del tratamiento a1b1 (testigo).

La interacción ácido-lavado, se observa en la figura 8, el efecto sobre la concentración de calcio resulta desfavorable, para el tratamiento a3b5 se observa un valor de 26.00 meq/100g, 65.45% por abajo del valor del tratamiento a1b1, sin embargo este comportamiento no es lineal debido a que los grupos de tratamientos a3b1 al b5, a4b1 al b5 y a5b1 al b5, muestran un comportamiento anormal, debido a que existen saltos de menores a mayores concentraciones y viceversa, sin embargo en ninguno de los casos las concentraciones son mayores al tratamiento a1b1.

El Magnesio, es de particular importancia para la planta, debido a que funciona como macronutriente, el comportamiento de este catión intercambiable se observa en la figura 9, la cual muestra que bajo la acción de la enmienda ácida su concentración aumenta, así el tratamiento a5b1 tiene un valor de 48.00 meq/100g, 4002.56% por arriba del valor del testigo, los tratamientos a2b1, a4b1 y a3b1 tienen en todos los casos un incremento en la concentración de magnesio con valores de 13.72, 39.00 y 42.14 meq/100g respectivamente.

El efecto del lavado produce un aumento en la concentración de magnesio intercambiable, de hasta un 988.88%, el cual corresponde al tratamiento a1b3, en relación al (testigo), sin embargo este incremento no es lineal y las dosis más altas de lavado no tienen valores tan altos.

La interacción ácido-lavado muestra un incremento del Mg^{++} intercambiable por la acción del ácido, sin embargo el lavado produce un decremento, con valores que van de 42.14 a 24.00 meq/100g, para los tratamientos a3b1 al b5, este último valor 1951.28% por arriba del tratamiento testigo; para los tratamientos a4b1 al b5 se tienen valores de 39.00 a 30.00 meq/100g, este último valor 2464.10% por arriba del valor del tratamiento testigo, finalmente los tratamientos a5b1 y a5b4 con valores de 48.00 y 31.20 meq/100g, este último valor 2566.66% por arriba del testigo. Los tratamientos a2b1 al b5, tienen un comportamiento diferente al de los tratamientos antes descritos, debido a que aumentan en sus concentraciones de magnesio a medida que aumentan la dosis de lavado, con valores de 13.72 a 39.20 meq/100g para los tratamientos a2b1 y a2b5 respectivamente, este último valor 3250% por arriba del valor testigo.

Cuadro 12. Análisis físicos y químicos del suelo de los 25 tratamientos después de la cosecha.

Tratamientos																										
Variables.	alb1	alb2	alb3	alb4	alb5	a2b1	a2b2	a2b3	a2b4	a2b5	a3b1	a3b2	a3b3	a3b4	a3b5	a4b1	a4b2	a4b3	a4b4	a4b5	a5b1	a5b2	a5b3	a5b4	a5b5	
Ca ⁺⁺	75.26	65.66	59.78	55.86	56.84	59.78	39.20	29.20	39.20	35.08	39.20	44.10	34.30	39.00	26.00	36.00	40.00	36.00	29.60	42.00	37.20	40.80	38.40	39.60	38.60	
Mg ⁺⁺	1.17	2.94	12.74	11.76	9.80	13.72	34.30	33.20	30.33	39.20	42.14	39.20	31.36	29.00	24.00	39.00	34.00	32.00	32.40	30.00	48.00	40.80	34.80	31.20	34.80	
Na ⁺	40.00	36.90	32.20	37.70	33.00	40.66	38.26	34.09	29.12	29.13	29.17	27.56	20.54	20.00	26.00	24.80	24.80	20.60	20.60	19.60	17.60	15.20	13.70	10.70	10.70	
K ⁺	1.57	1.53	1.46	1.05	1.05	1.23	1.13	1.00	1.79	1.79	1.66	1.72	1.63	1.34	1.66	1.66	1.49	1.49	1.76	1.80	1.80	1.25	1.72	1.09	1.91	
P.S.T.	33.84	34.47	30.32	35.44	32.77	35.26	33.89	31.71	29.00	27.69	26.00	24.48	23.28	22.36	33.47	24.43	24.72	22.86	21.83	20.98	16.82	15.50	15.45	12.50	12.44	
C.E. mbhos/cm	16.0	16.0	11.0	5.2	3.2	16.5	15.5	8.4	5.3	3.2	15.5	14.5	8.3	6.7	4.0	17.5	14.5	9.0	8.6	4.6	17.5	16.5	12.0	6.3	5.3	
pH	8.7	8.6	8.6	8.6	8.6	8.7	8.7	8.6	8.6	8.5	8.7	8.7	8.6	8.6	8.6	8.7	8.7	8.6	8.6	8.5	8.7	8.7	8.6	8.6	8.6	
Ca ⁺⁺	26.52	26.52	26.00	28.56	29.02	32.64	40.80	24.48	27.13	26.52	32.64	32.64	21.00	24.48	18.90	33.60	34.68	32.44	22.44	8.32	29.13	16.32	20.80	14.31	12.48	
Mg ⁺⁺	58.00	58.65	47.32	15.90	10.56	67.32	61.20	30.30	17.90	15.90	65.28	69.36	40.20	28.56	19.38	132.80	65.48	43.68	39.20	27.04	122.72	116.46	62.40	22.44	39.56	
Na ⁺	190.21	158.61	141.30	59.78	54.38	201.08	152.17	97.52	67.47	54.34	190.21	152.17	93.47	66.30	50.00	163.00	177.80	73.9	86.95	34.78	158.70	160.21	103.21	53.26	45.65	
K ⁺	2.55	2.17	2.56	1.70	1.87	3.20	2.18	1.92	1.57	1.28	3.20	2.18	2.30	1.35	1.28	2.18	1.92	1.54	0.96	2.56	2.62	1.92	1.92	1.35	0.90	
HCO ₃ ⁻	15.00	35.00	35.00	35.00	25.00	15.00	35.00	10.00	15.00	50.00	40.00	40.00	40.00	20.00	35.00	125.00	35.00	100.00	35.00	25.00	110.00	25.00	45.00	35.00	25.00	
CO ₃ ²⁻																										
Cl ⁻	174.0	153.0	101.0	38.0	23.0	188.0	165.0	63.0	38.0	29.0	168.0	144.0	43.0	36.0	24.0	160.0	133.0	60.0	48.0	30.0	164.0	144.0	105.0	27.0	30.0	
SO ₄ ²⁻	129.0	121.0	110.0	35.9	22.3	183.3	164.5	100.2	67.2	37.9	147.4	113.6	100.2	112.5	79.7	172.3	137.1	100.5	47.9	50.5	178.2	157.1	139.7	90.0	65.1	
R.A.S.	29.56	24.32	24.32	12.69	12.94	28.48	21.31	18.61	14.23	11.80	27.21	21.30	16.90	12.89	11.44	17.87	25.05	11.99	15.66	8.28	18.24	19.68	16.02	12.44	8.95	

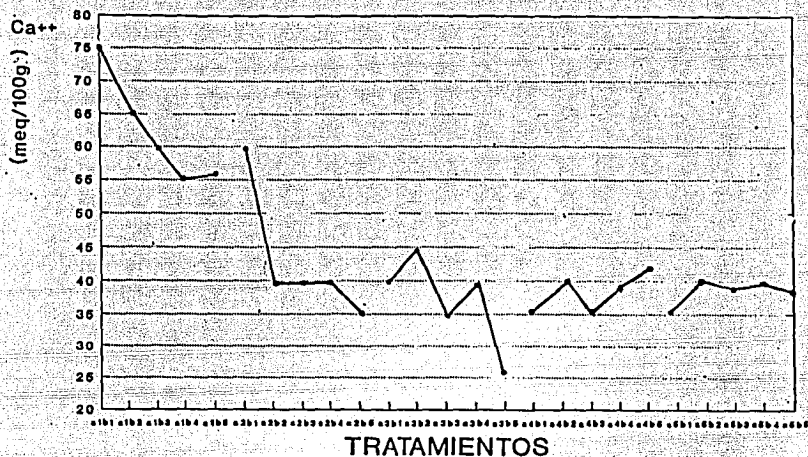


FIGURA 8. Variaciones en la concentración de Calcio Intercambiable en el suelo, después del experimento en el invernadero.

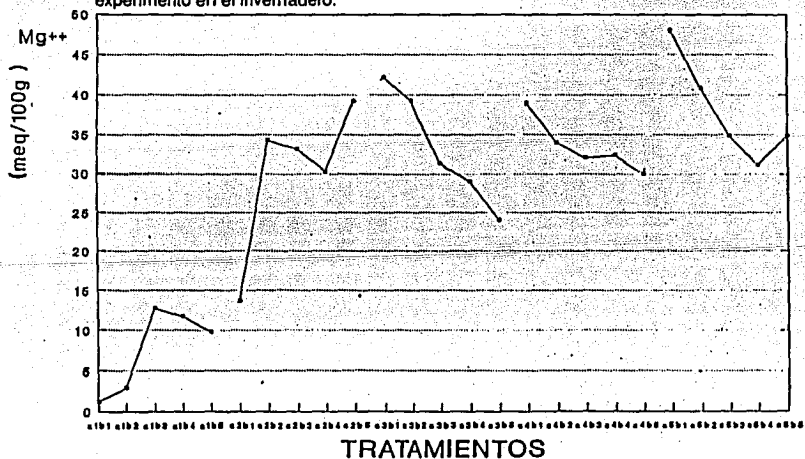


FIGURA 9. Variaciones en la concentración de Magnesio Intercambiable en el suelo, después del experimento en el invernadero.

Las altas concentraciones de sodio intercambiable, producen serios efectos en las condiciones físicas del suelo, entre las más importantes se presenta la dispersión de los coloides edáficos, lo que provoca la formación de duripanes, la disminución de la conductividad hidráulica, baja infiltración, un deficiente intercambio suelo-atmósfera, etc. (Kamphorst, ~~op cit~~). La figura 10 muestra el efecto de las dosis ácidas sobre la concentración de este catión, a excepción del tratamiento a2b1, el cual tiene un valor 0.66 meq/100g por arriba del tratamiento testigo, los otros tratamientos observan un abatimiento gradual de sus concentraciones a medida que aumentan las dosis, así el tratamiento a5b1 tiene un valor de 17.60 meq/100gr, 56.00% por abajo del valor del testigo, los tratamientos a3b1 y a4b1 tienen valores de 29.17 y 24.80 meq/100g respectivamente.

El lavado provoca un ligero decremento de los valores de sodio intercambiable, los tratamientos a1b2, a1b3 y a1b5 tienen valores de 36.90, 32.20 y 33.00 meq/100g este último valor 17.5% por abajo del valor del testigo.

La interacción de los mejoradores produce un efecto benéfico en relación a la cantidad de sodio intercambiable removido, para los grupos de tratamientos a2b1 al b5, a4b1 al b5 y a5b1 al b5, los valores disminuyen a medida que aumentan las dosis de ácido y lavado, así los tratamientos a2b1 y a2b5 tienen valores de 40.66 y 29.13 meq/100g, este último valor 27.17% por abajo del tratamiento testigo, los tratamientos a4b1 y a4b5 tienen valores de 24.80 y 19.60 meq/100g, este último valor 51.00% abajo del tratamiento a1b1, por último los tratamientos a5b1 y a5b5 tienen valores de 17.60 y 10.78 meq/100g, este último valor 73.05% por abajo del testigo. El grupo de tratamientos a3b1 al b5 tienen un comportamiento anómalo, en relación a los demás.

En la figura 11 se observa la variación del porcentaje de sodio intercambiable en relación a las enmiendas aplicadas al suelo, así como la interacción de estas, es un índice utilizado para establecer la sodicidad del suelo, el comportamiento de esta figura es similar a la figura 10. De particular importancia es el efecto de la interacción ácido-lavado, en donde los valores son menores al 15%, esto sucede para los tratamientos a5b4 y a5b5.

El potasio es un catión de suma importancia para los seres vivos, debido a que funciona como macronutrientes. Se reporta que en los suelos donde existen altas concentraciones de sodio intercambiable, los valores de potasio son casi siempre muy bajos. En el presente estudio los valores de potasio intercambiables en relación a los otros cationes son muy bajos, además el efecto de los mejoradores sobre la concentración de este ión no producen serios cambios, como se observa en el cuadro 12.

La conductividad eléctrica, del extracto de la pasta de saturación es una medida aproximada del contenido total de sales en la solución de suelo, es un índice importante, en la caracterización del mismo.

Bajo la acción de la enmienda ácida la conductividad eléctrica tiene un comportamiento muy interesante, debido a que el tratamiento a5b1 tiene un valor de 17.5 mmhos/cm a 25°C, 9.38% por arriba del testigo. Los otros tratamientos exclusivamente ácidos, presentan los siguientes valores: 15.5, 16.5 y 17.5 mmhos/cm a 25°C, para los tratamientos a3b1, a2b1 y a4b1 respectivamente.

El lavado tiene un efecto benéfico sobre los valores de conductividad, a medida que aumentan las dosis de esta enmienda los valores disminuyen; el tratamiento a1b5 tiene un valor de 3.2 mmhos/cm a 25°C, 80% por abajo del testigo. Todos los tratamientos de lavado siguen el mismo patrón así se observan valores de: 16.0, 11.0 y 5.2 mmhos/cm a 25°C, para los tratamientos a1b2 a1b3 y a1b4 respectivamente, el tratamiento a1b2 tiene un valor idéntico al a1b1.

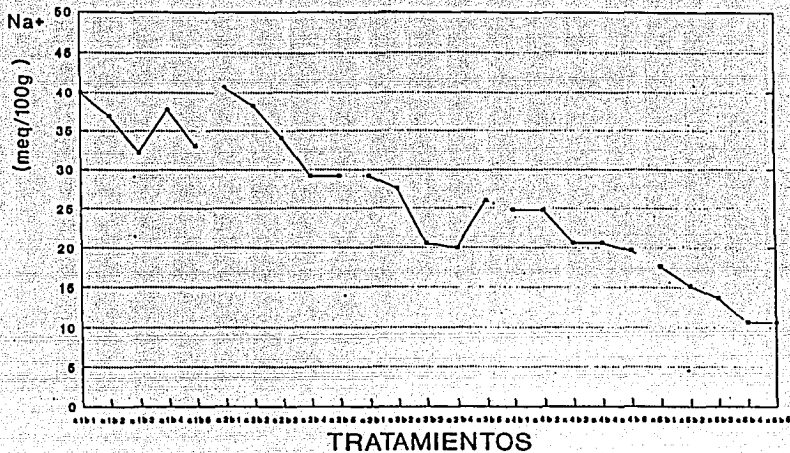


FIGURA 10. Variaciones en la concentración de Sodio Intercambiable en el suelo, después del experimento en el invernadero.

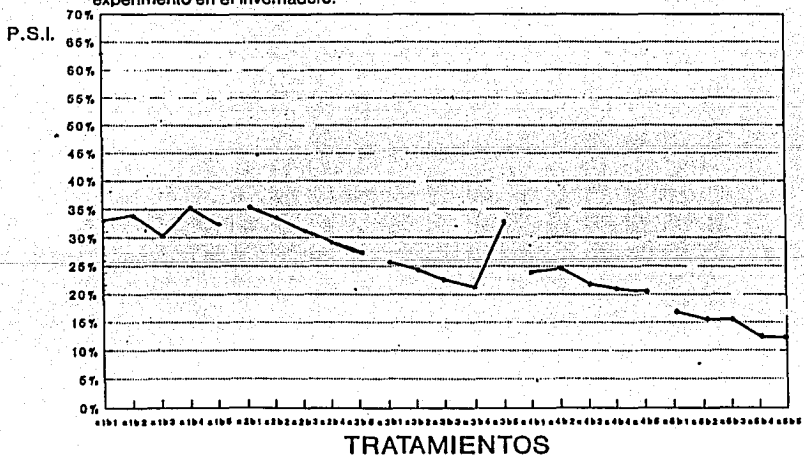


FIGURA 11. Variaciones del PSI en relación a los diferentes tratamientos, después del experimento en el invernadero.

La interacción ácido-lavado, se observa en la figura 12, los valores de conductividad están gobernados por la acción del lavado y disminuyen cuando sus dosis aumentan, sin embargo en ninguno de los casos los valores son más bajos a los observados con el lavado exclusivamente, esto se debe al efecto de la enmienda ácida. Los valores más bajos, de la interacción son los correspondientes, al tratamiento a3b5 y a4b5, ambos un 71.25% por abajo del testigo.

El pH del extracto de la pasta de saturación de cada uno de los 25 tratamientos, se observa en la figura 13, el efecto de los mejoradores es casi nulo, así como su interacción los valores de pH bajan cuando más 2 décimas, es decir un 2.29% por abajo del testigo.

La acción de la enmienda ácida sobre la concentración de calcio soluble, provoca un aumento en la concentración de este catión, así los tratamientos a2b1 y a3b1, tienen un valor de 32.64 meq/l y el a4b1 de 29.13 meq/l, este último valor idéntico al del tratamiento a1b5.

El efecto del lavado sobre este catión no es significativa, los valores son: 26.00, 26.52, 28.56 y 29.02 meq/l, para los tratamientos a1b3, a1b2, a1b4 y a1b5 respectivamente, figura 14.

La interacción de las dos enmiendas muestra a los grupos de tratamientos a1b2 al b5, a3b1 al b5 y a5b1 al b5, con un comportamiento de aumentos y decrementos en la concentración de calcio soluble, sin embargo los tratamientos con mayor dosis de lavado tienen más bajos que aquellos con bajas dosis, el grupo de tratamientos a4b1 al b5, muestra un decremento casi lineal a medida que aumentan las dosis de lavado, sus valores van de 33.60 a 8.32 meq/l, este último valor 68.63% por abajo del testigo.

Se ha reportado que suelos con altas concentraciones de magnesio tanto soluble como intercambiable tienen características parecidas a los que poseen altas concentraciones de sodio (Kamphorst, *op. cit.*). El efecto del ácido sulfúrico produce un incremento en la concentración de este catión a medida que se incrementan sus dosis, el tratamiento a4b1 tiene un valor de 132.80 meq/l, que es 128.97% mayor al registrado para el testigo. Los otros tratamientos tienen los siguientes valores: 65.28, 67.32 y 122.72 meq/l, para los tratamientos a3b1, a2b1 y a5b1 respectivamente.

La acción del lavado provocó un abatimiento en la concentración de magnesio soluble, así el tratamiento a1b5 tiene un valor de 10.54 meq/l, 81.79% por abajo del testigo, los otros tratamientos tienen los siguientes valores: 58.65, 47.32 y 15.90 meq/l.

Para la interacción ácido-lavado, existe provoca un decremento sobre la concentración de magnesio soluble, sin embargo en ninguno de los casos es mayor a la obtenida, exclusivamente con el lavado, de esta forma se tienen valores de: 27.04 y 15.90 meq/l, este último valor 75.58% por abajo del testigo, esto para los tratamientos a4b5 y a2b5 respectivamente.

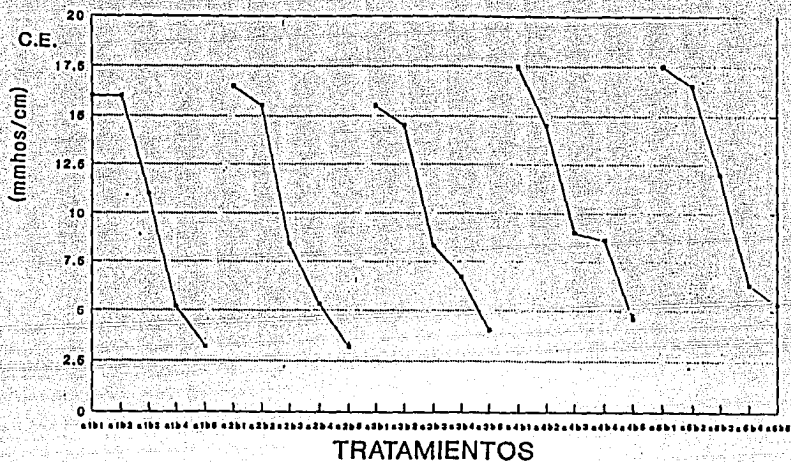


FIGURA 12. Variaciones de la conductividad eléctrica, del extracto de la pasta de saturación en relación a los tratamientos aplicados, después del experimento en el invernadero.

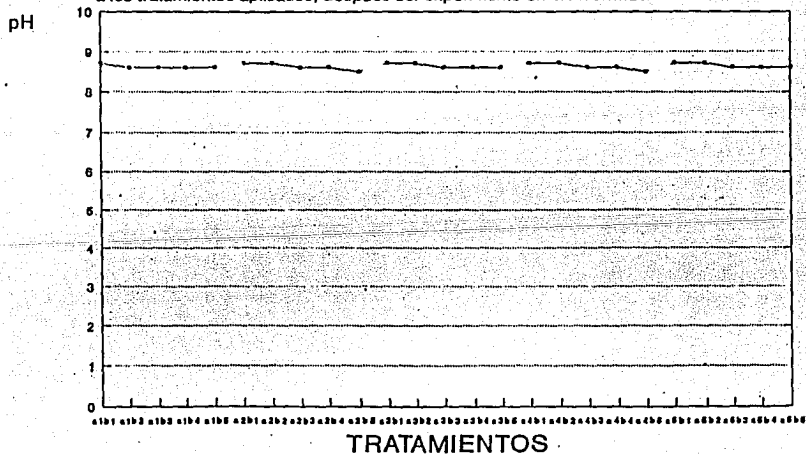


FIGURA 13. Variaciones del pH del extracto de la pasta de saturación de los tratamientos, después del experimento en el invernadero.

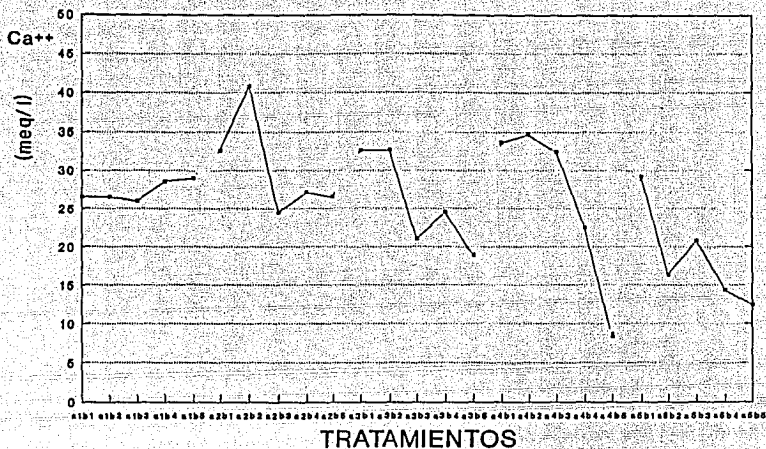


FIGURA 14. Variaciones del Calcio soluble en relación a los tratamientos aplicados después del experimento en el invernadero.

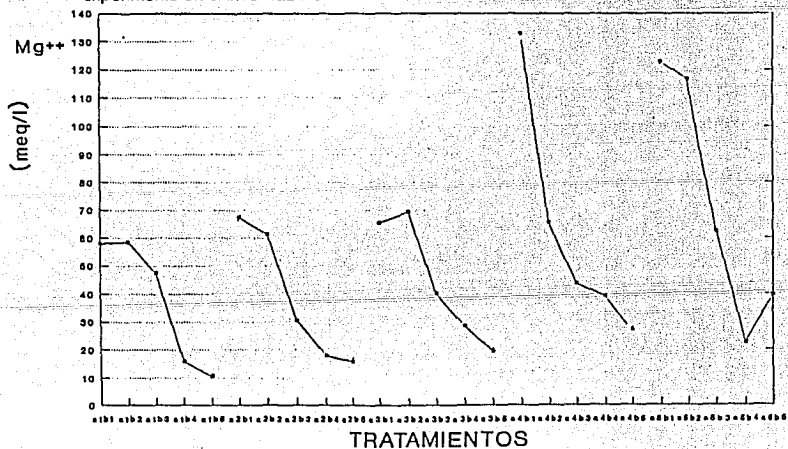


FIGURA 15. Variaciones en la concentración de Magnesio soluble en relación a los tratamientos aplicados, después del experimento en el invernadero.

El comportamiento del sodio soluble, se observa en la figura 16, las concentraciones de este catión bajo la acción de la enmienda ácida, tienen los siguientes valores: para el tratamiento a5b1 de 158.70 meq/l 16.56% por abajo del valor del tratamiento testigo; de 163.00 meq/l para el a4b1, 14.30% abajo del valor de del testigo, de 190.21 para el tratamiento a3b1, un valor idéntico al del tratamiento a1b1 y de 201.08 meq/l, este último con un 5.71% arriba del valor del testigo, esto para el tratamiento a2b1.

El efecto del lavado produce en todos los casos una disminución, así para el tratamiento a5b1 se observa la menor concentración de este catión con un valor de 54.38 meq/l, 71.41% por abajo del valor del testigo.

La interacción de las dos enmiendas, sobre el sodio soluble, provoca una disminución en su concentración así para el tratamiento a5b5 se tiene un valor de 45.65 meq/l, 76.00% por abajo del valor del testigo. Para este elemento la interacción resulta ser más favorable que solo el lavado o la aplicación de ácido, por último se observa que el grupo de tratamientos a4b1 al b5 es atípico en relación a los otros grupos.

La relación de adsorción de sodio es un índice utilizado para establecer el equilibrio que existe entre los cationes solubles y los intercambiables, propuesto por el USDA. La figura 17 muestra su comportamiento, en relación a las enmiendas aplicadas al suelo, en general sigue el mismo comportamiento que el sodio soluble, figura 16, sin embargo el grupo de tratamientos a4b1 al b5 resulta ser más anormal.

El potasio soluble tiene valores muy parecidos independientemente de la enmienda aplicada, los valores no varían más de 2.0 meq/l.

La presencia de carbonatos o bicarbonatos en la solución del suelo esta estrechamente relacionada con el pH del suelo. En el presente estudio los carbonatos no se detectaron antes y después de la aplicación de la enmiendas; los bicarbonatos fueron cuantificados antes y después y presentan el siguiente comportamiento: al aplicar sólo ácido hay un incremento en la concentración en especial para aquellos tratamientos con las dosis más altas, de 125.00 y 110.00 meq/l para los tratamientos a4b1 y a5b1 respectivamente, el primero un 733.33% arriba del valor del testigo, los otros tratamientos tienen los siguientes valores: 15.00 y 40.00 meq/l para los tratamientos a2b1 y a3b1, respectivamente.

La acción del lavado sobre este anión soluble, produce un aumento en su concentración de por lo menos un 66.66% esto para el tratamiento a1b5 en relación al valor del testigo.

La interacción ácido-lavado, para los bicarbonatos se observa en la figura 18, para el grupo de tratamientos a2b1 al b5, los valores muestran aumentos y decrementos e incluso, el tratamiento a2b3 registra un valor de 33.33% menor al testigo, sin embargo el tratamiento a2b5 tiene un valor de 50.00 meq/l 233.33% por arriba del valor del tratamiento a1b1, para los tratamientos a3b1 al b5 no hay serios cambios y los valores se mantienen constantes, los grupos de tratamientos a4b1 al b5 y a5b1 al b5, tienen un comportamiento muy parecido, aquí existen altos valores de bicarbonatos para los tratamientos a4b1 y a5b1, los cuales son abatidos por la primera dosis de lavado lo que se registra en los tratamientos a4b2 y a5b2, sin embargo los tratamientos a4b3 y a5b3 muestran un incremento, con valores sin embargo no mayores a los tratamientos a4b1 y a5b1, para los tratamientos a4b4, a4b5 a5b4 y a5b5, se observa un decremento lineal, de los valores, sin embargo en ninguno de los casos este es menor al registrado, para el testigo.

Los sulfatos forman por lo general sales altamente solubles, las cuales al encontrarse en altas concentraciones pueden limitar la absorción de calcio por la planta, juntamente con la disminución de calcio se encuentran asociados los aumentos en la absorción de sodio y potasio, de tal forma que los efectos de una alta concentración de sulfatos en el substrato pueden estar relacionados con una alteración del balance catiónico óptimo dentro de la planta (Allison et al. op cit).

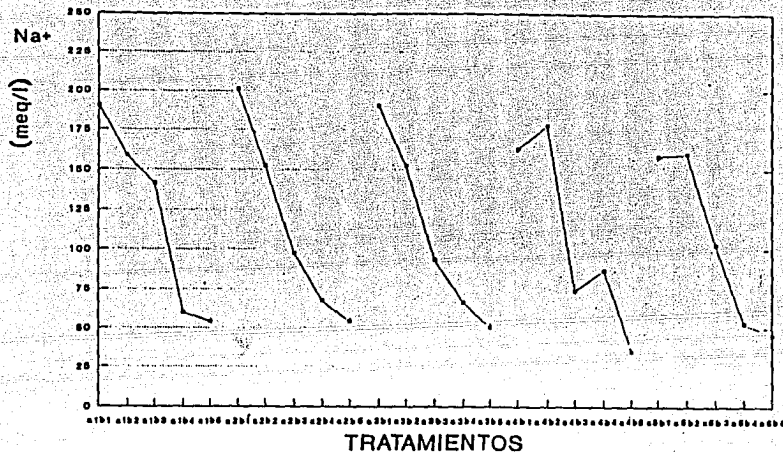


FIGURA 16. Variaciones en la concentración de Sodio soluble en extracto de la pasta de saturación, en relación a los diferentes tratamientos, después del experimento en el invernadero.

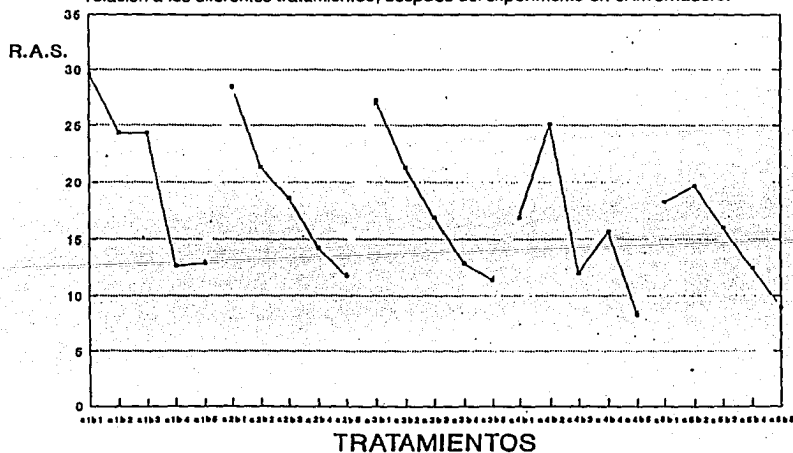


FIGURA 17 Variaciones de la RAS en relación a los tratamientos aplicados después del experimento en el invernadero.

El efecto de la aplicación de ácido sulfúrico (enmienda ácida), sobre la concentración de sulfatos, produce un incremento en sus concentraciones, así para el tratamiento a2b1 se tiene un valor de 183.3 meq/l, 42.09% por arriba del valor registrado para el testigo, para los otros tratamientos se obtuvieron los siguientes valores: 147.4, 172.3 y 178.2 meq/l, para los tratamientos a3b1, a4b1 y a5b1 respectivamente, figura 19.

El efecto del lavado sobre la concentración de este anión produce en todos los casos un decremento lineal en los valores, así para el tratamiento a1b5 se obtuvo un valor de 22.3 meq/l, un 82.71% por abajo del testigo, los tratamientos a1b2, a1b3 y a1b4 tiene los siguientes valores: 121.0, 110.0 y 35.9 meq/l, respectivamente.

La interacción ácido-lavado esta gobernada por la acción del lavado, así se tienen valores de 37.9, 47.9 y 65.1 meq/l, para los tratamientos a2b5, a4b4 y a5b5 respectivamente, el primero 70.60% abajo del testigo, sin embargo en ninguno de los casos los valores son más bajos a los obtenidos con el lavado. Por último la figura 19 muestra los tratamientos a3b1 al b5 con un comportamiento anómalo.

Los cloruros son aniones que forman sales altamente solubles y cuando se encuentran en altas concentraciones son tóxicas para las plantas, el efecto de la enmienda ácida no afecta seriamente las concentraciones de cloruros, de tal manera los valores observados son: 188.0, 168.0, 160.0 y 164.0 meq/l para los tratamientos a2b1, a3b1, a4b1 y a5b1, respectivamente, en ninguno de los casos los valores están un 8% por arriba del valor del testigo.

El lavado produce en todos los casos un decremento en la concentración de cloruros, de tal forma que a medida que aumentan las dosis disminuye las concentraciones de este anión, así para el tratamiento a1b5 se registro un valor de 23.0 meq/l 86.78% por abajo del testigo, los otros tratamientos tienen los siguientes valores: 153.0, 101.0 y 38.0 meq/l para los tratamientos a1b2, a1b3 y a1b4 respectivamente.

En la figura 20 se observa el efecto de la interacción ácido-lavado sobre la concentración de cloruros, en todos los casos se comprueba un decremento de las concentraciones al aumentar las dosis de lavado y ácido, así los tratamientos a2b5, a3b5, a4b5 y a5b5 tienen valores de 29.0, 24.0 y 30.0 meq/l, este último valor corresponde a los dos últimos tratamientos, en ninguno de los casos estos valores son menores al 83.33%, en relación al testigo.

El tratamiento a1b1 tiene el siguiente comportamiento en relación al suelo original "capa arable": los cationes intercambiables tienen un incremento del 16.35%, 2.22% y 12.29% para el Ca^{++} , Na^+ y K^+ , respectivamente, la concentración de magnesio no cambia el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), disminuye un 2.75%; la conductividad eléctrica aumenta un 39.13%, el pH del extracto de la pasta de saturación se mantiene constante, los cationes solubles registran un incremento del 9.09%, 15.38%, 18.36% y 22.00% para el Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ respectivamente. Los aniones solubles registran un aumento del 7.14%, 1.57% y 22.04%, para los bicarbonatos, cloruros y sulfatos respectivamente, la relación de adsorción de sodio aumenta un 22.7%.

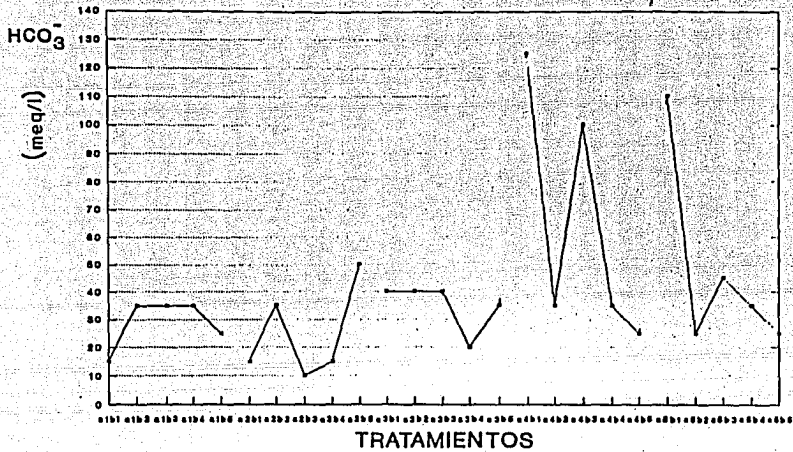


FIGURA 18. Variaciones en la concentración de bicarbonatos, del extracto de la pasta de saturación de los tratamientos, después del experimento en el invernadero.

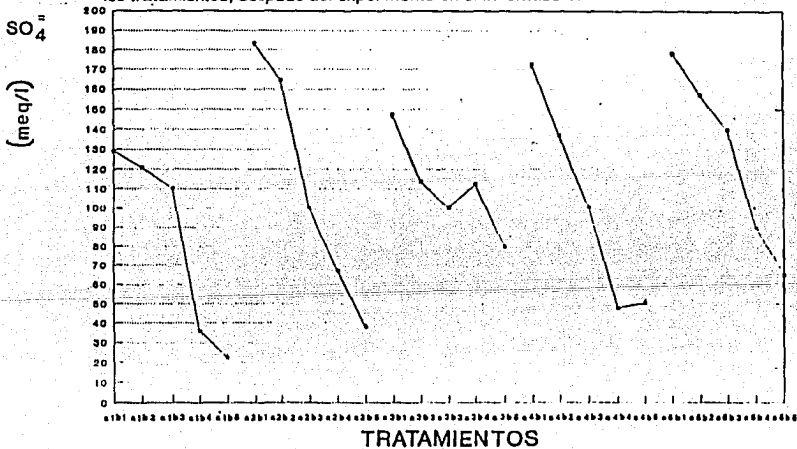


FIGURA 19 Variaciones en la concentración de Sulfatos, del extracto de la pasta de saturación de los tratamientos, después del experimento en el invernadero.

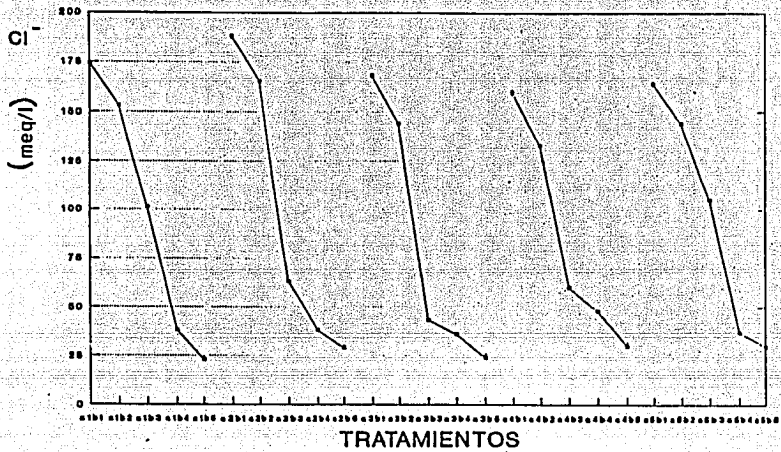


FIGURA 20. Variaciones en la concentración de Cloruros, del extracto de la pasta de saturación de los tratamientos, después del experimento en el invernadero.

5) Del experimento en el Invernadero.

El análisis de varianza (ANDEVA), aplicado a los resultados de peso seco de *Lactuca sativa* cv. white boston, indica que existe una diferencia significativa al 95% entre las dosis de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y de lámina de lavado, ($F 7.90 P 0.0004$) y ($F 127.03, P. 0.0000$) respectivamente.

La interacción de las dos enmiendas sobre el peso seco de *Lactuca sativa* no pudo ser analizada por medio del análisis de varianza, debido a que los grados de libertad de la muestra no son suficientes (Jerold, 1984).

Por tal motivo se recurrió a una comparación múltiple de medias o prueba de Tukey, en dos vías; la primera analiza el comportamiento del peso seco en relación a las diferentes dosis de H_2SO_4 , así como la interacción con el lavado; la segunda vía analiza el comportamiento del peso seco en relación a la lámina de lavado y la interacción con el H_2SO_4 .

Los resultados de la primera vía muestran una diferencia significativa entre las dosis a1 y a5.

La interacción ácido-lámina de lavado con relación al peso seco tiene un efecto benéfico en la aplicación del lavado del suelo, la figura 22, muestra algunos subgrupos dentro de los grupos de tratamientos, así para el primer grupo a1b1 al b5, los tratamientos a1b1, a1b2 y a1b3 son diferentes significativamente de a1b4 y a1b5; en el segundo grupo a2b1 al b5, los tratamientos a2b1 y a2b2 son diferentes significativamente de a2b3 y a2b4 y estos de a2b5; en el tercer grupo a3b1 al b5, los tratamientos a3b1 y a3b2 son diferentes significativamente de a3b3, a3b4 y a3b5, en el cuarto grupo a4b1 al b5, los tratamientos a4b1 y a4b2, son diferentes de a4b3 y a4b4 y estos de a4b5, por último para el grupo de tratamientos a5b1 al b5, los tratamientos a5b1, a5b2 y a5b3 son diferentes significativamente de a5b4 y a5b5.

La segunda vía indica una diferencia significativa entre las dosis: b3, b4 y b5.

Cuadro 13 Datos del peso seco de los 25 tratamientos

Tratamiento	Media (gr)	Desviación estandar	N
a1b1	0.50	0.18	4
a1b2	1.02	0.40	2
a1b3	1.28	0.15	4
a1b4	2.87	1.13	4
a1b5	4.00	0.75	4
a2b1	0.37	0.01	3
a2b2	0.59	0.01	2
a2b3	2.70	0.44	4
a2b4	2.88	0.97	4
a2b5	4.83	1.11	4
a3b1	0.71	0.00	1
a3b2	0.80	0.25	2
a3b3	2.87	0.49	3
a3b4	3.79	0.47	4
a3b5	5.01	1.03	4
a4b1	0.72	0.19	4
a4b2	0.98	0.39	4
a4b3	2.89	0.33	4
a4b4	2.65	0.63	4
a4b5	6.49	0.89	4
a5b1	0.89	0.00	1
a5b2	0.92	0.41	3
a5b3	2.19	0.39	3
a5b4	5.43	0.63	4
a5b5	6.79	0.59	3

N: número de individuos

Cuadro 14 Análisis de varianza para peso seco.

Fuente	Grados de libertad	SC	MC	F-Tasa	F-prob.
Total de plantas	81	306.44			
H ₂ SO ₄ (a)	4	13.29	3.32	7.90	0.00004*
Lamina (b)	4	213.64	53.41	127.03	0.00000**
Int.	16	27.63	1.73		
Error	57	23.97	0.42		

* Si existe diferencia significativa entre dosis de H₂SO₄

** Si existe diferencia significativa entre dosis de lámina de lavado.

Cuadro 15 Comparación múltiple del peso seco de las diferentes dosis de H₂SO₄ (a), por la prueba de Tukey.

Dosis	Media	N° de individuos por dosis	Separación
a1	2.03	18	a
a2	2.58	17	ab
a3	2.75	20	bc
a4	3.29	14	cd
a5	3.50	13	d

Cuadro 16 Comparación múltiple del peso seco de las diferentes dosis de lámina (b), por la prueba de Tukey.

Dosis	Media (gr)	N° de individuos por dosis	Separación
b1	0.58	13	a
b2	0.88	13	a
b3	2.37	18	b
b4	3.52	20	c
b5	5.27	18	d

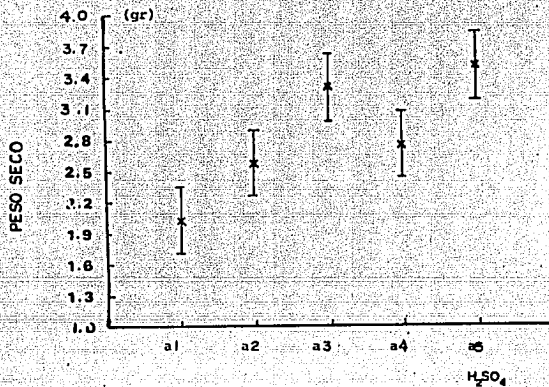


FIGURA 21. Comparación múltiple de las 5 dosis de H₂SO₄, en cuanto al peso seco de la lechuga, (*Lactuca sativa*, cv. white boston), por la prueba de Tukey.

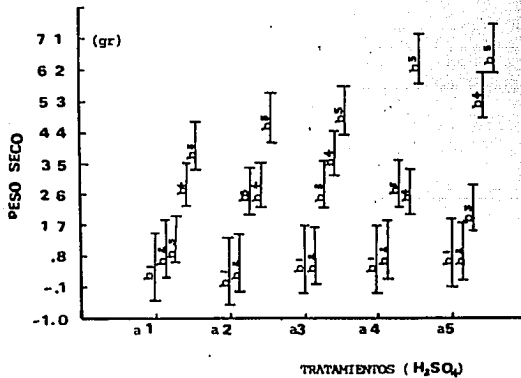


FIGURA 22. Comparación múltiple de los 25 tratamientos, en cuanto al peso seco y la interacción de las dosis de H₂SO₄, lámina de lavado con la prueba de Tukey.

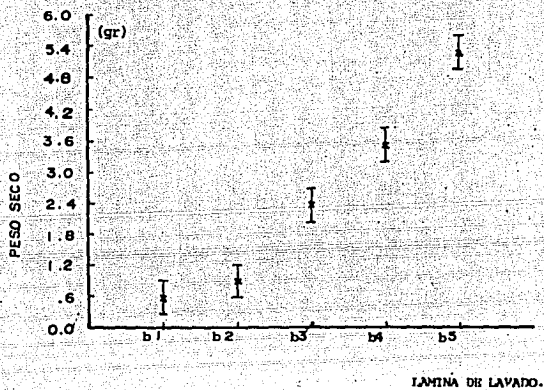
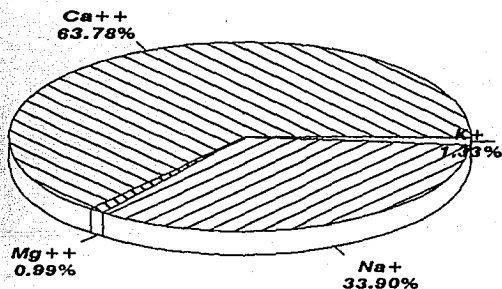


FIGURA 23. Comparación múltiple de las 5 dosis de lámina de lavado, en cuanto al peso seco de la lechuga. (*Lactuca sativa*, cv. white boston), por la prueba de Tukey.

CATIONES EN EL TESTIGO TRATAMIENTO a1b1



CATIONES EN LOS SUELOS RECUPERADOS TRATAMIENTO a3b3

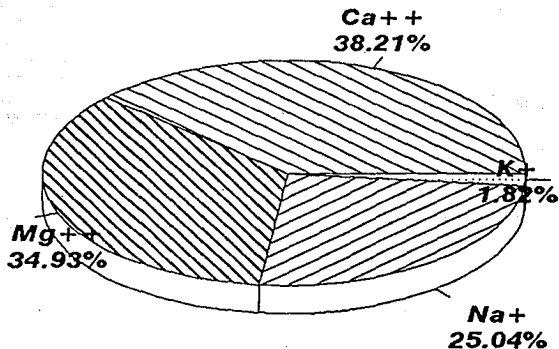
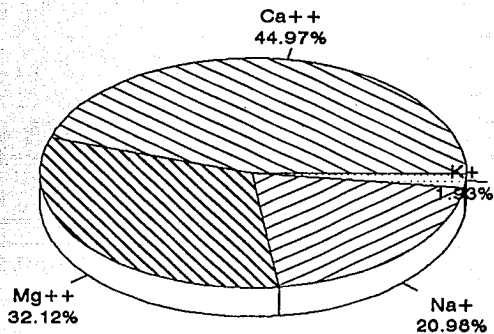


FIGURA 24. Porcentajes de los cationes totales en el testigo y el suelo recuperado.

**CATIONES EN LOS SUELOS RECUPERADOS
TRATAMIENTO a4b5**



**CATIONES EN LOS SUELOS RECUPERADOS
TRATAMIENTO a5b5**

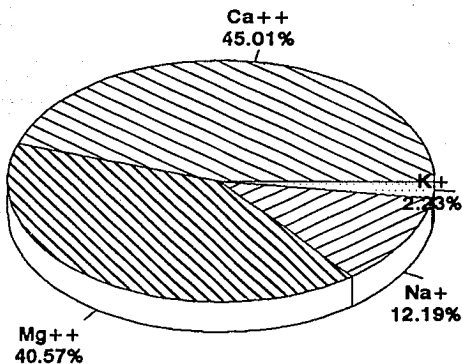


FIGURA 25. Porcentajes de cationes totales en los suelos recuperados.

IX DISCUSION.

Los resultados de los análisis obtenidos de la chinampa estudiada indican: un color negro 5 YR 2.5/1 en húmedo, esto a consecuencia de las altas concentraciones de materia orgánica, proveniente de las labores agrícolas y culturales (suelos antrópicos); la textura dominante es un migajón arcillo-arenoso para los primeros 60 cm de profundidad, dada por las fracciones finas y medias de los productos acarreados y depositados en la llanura lacustre de Xochimilco; la densidad aparente registro valores muy bajos, que van de 0.57 a 0.24 g/cm³ variando con la profundidad de la calicata, estos se relacionan con la presencia de agregados formados por la materia orgánica con las arcillas y demás partículas; el porcentaje de porosidad registro valores que sobrepasan el 60.00%, sin embargo los poros presentes en estos suelos son en su mayoría microporos.

Los valores de pH de la suspensión del suelo tomados con agua destilada a pH neutro, relación 1:5 alcanzan valores máximos de 9.3 a 9.5, estos altos valores están relacionados con la acumulación de sales en la superficie y con la reacción alcalina de los carbonatos y bicarbonatos de sodio, los cuales al hidrolizarse provocan un incremento en el pH del suelo.

La materia orgánica registro valores entre el 3.4% y el 28%, los valores calculados para la relación C/N fueron en promedio de 12, lo que indica: materia orgánica rica en carbono y nitrógeno, en consecuencia una mayor actividad biológica, sobre todo de organismos que viven a pH básico y una mayor mineralización, y menor humificación, debido a las condiciones de salinidad y sodicidad.

Los valores de capacidad de intercambio catiónico son siempre menores a la suma de cationes intercambiables, sin embargo los valores son altos aunque no satisfactorios, con un valor de hasta 65.3 meq/100g, esto se debe a la alta proporción de materia orgánica y arcillas presentes en el suelo.

El porcentaje de sodio intercambiable es mucho mayor al 15%, lo que provoca la dispersión de los coloides edáficos y la consecuente reducción de la conductividad hidráulica, la permeabilidad al agua y al aire, la reducción del espacio poroso (macroporos); lo que afecta negativamente la actividad de macro y microorganismos, y el desarrollo de las plantas.

La salinidad edáfica está determinada por la intensidad del lavado y el intemperismo o meteorismo, el tipo y cantidad de sales que se encuentran en el suelo, depende del material original las cuales al encontrarse en altas concentraciones causan serios daños en la biota.

Los valores de conductividad eléctrica registrados para los extractos de la pasta de saturación son mayores a 4 mmhos/cm a 25°C, que es el límite para diagnosticar la salinidad edáfica, esta medida indica que las plantas cultivadas en esta zona sufrirán graves problemas en todas las etapas de su desarrollo, e incluso morirán, sin embargo el alto contenido de humedad existente en la región lacustre reduce significativamente este efecto.

Las sales solubles que registran los valores más altos son los cloruros con un valor máximo de 194.0 meq/l, le siguen los sulfatos con un valor máximo de 168.7 meq/l y por último los bicarbonatos con un valor máximo de 50.0 meq/l. Los cloruros de sodio son tóxicos para las plantas, los sulfatos de calcio son benéficos, los sulfatos de magnesio son tóxicos y los bicarbonatos de sodio aumentan drásticamente el pH del suelo al hidrolizarse.

El catión soluble predominante es el Na⁺ con un valor máximo de 353.30 meq/l, los otros cationes solubles registraron valores menores en relación a este catión por lo que al formarse las sales serán en su mayoría de sodio.

El pH del extracto de la pasta de saturación registro valores siempre mayores a 8.5.

Todas estas determinaciones indican que el suelo de la chinampa del paraje Texhuilo Xochimilco, D.F., se clasifica como salino-sódico, (Allison et al. 1965).

En general una de las principales fuentes de salinidad es el agua de riego, el proceso de salinización del suelo depende del balance de sales adicionadas a la superficie del suelo y a la cantidad de sales disueltas en el agua de drenaje de la zona radicular, si se asume que la única fuente de salinidad es el agua de riego; esta dependerá del uso y manejo con que se administre (Kamphorst, 1965).

Los análisis de agua de riego y lavado utilizada en el presente estudio indican que ésta debe clasificarse como C_3S_1 (Allison et al. 1965), lo cual corresponde a un alto riesgo de salinidad y un bajo riesgo de sodicidad, por lo que no es recomendable para estos suelos que tienen una pobre infiltración y un alto grado de evapotranspiración. Los índices calculados indican que el carbonato de sodio residual es mayor a 2.5 meq/l, el sodio soluble es el más abundante, le sigue el magnesio, y por último el Ca^{++} y K^+ , en relación a los aniones solubles los más abundantes son los bicarbonatos, le siguen los sulfatos y por último los cloruros y carbonatos.

Después de la aplicación de los tratamientos ácidos, de lámina de lavado y de su interacción se observó, que en la mayoría de los tratamientos se registro un movimiento de aniones y cationes.

La concentración de los iones solubles en el extracto de la pasta de saturación esta dada por una medida indirecta conocida como conductividad eléctrica; como se esperaba al aumentar las dosis de ácido, se registró un mayor contenido electrolítico en la solución del suelo, de tal forma los valores de este índice aumentaron hasta un 9.38% para el tratamiento a5b1 en relación al tratamiento testigo a1b1. El incremento en la conductividad eléctrica, se debe fundamentalmente al efecto solubilizador del ácido sobre los carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinoterreos, los cuales desprendieron ciertas cantidades de Ca^{++} y Mg^{++} , los que al desplazar al sodio del complejo de intercambio provocaron la formación de sales como: $MgSO_4$, $CaSO_4$ y Na_2SO_4 .

En general, la aplicación de lavados al suelo provocó un decremento en los valores de conductividad eléctrica, de hasta un 80% en relación al testigo. Este fenómeno es de particular importancia debido a que se registraron valores de conductividad eléctrica menores a 4 mmhos/cm a 25°C, esto para el tratamiento a1b5, lo que hace posible el desarrollo de una gran variedad de plantas sensibles a las sales.

La interacción ácido-lámina de lavado provocó un decremento en los valores de este índice de por lo menos un 71.25% en la relación al testigo, esto para los tratamientos a3b5 y a4b5, en este caso el valor obtenido no es menor al observado con la aplicación del lavado, sin embargo el tratamiento a4b5 registró un rendimiento en el peso seco de la lechuga de 62.25% mayor al obtenido con el tratamiento a1b5, esto encuentra explicación debido a que los valores de sodio soluble e intercambiable son menores para la interacción ácido-lámina, que para el lavado exclusivamente.

El pH del extracto de la pasta de saturación no registro serios cambios es independiente de la enmienda aplicada, esto se debe a los altos niveles de materia orgánica presente en el suelo, la cual ejerce un efecto amortiguador sobre la solución del suelo.

El sodio intercambiable disminuyó hasta un 56% después de la aplicación de ácido sulfúrico, en especial para el tratamiento a5b1, el lavado provocó un decremento del 17.5% para el tratamiento a1b5, sin embargo la interacción ácido-lámina provocó un decremento en el valor de este índice de hasta un 73.05%, para el tratamiento a5b5, todos los valores estan en relación al testigo. De tal forma la interacción ácido-lámina es más favorable que la aplicación de cualquiera de las dos enmiendas por si solas.

El calcio intercambiable registró un decremento de 50.57% cuando se aplicó la enmienda ácida, esto para el tratamiento a5b1, en relación al testigo, por lo tanto, el ácido sulfúrico provoca el desplazamiento del Ca^{++} , debido a que los bicarbonatos de metales alcalinoterreos, desprendieron bajas cantidades de éste catión. El lavado provoca un decremento de hasta un 17.5% en relación al testigo, aquí el agua no provoca una alta solubilización de los metales alcalinoterreos.

La interacción ácido-lámina de lavado incrementa la pérdida de calcio en el complejo de intercambio, hasta un 73.05% esto para el tratamiento a5b5, en relación al testigo.

La acción del ácido sulfúrico sobre los metales alcalinoterreos, provocó la liberación de grandes cantidades de magnesio, así la enmienda exclusivamente ácida provocó un aumento de hasta un 4000.56%, en relación al testigo. El lavado no resultó tan favorable, aquí las concentraciones relativas de este catión aumentaron hasta un 988.88%, esto para el tratamiento a1b3 en relación al testigo.

La interacción ácido-lámina de lavado provocó el aumento de hasta un 2566.66% esto para el tratamiento a5b4, en relación al testigo. La liberación de magnesio por la acción del ácido sulfúrico puede ser favorable para el suelo siempre y cuando las concentraciones de este catión no sean extremas, debido a que los efectos causados por este catión sobre el suelo son muy parecidos a los causados por las altas concentraciones de sodio (Kamphorst, *op cit*).

El porcentaje de sodio intercambiable registro valores menores al 15% solo para los tratamientos a5b4 y a5b5, el rendimiento de la lechuga obtenido en estos tratamientos fué el más alto de todo el experimento.

La acción de la enmienda ácida provoca un decremento de hasta un 16.56% de sodio soluble para el tratamiento a5b1, con respecto al testigo. El lavado provocó un decremento de un 70.9% esto para tratamiento a1b5, en relación al testigo. La interacción ácido-lámina provocó un decremento de sodio soluble, de hasta un 76% esto para el tratamiento a5b5, en relación al testigo, en combinación con los cloruros son los iones más afectados, esto se debe fundamentalmente a la alta solubilidad de los compuestos que forman como por ejemplo: NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , CaCl_2 , etc.

El calcio soluble registró un aumento de hasta un 23.07% para el tratamiento a4b1, la interacción ácido-lámina provocó un decremento de este catión de hasta un 68.63% esto para el tratamiento a4b5, en relación al testigo, sin embargo es importante mencionar que en el momento de la titulación, no se pudo observar claramente el vire debido a la coloración de los extractos.

El magnesio soluble sigue el mismo comportamiento que el magnesio intercambiable, la acción del ácido produce un aumento de hasta un 128.97% para el tratamiento a4b1, el lavado provoca un decremento de un 81.79%, esto para el tratamiento a1b5, la interacción ácido-lámina provocó un decremento de un 75.58%, para el tratamiento a3b5, todos estos porcentajes estan en relación al testigo.

La acción solubilizadora de ácido sulfúrico sobre los bicarbonatos de metales alcalinoterreos, provocó la liberación de grandes cantidades de Mg^{++} , el cual desplazo al sodio del complejo de intercambio y provocó la formación de sales solubles, este fenómeno se registró con mayor intensidad en las dosis más altas de ácido, esto es para los tratamientos a4b1 y a5b1, aquí los bicarbonatos registraron un aumento de hasta un 733.33% en relación al testigo.

La acción del lavado sobre los bicarbonatos, provocó un aumento de por lo menos un 66.66% para el tratamiento a1b5, en relación al testigo, esto se debe a la acción solubilizadora del agua sobre este anión.

La interacción ácido-lámina provocó un aumento en la concentración de bicarbonatos de por lo menos 66.66% correspondiente a los tratamientos a5b5 y a4b5, esto en relación al testigo.

La concentración de sulfatos, registró un incremento de hasta 38.14% para el tratamiento a5b1, en relación al testigo, esto se debe a que el H_2SO_4 , al disociarse libera iones H^+ así como $SO_4^{=}$, además de los adicionados con el agua de riego.

El lavado provocó un decremento de un 82.71%, para el tratamiento a1b5, con relación al testigo, esto se debe a que la mayoría de las sales formadas por los sulfatos son altamente solubles.

La interacción ácido-lámina provocó un decremento de por lo menos un 60.85% para el tratamiento a4b5, en relación al testigo.

La enmienda ácida cumple con el objetivo de solubilizar sales como los bicarbonatos de Mg^{++} y Ca^{++} , en especial para las dosis más altas a4 y a5, sin embargo, esto provoca un aumento en la concentración de sales solubles con la consecuente disminución en la productividad de la lechuga; el lavado cumple con su efecto de eliminar sales solubles, sin embargo no tiene un efecto notable sobre la concentración de sodio intercambiable, con lo que el suelo permanece defloculado, la interacción ácido-lámina de lavado, cumple con estos dos objetivos y provoca un aumento sensible en el rendimiento de la lechuga y en consecuencia existe una disminución en la presión osmótica de la zona radicular y un aumento en la conductividad hidráulica.

El análisis de varianza (ANDEVA), para peso seco de Lactuca saliva cv. white boston, indica que existe una diferencia significativa, entre las dosis de ácido (F 7.90, P 0.0004) y las de lavado (F 127.03, P 0.0000) respectivamente.

El análisis múltiple de Tukey para el peso seco de lechuga, en relación a la aplicación de ácido, indica que existe una diferencia significativa entre el testigo y a5 (dosis máxima de ácido), lo que indica que el rango entre las dosis a2, a3 y a4 es muy pequeño, lo que provoca que el rendimiento de la lechuga entre las dosis a4 y a5 sea muy similar.

La interacción ácido-lámina en relación al peso seco de Lactuca saliva, indica que la aplicación de un lavado posterior a la aplicación del mejorador químico (H_2SO_4); provoca el incremento en el rendimiento de la lechuga de un 1258.00%, para el tratamiento a5b5 en relación al testigo (foto 1), de un 69.75% para el tratamiento a5b5, en relación al tratamiento a1b5 (foto 2), de un 662.92% para el tratamiento a5b5, en relación al tratamiento a5b1 (foto 2), y de un 136.58% para el tratamiento a5b5 en relación al tratamiento a3b3. De aquí que las dosis con mayor éxito en relación al rendimiento de la lechuga sean aquellas a las cuales se les aplicaron altas dosis de ácido y dosis intermedias y altas de lavado, todo esto está estrechamente relacionado con la disminución en los valores de conductividad eléctrica y PSI.

Por último el análisis múltiple de Tukey para peso seco de lechuga en relación a los lavados indica que existe una diferencia significativa entre las dosis b3, b4 y b5. De tal forma que el rendimiento de Lactuca saliva aumenta un 700.00% para el tratamiento a1b5, en relación al testigo (foto 2), un 1205.00% para el tratamiento a2b5, en relación al a2b1 (foto 2), de un 605.63% para el tratamiento a3b5, en relación al a3b1 (foto 2), de un 801.38% para el tratamiento a4b5, en relación al tratamiento a4b1 (foto 2), y de un 662.92% para el tratamiento a5b5 en relación al tratamiento a1b5 (foto 2).

La bondad de un lavado al suelo está estrechamente relacionada con el decremento en la concentración de sales solubles y por consiguiente los valores de conductividad eléctrica. Es importante mencionar que esto se consiguió aplicando agua del canal adyacente a la chinampa de estudio,

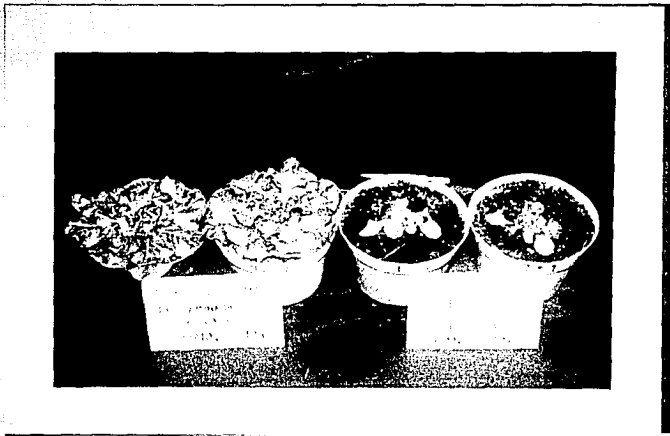


Foto 1. Comparación de la parte foliar del testigo con el tratamiento 25 (a5b5).

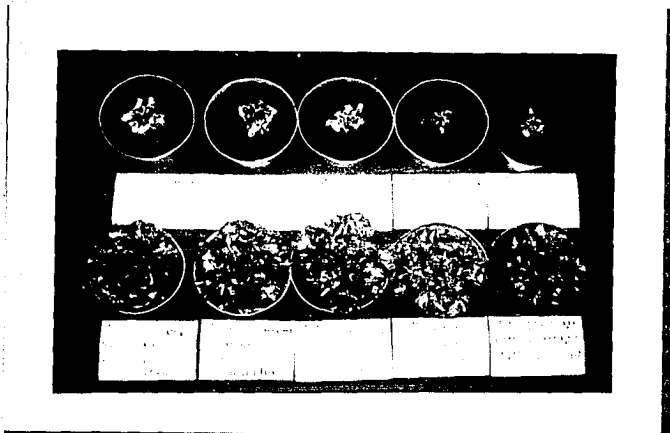


Foto 2. Comparación de la parte foliar del testigo con otros tratamientos (a1b1=1, a2b1=6, a3b1=11, a4b1=16, a5b1=21, a1b5=5, a2b5=10, a3b5=15, a4b5=20 y a5b5=25).

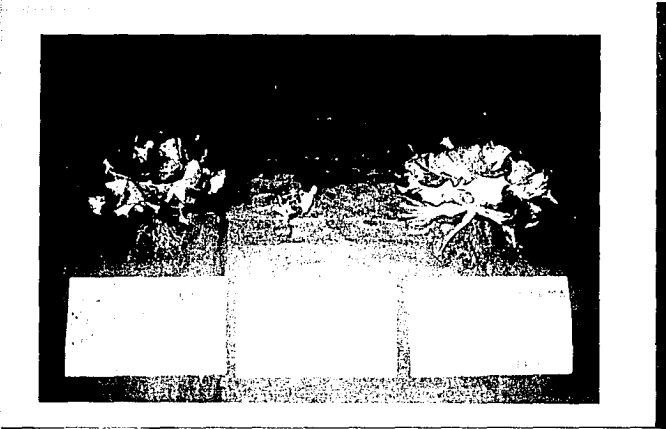


Foto 3. Comparación de la parte foliar y radicular del testigo con los tratamientos 25 (a5b5) y 20 (a4b5).

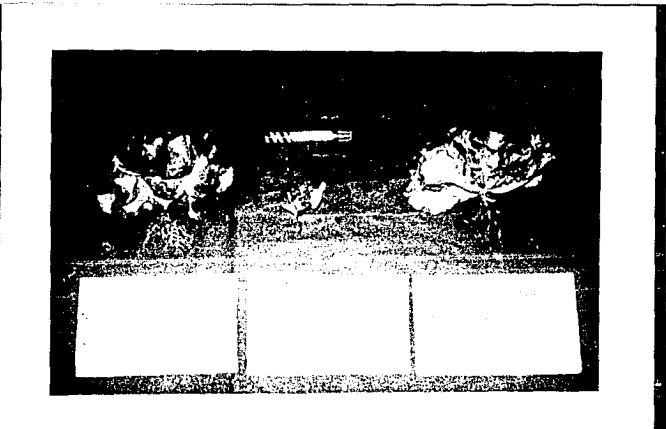


Foto 4. Comparación de la parte foliar y radicular del testigo con los tratamientos 25 (a5b5) y 24 (a5b4).

X CONCLUSIONES

1. La clasificación del suelo de la chinampa estudiada, corresponde a un salino-sódico, debido a que registró valores de conductividad eléctrica mayores a 4 mmhos/cm a 25°C, un porcentaje de sodio intercambiable mayor del 15.0%, y un pH mayor de 8.5.

2. El mejorador químico H_2SO_4 industrial adicionado al suelo provocó un decremento en los valores de PSI, y un aumento en la concentración de sales solubles con respecto al testigo, su efecto sobre el rendimiento de la lechuga no fué significativo.

3. La rehabilitación obtenida mediante láminas de lavado es altamente benéfica, debido a que se provocó la disminución en la concentración de sales solubles con respecto al testigo, además de tener un efecto significativo sobre el rendimiento de la lechuga, sin embargo el efecto sobre la concentración de sodio intercambiable no fué significativo.

4. La interacción ácido-lámina de lavado, es altamente benéfica, debido a que cumplió con los objetivos de reemplazar en alto grado el sodio intercambiable y la eliminación en gran medida de las sales solubles. Con lo cual se provocaron los siguientes efectos:

- a) Eliminación de sales solubles tóxicas a las plantas.
- b) Aumento en el rendimiento de la lechuga, en relación al testigo.

5. El análisis estadístico para evaluar los efectos del H_2SO_4 , lámina de lavado, así como su interacción indican:

- a) Que existe una diferencia significativa, entre las dosis a1 y 5, pero no entre las a2, a3 y a4.
- b) Que la aplicación de lavados aumenta el peso seco de la lechuga significativamente (aumento de hasta un 700% en el peso seco de la lechuga para el tratamiento a1b5, en relación al testigo), aún cuando se utilizó para este fin agua de los canales de Xochimilco.
- c) La interacción ácido-lámina es altamente benéfica, las altas dosis de ácido (a4 y a5); y las intermedias y altas de lavado (b3, b4 y b5), tienen buenos resultados en relación al rendimiento de la lechuga, los tratamientos con mejores resultados son el a4b5 y a5b5.

XI RECOMENDACIONES

1 Al implantar un plan de recuperación a nivel campo mediante el uso de las enmiendas utilizadas en el presente estudio, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- a) La concentración de carbonatos y bicarbonatos alcalinoterreos, presentes en el suelo.
- b) Concentración de sales solubles, presentes en el suelo.
- c) Forma y el lugar de aplicación en las enmiendas.
- d) Valor económico.
- e) Cultivos a implantar.

2 El uso de técnicas culturales (almacigos) en la región chinampera de Xochimilco, incrementa la sobrevivencia del cultivo a implantar, con lo cual se obtiene una mayor productividad, debido a que se disminuye el efecto de las sales, sobre los primeros estadios de desarrollo de la planta.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

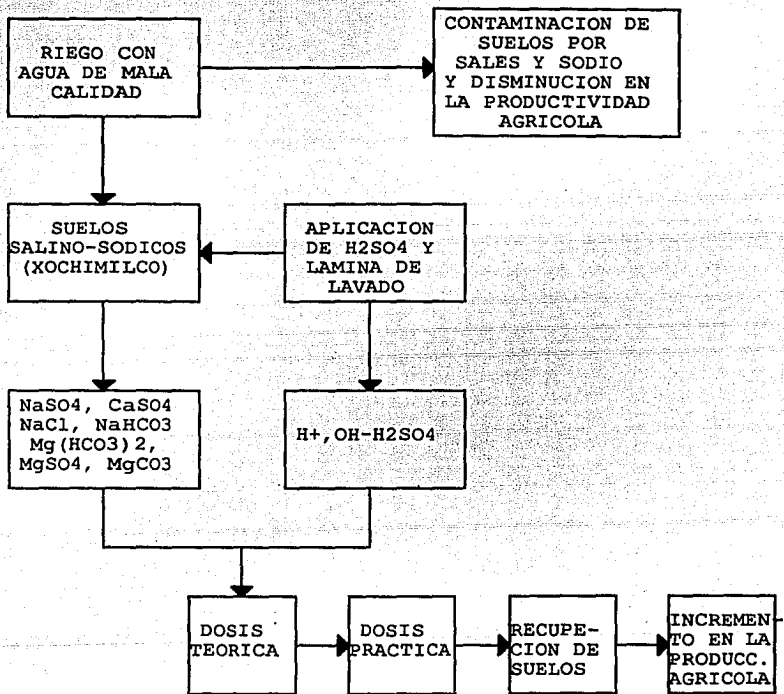


Figura 26. Modelo de manejo del H_2SO_4 y laminas de lavado, en la recuperaci3n de suelos salino-s3dicos de Xochimilco.

XII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Aceves, N. E. 1979. "El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Colegio de posgraduados, Rama de Riego y Drenaje. Chapingo. México. 376 p.p.
- Aguilar, J. 1978. "Descripción del Sistema Agrícola de Chinampas". Memorias del grupo de Estudios Ambientales, A. C. (GEA). 27-28.
- Aguilera, H. N. y Fuentes, C.E. 1951. "Estudio físico-químico y electro microscópico de la fracción arcilla de los micrones de algunos suelos de Xochimilco". Rev. Soc. Mex. de Historia Natural, Tomo XII 144: 10-144.
- Aguilera, H. N. 1989. "Tratado edafológico de México". Facultad de Ciencias. UNAM. 1ª Edición. 222 p. p.
- Aguilera, H. N. et al. 1987. "Rehabilitación de suelos de chinampa y su relación con las plantas cultivadas. Primer y Segundo informe a CONACYT.
- Allison, L. E. et al. 1973. "Diagnostico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos". Ed. Limusa 6ª ed. México D.F. 172 p.p.
- Alzate, R. J. A. 1792. "Memoria sobre agricultura". Gacetas de Literatura de México, 2(40): 316-329; 382-399.
- Ananyan, A. K., Mkrtchyan, S. M. and Mhitaryan, G. M. 1969. "Research on the design of vertical drainage for sodic-solonchaks of the Arat plain". Agrokem Talajat, 18 (Suppl): 139-158.
- 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. "Salt tolerance of Barley and Wheat in soil plots receiving several salinization regimes". Agron. J. 44: 307-310.
- Baez, A. D. y Belmont. 1972. "Algunos aspectos del deterioro de los canales de Xochimilco". Decenio Hidrológico Internacional. Memoria 1970-71 (México). Instituto de Geofísica. UNAM.
- Balanzario, Z. J. R. 1976. "Contaminación de las aguas en los canales de Xochimilco". Tesis Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Balanzario, Z. J. R. 1982. "Continuación en los canales de Xochimilco y su repercusión en las actividades económicas". Soc. Mex. de Geografía y Estadística.
- Basurto, P. F. 1986. "Efecto de 2 mejoradores (yeso y porqueraza) y caracterización de suelos salino-sódicos de la chinampería de Xochimilco, D.F. "Seminario de investigación de Edafología avanzada. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Bautista Z. F. 1988. "Estudio sobre la utilización de los licores ácidos de la industria metalúrgica, en la recuperación de suelos salino-sódicos". Tesis de Maestría en Biología. Fac. de Ciencias. UNAM. 116 p.p.
- Baver, H. D. 1956. " Soil physics, John Wiley and Sons Inc. New York, Chapman & Hall Ltd. Londres.

- Bouyoucos, G. V. 1961. "Directions of marking mechanical analysis of soil by hydrometer method". *Soil Science*. 42: 25-30.
- Caraveo, L. F. J. 1984. "Efectos de la aplicación de ácido sulfúrico en diferentes concentraciones (1, 3, 5 y 10 %) sobre los procesos de mejoramiento de un suelo salino-sódico del predio Montecillos, Chapingo México". Tesis U. A. Ch. 176 p.p.
- Cates, Richard L., Jr., Haby V.A., Skogley, E.O. and Ferguson, H. 1982. "Effectiveness of by-product sulfuric acid for reclaiming calcareous, saline-sodic soils". *J. Environ. Qual.* 11: 299-302.
- Cates, R. L. Jr. Haby, V.A., Skogley, E. O. and Ferguson, H. 1984. "Effects of by-product sulfuric acid on phito availability of nutrients in irrigated calcareous, saline-sodic soil". *J. Environ. Qual.* 13: 252-256.
- Cervantes, G. E. F. y Torres R. E. A. 1981. "Algunos aspectos del crecimiento de las plántulas en chapines". Tesis Biología. Fac. de Ciencias. UNAM. 55 p.p.
- Chapa, S. H. 1939. "La fundación de la ciudad de Xochimilco". *Rev. de Inv. Hist.* Tomo I, Nº 3: 303-311.
- Chena, G. R. 1958. "Recuperación de un suelo salino-sódico". *Agríc. Téc. de México*. Vol. 4, Nº 8: 17-18.
- Cid, S. K. y Jiménez-Osornio, J. J. 1981. "Relaciones del cultivo de Arvenses en una chinampa". Tesis Biología. Fac. de Ciencias. UNAM. 45 p.p.
- Coe, M. 1964. "The chinamps of the Mixquic". *Sci. Amer.* 260: 90-96.
- Corona, S. E. 1977. "Los trabajos de investigación regional en el sur de la Cuenca del Valle de México". Cuicuilco, año II, Nº 3:8-11.
- Donahue, R. L., Miller, R.W. and Schicluna, J. C. 1977. "Soils. An Introduction to soils and plant growth". Ed. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. USA. 262-282 p.p.
- Doneen, L. D. 1948. "The quality of irrigation water and soil permeability". *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 15: 523-526.
- Escobedo, F. R. 1987. "Estudio edafológico de chinampas de Xochimilco y San Gregorio". Tesis Biología. Fac. de Ciencias. UNAM. 80 p.p.
- Farías, G.J. 1964. "Xochimilco histórico y arqueológico". *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*. México D.F. Nº 98:159-200.
- Fernández, Q. C. M. 1988. "Manejo y recuperación de un suelo salino-sódico en chinampas de Xochimilco". Tesis Biología. Fac. de Ciencias. UNAM.
- Flowers, T. J. Troke, P. F. and Yeo, E. R. 1977. "The mechanism of tolerance in Halophytes". *Ann. Rev. Plant. Physiology*. 28: 89-121.
- García, E. 1981. "Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen". UNAM. México D.F. 252 p.p.
- García, G. R. 1934. "Xochimilco, (Momografías Mexicanas de Arte)". Talleres Gráficos de la Nación, México D.F. 1ª Ed. pag.: 1-23.
- González, Q. L. 1981. "Análisis polínico en la porción austral de la Cuenca de México". Cuicuilco. 4, año II.

- Hilgard, E. W. 1906. "Soils, their formation, properties, composition and relations to climate and Plant growth". New York and London, 593 p.p.
- Jackson, M. L. 1982. "Análisis químico de suelos". 4ª Ed. Omega. Barcelona, España.
- Jerrold, H. 1984. "Bioestadistical Analysis". Ed Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. N. J. 2ª Ed. 358 p.p.
- Jiménez, O. y Del-Amo, S. 1987. "Lost of intensive mexican traditional agroecosystem". Gestión de ecosistemas A. C. México 15 p.p.
- Jiménez, O. y Gómez-Pompa, A. 1987. "Las chinampas mexicanas". Department of Botany and Plant Sciences, University of California, Riverside. 24 p.p.
- Kamphorst, J. and Vens, T. 1978. "Saline and sodic soils". En Bolt, G. Ed. Soil Chemistry. A: Basic elements. USA. Elsevier. Sc. P. C. 527 p.p.
- Kelly, W. P. y Brown, S. M. 1934. "Principles governing the reclamation alkali soil. Hilgardia 8:149-177.
- Kurvatov, A. I., Okobokov, V. V. and Berenzin, L. V. 1975. "The effect of amendments on the electron Kinetic properties of solonchets of Western Siberia. Izv. Timiryazev S. Kh Akad., Nº 5:104-108.
- López, J. y López, M. 1985. "El diagnostico de suelos y plantas (Métodos de campo y laboratorio)". Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Lugo, D. J. 1984. "Suelos sódico-salinós del ejido de Xochimilco" Tesis Biología. Fac. de Ciencias. UNAM.
- Manuelyan, M. C. et. al. 1968. "A study of interaction between sulfurous acid and sodium carbonate solonchacks". Soviet. Soil. Sci. Vol. 8, Nº 6: 202-212.
- Manuelyan, M. C. et. al. 1968. "Reclamation of soda Solonchack by sulphurous acid". Soviet Soil. Sci. Vol. 1, Nº 6: 775-783.
- Manukyan, R. R. 1976. "Improvement of sodic solonchack-solonetz on the Arat plain with mineral-acids and copperas (based on laboratory experiments)". Sov. Soil. Sci. 8: 202-212.
- Mendoza, M. R. 1961. "Estudio geográfico de la Delegación Xochimilco". Tesis de Maestría. Fac. de Filosofía y Letras. UNAM.
- Miyamoto, S., Prather, R. J. and Stroehlein, J. L. 1975. "Sulfuric acid leaching requirements for reclaiming sodium-affected calcareous soils". Plant and Soil. 43: 573-585.
- Miyamoto, S., Ryan, J. and Stroehlein, J. L. 1975. "Potential y beneficial uses of sulfuric acid on Southwestern Agriculture". J. Envirom. Qual. Vol. 4, Nº 4: 431-437.
- Mooser, F. 1961. "Informe sobre la geología de la Cuenca del Valle de México y zonas colindantes". Sría. de Rec. Hidráulicos. Com. Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.
- Munsell, 1975. Soil Chart. Edition Munsell Color Co. Baltimore Maryland
- Novelo, R. A. y Gallegos, M. M. 1988. "Estudio de la flora y la vegetación acuática relacionada con el sistema de chinampas en el sureste del Valle de México". Biotica. Vol. 13, Nº 1 y 2: 121-139.
- Oganesyan, K. A. 1964. "Acification of soil os the Arazdayan steppe after sowing". Pochvovedenie. 2: 56-64.

- Oganesyan, K. A. 1968. "Acification of soil after sowing in the Arazdayan steppe". Sov. Soil. Sci. N° 6.
- Oganesyan, K. A. 1975. "Norms water for the desalinization of soda solonetz solonchak of the plain of Arat Armenian S. R. R., during their acidification. Int. Symp. New Develop Field Salt Affected Soils, Cairo (1972):267-271.
- Ortiz, O. M. 1986. "El muestreo de suelos salinos y sódicos". Chapingo. 24p.
- Overstreet, R., et al. 1951. "Gypsum sulfur, and sulfuric acid for reclaiming and alkali soil of the Fresno Series". Hilgardia, Vol. 21, N°5: 113-128.
- Overstreet, R., et al. 1955. "Reclamation of alkali soil of the Hacienda Series". Hilgardia, 24: 53-68.
- Palacios, V. O. y Aceves, N. E. 1970. "Instructivo para el muestreo, registro, de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola". Colegio de Postgraduados de Chapingo. México.
- Palerm, A. 1973. "Obras hidráulicas prehispánicas en el sistema lacustre del Valle de México". Centro de Investigaciones Superiores SEP-INAH. México. 244 p.p.
- Petrosyan, G. P. and Auundhan, Z. S. 1975. "Chemical reclamation effect on physical and water-physical properties of soda saline soils in Pre Arax Low Land". Int. Symp. New Develop field salt affected soils. Cairo, 513-523.
- Pizarro, F. 1978. "Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos y sódicos". Ed. Agrícola española. España. 520 p.p.
- Prater, 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.
- Quiroz, F. A., Miranda, M. A. y Lot, A. 1982. "Uso potencial de algunas hidrófitas como abono verde en la zona chinampera de Xochimilco". Biótica, 7(4): 631-633.
- Reyes, J. I. 1985. "Efecto de mejoradores químicos en suelos sódicos-salinos del ejido Cienega Grande, Xochimilco, D. F., a nivel invernadero". Tesis de maestría en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. 140 p.p.
- Rodríguez, L. 1965. "Características y posibilidades de los suelos del lado oeste del Lago de Texcoco". Tesis ENA. Chapingo. México.
- Rojas, R. T. 1983. "La agricultura chinampera". Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía, N° 7 U. A. Ch. Chapingo, México. 229 p. p.
- Rojas, R. T. 1984. "La tecnología indígena de construcción de chinampas en la Ciudad de México". en Civilización (Configuraciones de la diversidad) . U. A. M., Iztapalapa y Fundación Ford-México, N° 2, 13-47.
- Rojas, R. T. 1987. "The chinamps of the Valley of México". Ponencia presentada en el simposium "Traditional Wet Field Agriculture in the American and Asian Tropics". Universidad de California, Riverside. 21 p.p.
- Ryan, J., Stroehlein, J. L. and Miyamoto, S. 1975. "Effect of surface-applied Sulfuric-acid on growth an Nutrient, availability of range grasses in calcareous soils". Journal of Range Management. 28(5): 411-414.

- Ryan, J., Stroehlein, J. L. and Miyamoto, S. 1975. "Sulfuric acid applications to calcareous soils. Effects on growth and chlorophyll content of common Bermuda grass in the greenhouse". Agr. J. 67: 633-637.
- Ryan, J., Stroehlein, J. L. 1979. "Sulfuric acid treatment of calcareous soils; effects on phosphorus solubility, inorganic phosphorus forms and plant growth". Soil Sci. Am. J. 43: 731-735.
- Sanchez, S. O. 1980. "La flora del Valle de México". Ed. Herrero, 6ª ed., México, D. F. 519 p. p.
- Sanders, W. T. 1957. "Tierra y agua. A Study of the ecological factors in the Development of Mesoamerican civilizations". Depart. of Anthropology, Harvard University.
- Santamaría, M. 1912. "Las chinampas del Distrito Federal". Selección de estudios y conferencias de la Sociedad de México, de Geografía y Estadística. México. 4-40 p. p.
- Shaininberg, I., Keren, R. and Frenkel, H. 1982. "Response of sodic soils to gypsum and calcium chloride application". Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 113-117.
- Shchurina, G. N. y Kurbatov, A. I. 1976. "The alteration of some properties of a solochank-solonetz during reclamation". Izv. Timir. S-Kh Akad. Nº 5:117-124.
- Sigmond, A. A. J. 1938. "The principles of soils science". London. Illus. 362 p. p.
- Singh, L. B. 1970. "Utilization of saline-alkali soil without prior relation Rosa damascena, its botany, cultivation and utilization". Econ. Bot. 24 (2): 175-179.
- Szabolcs, I. 1989. "Salt-affected soils". USA. CRC. Press. 274 p.p.
- Tobia, S. K. and Pollard, A. G. 1958. "Effects of acidification of alkali and calcareous soils". J. Sci. Fd. Agric. 9: 705-713.
- Trejo, C. A. 1984. "Estudios edafológicos del Ejido Grande de Xochimilco". Tesis de Biología. Fac. Ciencias. UNAM.
- Ureña, C. C. F. 1975. "Estudio preeliminar para la recuperación de los suelos salinos-sódicos del Ex-lago de Texcoco". Tesis U. A. de Coahuila. Escuela Superior de Agricultura. Antonio Narro. México.
- Villanueva, P. 1977. "Crisis sociopolítica contemporánea en la región chinampera, México". Biología, Consejo Nacional para la enseñanza de la Biología, A. C. 7 (1-4): 52-57.
- Villanueva, P. 1991. "La chinampería de Xochimilco". Tesis de Maestría en Etnología. ENAH. México. 192 p.p.
- West, R. C. y Armillas, P. 1950. "Las chinampas de México. Poesía y realidad de los Jardines Flotantes". Cuadernos Americanos, Nº 50: 165-182.
- Yahia, T. A., Miyamoto, S. and Stroehlein, S. L. 1975. "Effects of surface applied sulfuric acid on water penetration into dry calcareous and sodic soils". Soil Sci. Amer. Proc. Vol. 39, Nº 6: 1201-1204.

APENDICE

Cálculo de la Necesidad de

Mejorador y Láminas de Lavado.

1 Cálculo de la Necesidad de Mejorador.

Para calcular la Necesidad de Mejorador se utilizó la fórmula recomendada por Pizarro (op cit), donde la dosis teórica está dada por:

$$Dt = (PSIi-PSIf) \times CICT \times da \times Pe \times h / 100$$

donde:

Dt =Dosis teórica del mejorador en Kg/ha.

PSIi=Porcentaje de Sodio intercambiable inicial.

PSIf=Porcentaje de Sodio intercambiable final.

CICT=Capacidad de intercambio catiónico total en meq/100 gr.

Pe =Peso equivalente del mejorador.

da =Densidad aparente del suelo en gr/cm³.

h =Altura.

Esta fórmula se ha deducido basándose en una sustitución total del calcio añadido. En la práctica ésta condición no se cumple y así, cuando el PSI del suelo es mayor del 25%, el 90% del calcio añadido reemplaza al sodio, mientras que el porcentaje baja al 50% cuando el PSI baja.

Con objeto de tomar en cuenta este hecho, y no complicar demasiado la dosis práctica (Dp), que es la que realmente se aplica, se calcula según:

$$Dp = Dt \times K$$

donde:

Dt=dosis teórica

K =factor de corrección para el H₂SO₄ que es de 1.10

Sustituyendo los valores para el suelo estudiado tenemos:

PSIi=61.38%

PSIf=15.00%

CICT=63.75 meq/100 gr

Pe= 49.04

da= 0.61 g/cm³

h= 30 cm.

$$Dt=(61.38-15) \times 63.75 \times 49.04 \times 0.61 \times 30/100$$

$$Dt=46.38 \times 63.75 \times 49.04 \times 0.61 \times 30/100$$

$$Dt=2653459.63 / 100$$

$$Dt=26534.59 \text{ Kg/ha}$$

$$Dp=Dt \times K$$

Sustituyendo

$$Dp=26534.59 \times 1.10$$

$$Dp=29188.0 \text{ Kg/ha}$$

Este valor corresponde a la dosis a5, así para las dosis a4, a3, a2 y a1 que corresponden al 75%, 50%, 25% y 0% de éste valor tenemos:

$$a4=21891.0 \text{ kg/ha}$$

$$a3=14594.0 \text{ Kg/ha}$$

$$a2=7297.0 \text{ Kg/ha}$$

$$a1= 0.0 \text{ Kg/ha}$$

2 Cálculo de la Necesidad de lavado.

La cantidad de lavado necesaria para eliminar el exceso de sales se calculó, en base a un previo ensayo en el laboratorio. Para ello se montaron 5 columnas de suelo que consistían de una muestra de 100 g de suelo seco (capa arable) de la chinampa de estudio, a las cuales se les añadió una cantidad diferente de lavado de 10, 15, 20, 25 y 30 cm, de cada una de ellas se colectó el lixiviado.

Pasadas 24 horas se registraron los valores de C.E. en mmhos/cm de cada lixiviado y se realizó una gráfica para calcular la cantidad de lavado necesaria para reducir la C.E. a 4 mmhos/cm a 25°C.

De esta manera se obtuvo que una lámina de 24 cm reduce la conductividad eléctrica a aproximadamente 4 mmhos/cm, este valor corresponde a la dosis b5. Así para las dosis b4, b3, b2 y b1 que corresponden al 75%, 50%, 25% y 0% de este valor tenemos:

$$b4= 18 \text{ cm}$$

$$b3= 12 \text{ cm}$$

$$b2= 6 \text{ cm}$$

$$b1= 0 \text{ cm}$$