

173  
2ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE CIENCIAS

" RECUPERACION DE UN SUELO SALINO-  
SODICO EN UNA CHINAMPA DE LA LAGUNA  
DEL TORO, XOCHIMILCO, D.F."

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
BIOLOGO  
P R E S E N T A :  
GONZALO VALDEZ MADERO



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. NICOLAS AGUILERA HERRERA

**FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

**M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE**

Jefe de la División de Estudios Profesionales  
Facultad de Ciencias  
Presente

Los abajo firmantes, comunicamos a Usted, que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realiz(ó)ron el pasante(s) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Valdez Madero Gonzalo \_\_\_\_\_

con número de cuenta 8429580-8 con el Título: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ "Recuperación de un suelo salino-sódico en una  
\_\_\_\_\_ chinampa de la Laguna del Toro, Xochimilco, D.F." \_\_\_\_\_

Otorgamos nuestro **Voto Aprobatorio** y consideramos que a la brevedad deberá presentar su Examen Profesional para obtener el título de Biólogo

GRADO	NOMBRE(S)	APELLIDOS COMPLETOS	FIRMA
M. en C. Director de Tesis	Nicolás	Aguilera Herrera	<i>Nicolás Aguilera Herrera</i>
M. en C.	Rosalía	Ramos Bello	<i>Rosalía Ramos Bello</i>
M. en C.	Amada Laura	Reyes Ortigoza	<i>Amada Laura Reyes Ortigoza</i>
Biól. Suplente	Claudia	Vallejo Albarrán	<i>Claudia Vallejo Albarrán</i>
Biól. Suplente	Abel	Ibañez Huerta	<i>Abel Ibañez Huerta</i>

## DEDICATORIA

A mi madre...

Por darme la vida y parte de la suya. Por cuidarme cuando era un niño. Por ser no sólo una madre, sino también un padre para mí. Por hacerme olvidar el deseo de admirar la imagen de un padre fuerte y protector. Por la libertad que me dió cuando la necesité y que me ayudó a comprender aspectos elementales de la vida. Por la ayuda que siempre me ofrece, sin esperar que algún día se lo compense. Por tener la capacidad de salir adelante sola y hacer de mis hermanos y yo, lo que somos, aún en las circunstancias más difíciles. Por hacerme madurar con sus consejos. Porque si acaso fallaron las palabras, han sobrado los hechos con los cuales se demuestra el cariño de una Madre para con sus hijos. Por el apoyo que me ha brindado y con el cual he logrado una meta de las que me he trazado. Por perdonarme que sólo a través de estas líneas, pueda expresar lo que siempre he querido expresarlo con palabras y que a veces quiero decirlo con la mirada. Por eso y por muchas más cosas que he recibido de ella, dedico este sencillo trabajo a mi MAMA.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco la atención del M. en C. Nicolás Aguilera Herrera que ha tenido para conmigo, no solo en la realización de este trabajo, sino también en mi formación académica y en la motivación personal. Agradezco también a la M. en C. Rosalía Ramos Bello, M. en C. Amada Laura Reyes Ortigoza, Biól. Claudia Vallejo Albarrán y Biól. Abel Ibañez Huerta, por la revisión y sugerencias realizadas para mejorar mi trabajo.

Gracias a la Dra. Norma Eugenia García Calderón, M. en C. Ma. del Socorro Galicia Palacios, M. en C. Italia Mercado Sotelo, Biól. Angela Sotelo Sotelo, Biól. Fernando Salinas Velazquez y Biól. Luis Martín Arpide Contreras por ofrecerme su amistad y apoyo. Agradezco la amistad sincera que recibí de parte de Loudes Vargas Gómez a quien siempre le tendré muchísimo aprecio. Le expreso mi mas sincero agradecimiento a Susana Nava Márquez por su desinteresada ayuda en toda la realización de este trabajo de tesis, y por su invaluable amistad y cariño. Gracias a Azucena por todo lo que a hecho por mí, por su apoyo, y a quien expreso mi mas profundo cariño. Gracias a Laura por su atención por mí y por ser como es, conmigo.

Un agradecimiento especial a la Dra. María Engracia Hernández C. porque es una persona que se ha portado conmigo como pocas personas lo han hecho, siempre amable, y dispuesta a ayudarme en todo. Si en la tierra existen Ángeles, ella es uno de ellos.

Finalmente agradezco a Dios por hacer posible todo lo que he expresado y poner en mi camino a todas las personas que han tenido que ver con mi formación personal.

## INDICE

I. INTRODUCCION	5
LAS CHINAMPAS	5
A. Origen	5
B. Construcción	7
C. Forma y dimensiones	8
D. Cultivo	9
E. Problemática	11
II. OBJETIVOS	13
A. Generales	13
B. Específicos	13
III. ANTECEDENTES	14
A. Origen de las sales	14
B. Formación de los suelos salinos	15
C. Efectos de la salinidad sobre el suelo y las plantas	16
D. Tolerancia de las plantas a las sales	18
E. Clasificación de los suelos salinos	20
F. Recuperación de los suelos salinos-sódicos	21
TECNOLOGIA FUNDAMENTAL	21
1. Tecnología Química	21
2. Tecnología Física	26
Técnicas Mecánicas	26
Técnicas Eléctricas	27
3. Tecnología Biológica	27
IV. DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	28
A. Ubicación geográfica	28
B. Localización	31
C. Geología	31
D. Fisiografía	33
E. Hidrología	34
F. Clima	37
G. Vegetación	39
H. Fauna	40
I. Suelos	41
V. METODOLOGIA	43
A. ETAPA DE CAMPO	43
B. ETAPA DE LABORATORIO	43
VI. RESULTADOS	45
ANALISIS FISICOS	45
ANALISIS QUIMICOS	60
VII. DISCUSION	96
VIII. CONCLUSIONES	100
IX. RECOMENDACIONES	101
X. BIBLIOGRAFIA	102

## I. INTRODUCCION

En México al igual que en otros países en desarrollo, conviven dos tipos de agricultura principales: una es la denominada agricultura moderna industrial, basada en un alto consumo de energía fósil a través del uso de maquinaria e implementos agrícolas diversos, así como el extensivo uso de insumos químicos para el control de plagas y malezas, y para la fertilización de los suelos. Esta agricultura está basada en los descubrimientos de la ciencia y tecnología moderna. Cuando se hace referencia de la "revolución verde" se está refiriendo a este tipo de agricultura. La otra agricultura es la tradicional la cual está basada principalmente en una serie de prácticas y métodos que las sociedades tradicionales han desarrollado con su ciencia empírica a través de las generaciones. Esta agricultura tradicional se practica por millones de campesinos de países en desarrollo y se basa principalmente en el uso de la energía biológica, especialmente en el uso intensivo de la mano de obra campesina. Algunos de estos sistemas tradicionales que no usan la tecnología moderna, por lo que muchas veces son considerados como primitivos o simples, han demostrado ser altamente productivos y sostenibles a través del tiempo.

En México contamos con agrosistemas tradicionales que fueron utilizados con eficiencia por culturas prehispánicas que llegaron a tener gran esplendor. Estos sistemas han demostrado tener una producción sostenida con un mínimo deterioro del ambiente. El sistema agrícola más intensivo, en términos de producción anual por unidad de área y con mayor biodiversidad, es el agrosistema chinampero, que actualmente se encuentra en peligro de desaparecer debido al crecimiento urbano de la Ciudad de México y a la sobreexplotación de los mantos acuíferos. (Jimenez-Osorio J.J et al, 1990)

### LAS CHINAMPAS.

#### A. Origen.

Hasta hace pocos años se creyó que las chinampas de la Cuenca de México eran un caso único en el área mesoamericana. Hoy se sabe que las parcelas de cultivo del tipo de las chinampas de la Cuenca de México no fueron únicas en Mesoamérica ni en América prehispánica. Investigaciones hechas en los últimos dos decenios han localizado numerosos restos arqueológicos de terrenos agrícolas cuyas características formales los hacen semejantes, si no exactos, a los conocidos como chinampas. Se encuentran en diversas partes del México actual, así como en otros países sudamericanos como Surinam, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Se localizan tanto en sabanas de las tierras bajas tropicales como en los valles de los altiplanos, básicamente en áreas que se anegan por temporadas, cuya utilización agrícola en la estación húmeda solo ha sido posible gracias a diversas formas de drenaje de los suelos.

Según algunos especialistas, las chinampas surgieron unos 2000 años a.C. en forma limitada; otros lo consideran como un fenómeno más tardío, y lo sitúan hacia el año 800 d.C. (Jimenez-Ororio, Op. cit.).

Cuenta la historia que en tiempos de Acamapichtli (siglo XIV), siendo los mexicas vasallos de Azcapotzalco, el tirano Tezozomoc, cacique de la tribu tepaneca (en ese tiempo la preponderante en el valle de México), exigió por tributo que le llevaran, para plantar en la cabecera de su señorío, sabinos y sauces ya crecidos, y que le hablan de hacer cada año sobre una balsa una sementera y en ella maíz, chile, frijoles, tomates, calabazas, bledos y flores; y además, que lo habían de llevar por agua estando todo crecido y en sazón. Notificados los mexicas quedaron en la mayor aflicción, puesto que formar la sementera flotante les parecía imposible. Acamapichtli, les infundió valor al saber que recibirían la ayuda de Huitzilopochtli. Ocoaltzin había hablado la noche precedente en estos términos: "Visto he la aflicción de los mexicanos y sus lágrimas; díles que no se aflijan ni reciban pesadumbre, que yo los sacaré a paz y a salvo de todos estos trabajos: que acepten el tributo; y dile a mi hijo Acamapichtli que tengan ánimo y que lleven los sabinos y los sauces que les piden, y hagan la balsa y siembren en ella todas las legumbres que les piden, que yo lo haré todo fácil y llano". (Santamaría M, 1912).

Según el cronista Hernando Alvarado, los mexicas, durante su peregrinación, laboraron camellones que llamaron chinamitl por primera vez, cuando llegaron a Tequexquiac, en el límite septentrional de la cuenca de México; después las hicieron en Zumpango o Cuachilco, en Xaltocan y en Epcoac, en el noreste de la cuenca, eso sucedió durante el siglo XIII.

Los informes tradicionales son insuficientes para poner en claro el origen y la antigüedad del cultivo de la ciénega en México. Parece que la zona de chinampas más antigua es la que se extiende a lo largo de las orillas meridionales de los lagos de Chalco y Xochimilco, en el sur de la cuenca de México. Cuando los inmigrantes mexicas laboraron por primera vez chinampas en los lugares mencionados por Tezozomoc, no hicieron, probablemente, sino aprender una técnica nueva para ellos pero acaso muy antigua en la cuenca. (West C.R. y Armillas P, 1950).

Se calcula que hace aproximadamente 10 000 años comenzaron a llegar a la cuenca de México los primeros grupos humanos que eran básicamente pescadores y recolectores nómadas. Investigaciones arqueológicas señalan que hubo asentamientos humanos en ésta zona desde siglos antes de la era cristiana y hasta el siglo I a.C. Probablemente el inicio del cultivo de chinampas se remonte a esta época. En el período comprendido del siglo I al XII d.C. el nivel de agua aumento en la cuenca de México, por lo que el sistema no pudo mantenerse en éste lugar. Por el dominio teotihuacano es esta época y por no haber sido afectado su territorio por el aumento de agua, se sugiere que ahí pudo haberse continuado la tradición de las chinampas. (López R.G.F, 1988).



## B. Construcción.

Varios autores han descrito la manera en que se construía una chinampa. West y Armillas (1950) describían que para "alzar" una nueva chinampa, se cortaban tiras de césped usando coas provistas de hoja de hierro de forma triangular. Las dimensiones de la chinampa eran frecuentemente, de cinco a diez metros de ancho y hasta cien metros de largo, las cuales eran movidas como balsas hasta el lugar elegido y ahí se amontonaban una sobre otra, de modo que la tira superior emergía ligeramente sobre el agua. La superficie se cubría entonces con cieno extraído del fondo del lago o tierra tomada de chinampas viejas y quedaba la nueva chinampa lista para ser manejada. La joven chinampa, que al principio realmente flotaba, era anclada por medio de estacas de sauce (*Salix* sp) o ahuejote, hincadas en sus bordes que posteriormente se arraigaban para sostener con sus raíces la tierra de sus bordes, evitando que se desmorone.

Rojas R,T (1984), basándose en algunos textos de antiguos cronistas, cita dos métodos de construcción de chinampas: el primero de ellos es practicamente el mismo que se ha descrito anteriormente; el segundo es una descripción que hizo José Antonio de Alzate y Ramírez en 1791 y que consistía en excavar zanjas que delimitaban la chinampa, en amontonar sobre su superficie el lodo extraído y finalmente formar un terraplen con tierra acarreada "de lejos". Este segundo método se cree que es en realidad más de drenaje de zonas pantanosas de poca profundidad que de creación artificial de suelo.

La siguiente descripción corresponde a la que hace el agrónomo Miguel Santamaría (1912) de boca de los ancianos de Xochimilco e Iztacalco-Iztapalapa:

- Para proceder a la formación de una chinampa, lo primero que hacen es buscar un "cimientto"; esta operación es muy fácil y consiste en sondear el fondo del canal con un remo hasta encontrar un punto en 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 o carrizos.

- Sobre este "cimientto" van extendiendo capas de tierra y césped alternadas convenientemente hasta lograr que salgan a flor de agua.

-El césped crece en las llamadas "cienegas" que ocupan muy grandes extensiones, y está constituido por la aglomeración de plantas acuáticas, esencialmente el lirio (*Hitckornia* spp), en masas tan compactas que se podría caminar sobre ellas sin hundirse. Para utilizar el césped lo cortan con palas o coas.

- La tierra para hacer la chinampa, la quitan a las chinampas antiguas que a consecuencia del cultivo que reciben, han alcanzado una gran altura sobre el nivel del agua, que las hace inapropiadas para el cultivo.

- 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 ahuejote (*Salix* sp) en las orillas, con el objeto de consolidar el terreno. Las estacas se plantan a una distancia de 4 a 5 m.

- Ya que los sauces han prendido queda la chinampa lista para ser cultivada (fig 1 ).

- A los cuatro años de formada la chinampa, ya la descomposición de materia orgánica es casi completa, "ya se hizo tierra", como dicen los indígenas.

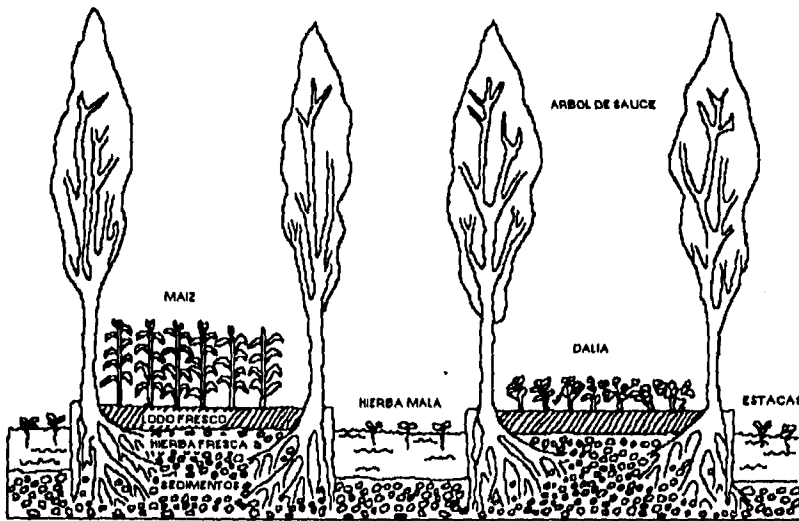


Fig. 1. Diagrama que muestra la construcción de una chinampa tradicional a base de capas alternativas de hierbas acuáticas, abono y suelo dentro de un rectángulo de cañas firmemente enraizadas en el fondo del lago o pantano. Los ahuejotes plantados en las orillas proporcionan sombra, mientras que sus raíces fijan las camas al fondo.

### C. Forma y dimensiones.

Las chinampas son franjas de tierra con diversas formas y dimensiones: largas, angostas, cuadradas, redondas y generalmente rodeadas por agua, (por lo menos en tres de sus lados). Actualmente muchas de las chinampas se han azolvado y fusionado, alcanzando áreas de más de dos hectáreas; sus medidas van de 100 a 200 m de largo por 10 o más de ancho.

#### D. Cultivo.

El maíz es uno de los numerosos cultivos prehispánicos que hasta la actualidad permanecen y se producen en las chinampas, siendo el principal y más constante cultivo a través de los siglos. El jitomate le sigue en importancia, con una producción plenamente orientada al mercado; el tomate, los chiles y las calabazas también se cultivaron en forma predominante a fin de comercializarse en la ciudad de México. A continuación se enlistan las plantas que se cultivaron y cultivan actualmente entre las cuales tenemos tanto especies nativas como introducidas.

Nombre común	Nombre científico
Acelga	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i> L.
Agazania (Gazania)	<i>Gazania</i> spp
Ajo	<i>Allium sativum</i>
Ahuejote	<i>Salix bomplandiana</i> H.B.K.
Albaca	<i>Ocimum basilicum</i>
Alcachofa	<i>Cynara scolymus</i> L.
Alcatraz	<i>Zantedeschia</i> spp
Alegría o Uauhtli	<i>Amarantus leucocarpus</i> S. Wats
Alfombrilla	<i>Verbena pulchella</i>
Alhelí	<i>Matthiola incana</i> (L.) Br. et R.
Alverjón	<i>Pisum arvense</i> L.
Amapola	<i>Papaver rhoeas</i> o <i>Papaver somniferum</i> L.
Amapola japonesa	<i>Eschscholtzia californica</i>
Apio	<i>Apium graveolens</i> L.
Aretillo	<i>Fuchsia fulgens</i>
Azucena	<i>Lilium candidum</i> L.
Betabel	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>crassa</i> Alef.
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>cauliflora</i>
Calabacita japonesa	<i>Cucurbita pepo</i> L.
Calabacita redonda	<i>Cucurbita pepo</i> L.
Calabacita de castilla	<i>Cucurbita mixta</i> Pang.; o <i>Cucurbita mostacha</i> y <i>maxima</i> Duch.
Capulín	<i>Prunus capuli</i> C.
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i> L.
Cebolla	<i>Allium cepa</i> L.
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i> L.
Ciruelo	<i>Prunus</i> spp
Clavel	<i>Dianthus caryophyllus</i>
Col	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.
Col de Bruselas	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>gemmifera</i> L.
Colinabo	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>napobrassica</i>
Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i> L.

Crisantemo	<i>Chrysanthemum</i> spp L.
Chabacano	<i>Prunus armeniaca</i> L.
Chayote	<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.
Chias	<i>Salvia hispanica</i> L. o <i>Salvia suaveolens</i> Poy.
Chícharo de olor	<i>Lathyrus odoratus</i> L.
Chilacayote	<i>Cucurbita ficiflora</i> Couche.
Chiles	<i>Capsicum annuum</i> L. ; <i>Capsicum frutescens</i> L.
Chino	<i>Impatiens sultani</i> ; <i>Impatiens holstii</i>
Dalia	<i>Dahlia coccinea</i> Cav.; <i>Dahlia pinnata</i> ; <i>Dahlia lehmannii</i> Hieron
Durazno	<i>Prunus persica</i> Stokes.
Epazote	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.
Espinaca	<i>Spinacea oleracea</i> L.
Cempoalxochitl	<i>Tagetes patula</i> L.; <i>Tagetes erecta</i> L.
Frijol delgado	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
Frijo gordo o ayocote	<i>Phaseolus coccineus</i> L.
Gladiola	<i>Gladiolus</i> spp
Granada	<i>Punica granatum</i>
Haba	<i>Vicia faba</i> L.
Higo	<i>Ficus carica</i>
Jitomate	<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.
Lenteja	<i>Lens culinaris</i>
Lirio	<i>Iris spuria</i>
Maguey	<i>Agave atrovirens</i> Karw.; <i>Agave latissima</i> Jacobi; <i>Agave pisaga</i> Trel
Maíz	<i>Zea mays</i> L.
Manzanilla	<i>Matricaria chamomilla</i>
Margarita	<i>Callistephus chinensis</i> (L.) Ness.
Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i> Mill.
Mercadela	<i>Calendula officinalis</i> L.
Nabo	<i>Brassica napus</i>
Nopal	<i>Opuntia</i> spp
Nube	<i>Gypsophyla paniculata</i> L.; <i>Gypsophyla elegans</i>
Olivo	<i>Olivo europaea</i>
Pensamiento	<i>Viola tricolor</i> L. var. hortensis
Pepini	<i>Cucumis sativus</i> L.
Perejil	<i>Petroselinum crispum</i> Hoffm.
Petunia	<i>Petunia hybrida</i>
Quelites	<i>Amarantus</i> spp; <i>Chenopodium</i> spp; <i>Porophyllum</i> spp; <i>Rumex</i> spp
Rábano	<i>Raphanus sativus</i> L.
Romerito	<i>Suaeda torreyana</i> Wats.
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.
Ruda	<i>Ruta graveolens</i> L.

Tejocote	<i>Crataegus pubescens</i> (H.B.K.) Stead.
Tomate	<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.
Trigo	<i>Triticum sativum</i> Lam.
Yerbabuena	<i>Mentha sativa</i> L.
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>

### E. Problemática.

La alta productividad de las chinampas ha sido referida por muchos autores; Santamaría (1912), hizo cálculos sobre el crecimiento del maíz en las chinampas del Distrito Federal registrando una producción de 8 ton/ha. Sanders en 1970 (Citado por Rojas, 1982), estimó en 4 ton/ha el rendimiento promedio en las chinampas de San Gregorio, al considerar el cálculo de Santamaría muy exagerado. López de Gomara en su Historia General de las Indias explica que las chinampas rendían de un 300 a 500 %; Armillas (1971) señala que se obtenían de 2 a 3 cosechas al año. Gómez Pompa (1976) menciona que con un área de 2000 m<sup>2</sup> puede vivir bien una familia de 5 personas; sin embargo Santamaría (1912) dice que con 400 m<sup>2</sup> se puede asegurar no sólo la subsistencia, sino también el progreso de la familia. Parson (1978) estima para una hectárea una producción de 3 toneladas en masa de grano de maíz.

Pese a lo anterior, la productividad de las chinampas ha decaído debido a la escasez del agua y restitución de la misma por aguas negras mal tratadas, así como a la desecación de sus manantiales. Como consecuencia del uso agrícola de las aguas negras desde 1950, se han aportado al suelo una gran variedad de sales ocasionando los problemas de salinidad y sodicidad.

Las principales causas y consecuencias de la problemática de la zona chinampera de Xochimilco se mencionan abajo:

### CAUSAS

- Desecación provocada para prevenir inundaciones en la ciudad de México.
- Extracción excesiva y progresivamente honda de las aguas del subsuelo de la cuenca de Xochimilco.
- Introducción de aguas negras al sistema lacustre para nivelar canales, de 1950 a 1970, y por desbordamiento de canales del sistema de desagüe en temporada de lluvias.
- Incorporación al sistema lacustre de aguas negras parcialmente rehabilitadas (tratamiento secundario).
- Canalización de unos tres mil drenajes domésticos al sistema lacustre por insuficiente red de captación de aguas negras y por hundimientos diferenciales de suelo.
- Desazolve de canales turísticos y de drenaje, depositando los lodos en zonas chinamperas y ejidales contiguas.
- Introducción de aguas negras tratadas insuficientemente para sustituir el agua limpia llevada a la ciudad.

## **PROBLEMAS**

- Abatimiento del nivel del agua en el sistema lacustre.
- Desecamiento de canales.
- Urbanización progresiva de chinampas.
- Hundimientos diferenciales de suelos en la zona lacustre, que ha forzado a separar los canales con niveles diferentes de agua y suelo.
- Disminución de calidad del agua.
- La contaminación de los canales por desechos sanitarios y contaminantes generando un exceso de lirio acuático, que a su vez dificulta el tránsito de canoas a zonas de trabajo.
- Existen chinampas y tierras que se han dejado de sembrar.
- La gente ya no quiere emplearse en trabajos agrícolas, prefiere los urbanos.
- Los suelos se ensaltran y contaminan, lo que provoca una disminución en la productividad.
- El suelo chinampero pierde su productividad y se compacta, influyendo desfavorablemente en la capacidad productora del suelo.
- Aumenta la propagación de plagas afectándose las plantas en mayor medida.

El resultado de todos estos factores es, a fin de cuentas, una disminución en la cantidad, calidad y variedad de los cultivos producidos en Xochimilco. La tradición de la agricultura chinampera se encuentra quizá, en su etapa terminal. Las causas son varias y muy complejas y están relacionadas con las políticas y acciones estatales para desecar la Cuenca de México, iniciadas en el siglo XVII con las obras de Huehuetoca.

El crecimiento urbano e industrial, han ocasionado graves consecuencias sobre las actividades agropecuarias y forestales de la zona lacustre. Su deterioro actual, en especial el que se concreta en la contaminación del agua, es enorme y de serias consecuencias. La situación de la zona chinampera hace evidente la necesidad de desarrollar programas para atacar los problemas, sino de manera total y radical, al menos parcialmente y por etapas, para lograr cierta mejoría y restablecer parte de las áreas agrícolas, pecuarias y forestales.

## **II. OBJETIVOS**

### **A. Generales:**

- Contribuir al conocimiento del manejo de suelos salino-sódicos mediante el uso de un mejorador biológico.

### **B. Específicos:**

- Caracterizar y evaluar las propiedades físicas y químicas de un suelo de chinampa con problemas de sodicidad y salinidad.
- Determinar el nivel adecuado de mejorador biológico para aplicar a las muestras de suelo, mediante pruebas preliminares.
- Caracterizar y evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo después de haber sido tratado con el mejorador.
- Comparar las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelo antes y después del tratamiento con el mejorador biológico.

### III. ANTECEDENTES

#### A. Origen de las sales.

Las sales presentes en los suelos salinos proceden de la meteorización de los minerales y rocas que constituyen la corteza terrestre. Los elementos que participan en las sales de los suelos salinos son: Ca, Mg, Na, K, Cl, S, C, y con menor frecuencia, N, B e I. Una vez que se han formado las sales, son transportadas por agua hasta el mar o depósitos continentales, que de esta manera se salinizan (Pizarro, E, 1978).

Ferman (citado por Pizarro, E., 1978) estableció una secuencia de extracción de los iones de sus rocas y minerales, su velocidad de emigración y la capacidad de algunos de ellos para acumularse en las depresiones continentales y formar suelos salinos (ver Cuadro 1).

#### SECUENCIA DE EXTRACCION DE IONES DURANTE LA METEORIZACION, SEGUN FERMAN ( Pizarro, 1978 op. cit.)

Aniones	Coef. de energía	Cationes	Coef. de energía
Cl y Br	0.23	Na	0.45
NO <sub>3</sub>	0.18	K	0.36
SO <sub>4</sub>	0.66	Ca	1.75
CO <sub>3</sub>	0.78	Fe	2.10
SiO <sub>3</sub>	2.75	Al	4.25

Cuadro 1.

Los cloruros, nitratos, sulfatos y carbonatos de iones alcalinos y alcalinotérreos, son las sales que con más facilidad han de formarse como consecuencia de la meteorización de la corteza terrestre, en cambio, la precipitación ocurre en orden inverso. Por esa razón el NaCl permanece más tiempo en la solución del suelo (Pizarro, op. cit.).

Por otra parte, Kovda (citado por Pizarro, op.cit.) ha dividido los elementos en 5 categorías según su capacidad de emigración (ver Cuadro 2).



## CATEGORIAS DE EMIGRACION DE LOS ELEMENTOS

Categoría	Elementos
1. Prácticamente no lavables	Si del Cuarzo
2. Poco lavables	Fe, Al, Si.
3. Lavables	Si, P, Mn.
4. Bastante lavables	Ca, Na, K, Mg, Cu, Co, Zn.
5. Muy lavables	Cl, Br, I, S, B.

Cuadro 2.

Los elementos de la cuarta y quinta categoría de migración son los que constituyen los principales compuestos que producen la acumulación de sales en las depresiones o son conducidas al mar.

### B. Formación de suelos salinos.

Los suelos salinos son comunes en zonas áridas, ya que son áreas donde predominan los factores salinizantes (evaporación y transpiración) frente a los de lavado. También se presentan en los deltas y en las partes bajas de las zonas costeras.

Los procesos de formación de suelos salinos se han agrupado en los siguientes ciclos de acuerdo a la geoquímica (Aceves, N.E., 1979):

- Ciclos continentales: se relacionan con el movimiento, redistribución y acumulación de carbonatos, sulfatos y cloruros en áreas con drenaje deficiente.
- Ciclos marinos: Hay acumulación de sales de origen marino, principalmente cloruro de sodio, y ocurren en las planicies costeras en áreas bajas y secas a lo largo de las costas y bahías de baja profundidad.
- Ciclos de delta: Se caracterizan por una combinación compleja de movimientos y por la acumulación de sales transportadas por los ríos o por el mar en diferentes ocasiones.
- Ciclos artesianos: Están conectados con la evaporación de aguas subterráneas profundas que afloran a la superficie a través de fracturas tectónicas y estructuras geológicas destruidas.
- Ciclos antropogénicos: Son resultado de las actividades del hombre por desconocimiento de las leyes que gobiernan los procesos de acumulación de sales.

El movimiento de las sales está íntimamente relacionado con el movimiento de agua, a excepción del transporte atmosférico de sales.

Los procesos de acumulación de sales están ligados con mantos freáticos elevados. La acumulación de sales se presenta en áreas donde el escurrimiento superficial es muy bajo o nulo y el balance del agua subterránea no está regulado por el escurrimiento, sino por evaporación y transpiración. Cuando el agua del manto freático se conecta por capilaridad con la superficie del suelo y se evapora, se inician los procesos de acumulación de sales, sobre todo en la parte superior de los suelos de clima árido (Aceves, op. cit).

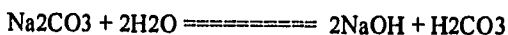
El ensalitramiento de las chinampas de Xochimilco es resultado de un ciclo antropogénico en el que se ha dado una serie de factores ya señalados con anterioridad.

### C. Efectos de salinidad sobre el suelo y las plantas.

- - Sobre el suelo.

El efecto principal de la salinidad sobre los suelos consiste en su acción sobre la estructura. Esta propiedad depende de la floculación de los coloides y de la cementación de los mismos formando agregados. Cuanto más arcilloso es el suelo, los efectos son mayores. En suelos normales el calcio es el catión más abundante en el complejo de cambio y los suelos mantienen su estructura. Cuando el sodio adsorbido aumenta, las fuerzas de atracción entre las partículas arcillosas disminuyen mucho y las arcillas tienden a dispersarse, perdiendo su estructura. En estos casos cuando la solución del suelo está muy salinizada, con abundante sodio, las partículas arcillosas se mantienen floculadas. En cambio, si se elimina el sodio de la solución del suelo por medio de lavados o lluvia, se forman iones OH<sup>-</sup>, aumenta el pH a nivel alcalino, las arcillas se disocian al quedar con cargas negativas, con lo que se favorece la dispersión. Cuando los suelos contienen carbonato sódico aumenta mucho la solubilidad de la materia orgánica, que forma alcalihumatos dispersos de color negro que por capilaridad llegan a la superficie, adquiriendo un color negro característico de donde proviene el nombre de álcali negro. (Pizarro, E., 1978 op. cit.).

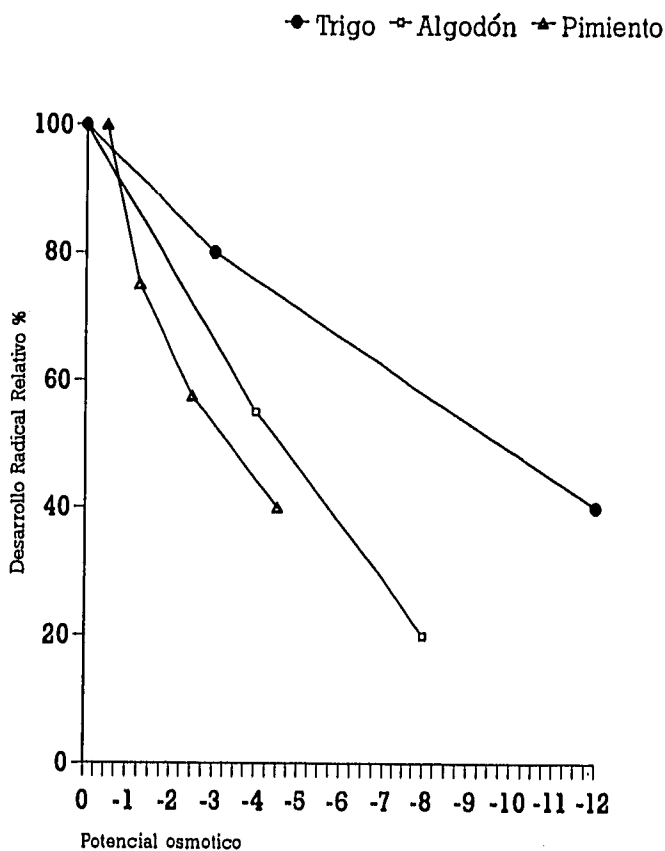
El pH también es afectado por la alta concentración de sales. Se ha comprobado que al aumentar la concentración de sales, tales como NaCl, CaSO<sub>4</sub> y KCl, el pH disminuye. Por otra parte, algunas sales se hidrolizan y forman hidróxidos. Por ejemplo:



Este último caso es muy común en los suelos con exceso de sodio intercambiable, donde el pH llega a alcanzar valores hasta de 10.5. En general, las sales afectan el valor de pH, pero éste a su vez afecta la solubilidad de algunas sales como CaCO<sub>3</sub> (Aceves, N.E. op.cit.).

- - Sobre las plantas.

Se ha comprobado experimentalmente que al incrementarse la concentración de sales en el suelo, el desarrollo radical se ve afectado. La gráfica siguiente muestra el efecto del potencial osmótico sobre el porcentaje de desarrollo radical de tres diferentes cultivos.



**Fig. 2.** Efecto de las sales sobre el crecimiento radical de trigo variedad Inia 66, algodón y pimiento morrón (chile dulce), (Aceves, N. E., op. cit.).

Por otro lado, la salinidad por sí sola, puede causar en algunos cultivos deficiencias nutricionales, los cuales se pueden corregir aplicando fertilizantes especialmente potasio, fósforo y nitrógeno. Cuando las plantas se desarrollan bajo condiciones de salinidad, uno de los síntomas más característicos es la inhibición del crecimiento vegetativo producido por las sales el cual se manifiesta por una reducción en su talla y en la producción de su materia seca. Para explicar el daño de las sales sobre los cultivos se han propuesto diferentes teorías. La primera es la teoría de la disponibilidad de agua la cual dice que las sales del suelo disminuyen la energía libre del agua (hay más soluto) aumentando la presión osmótica de la solución del suelo haciendo que la disponibilidad de agua para las plantas disminuya; por lo que ésta sufre por deficiencia de agua, lo cual afecta su crecimiento. La teoría del ajuste osmótico establece que las plantas realizan un ajuste osmótico para mantener un gradiente favorable en sus células, lo que le permite extraer agua del suelo. En hacer ese ajuste la planta consume energía, la cual en condiciones de no salinidad se usaría en el crecimiento, por esta razón en condiciones salinas las plantas no crecen. La teoría de la toxicidad específica considera que hay efecto tóxicos vía metabolismo, por cambios causados en la actividad metabólica que producen la acumulación de sustancias intermedias, que no se encuentran en plantas que crecen en condiciones de salinidad; Aceves, N.E (1979) plantea la hipótesis de que las plantas bajo condiciones de salinidad no crecen ya que la división celular se ve afectada y la pared celular pierde prematuramente su plasticidad debido a que las sales propician la aparición en ella de sustancias que le dan rigidez e impiden el crecimiento teniendo plantas con menos células y además de tamaño reducido; por lo que las plantas tienen menor área foliar y como consecuencia una menor transpiración, menor área fotosintetizante, una talla reducida y como resultado menor rendimiento de materia seca por planta (Aceves, N.E, 1979).

#### **D. Tolerancia de las plantas a las sales.**

En suelos salinos sódicos se tienen dos alternativas para desarrollar una agricultura, o se eliminan las sales y sodio mediante uso de prácticas para mejorar sus propiedades, o se tratan de establecer cultivos que sean capaces de desarrollarse bajo condiciones de salinidad y producir rendimientos satisfactorios. La tolerancia de un cultivo puede definirse como el rendimiento de un cultivo en un suelo salino, comparado con el rendimiento que produce bajo condiciones de no salinidad, cuando permanecen los demás factores del rendimiento constantes. En la siguiente tabla se enlistan algunos cultivos tolerantes a las sales:

**Tolerancia Relativa a la Salinidad de los cultivos**  
**Unidades en mmhos/cm.**

**Frutales**

Ec x 10<sup>3</sup>= 18 máximo  
 Palmera datilera

Ec x 10<sup>3</sup>= 10 máximo  
 Granado

Higuera  
 Olivo  
 Vid

Peral

Ec x 10<sup>3</sup>= 5 máximo

Manzano

Naranja  
 Uva  
 Ciruelo  
 Fresa  
 Limón  
 Aguacate

Ec x 10<sup>3</sup>= 3 mínimo

Ec x 10<sup>3</sup>= 5 mínimo

**Hortalizas**

Ec x 10<sup>3</sup>= 12 máximo  
 Remolacha de mesa  
 Espárragos

Ec x 10<sup>3</sup>= 10 máximo

Tomate  
 Brócoli  
 Coliflor  
 Lechuga  
 Maíz dulce  
 Papa  
 Zanahoria  
 Cebolla  
 Chícharo  
 Calabaza  
 Pepino

Ec x 10<sup>3</sup>= 4 máximo

Rábano  
 Apio  
 Judía verde

Ec x 10<sup>3</sup>= 10 mínimo

Ec x 10<sup>3</sup>= 4 mínimo

Ec x 10<sup>3</sup>= 3 mínimo

**Cultivos Forrajeros**

Ec x 10<sup>3</sup>= 18 máximo  
 Centeno silvestre Canadá  
 Pasto de las Bermudas  
 Grama de trigo  
 Cebada (heno)  
 Ec x 10 = 12 mínimo

Ec x 10<sup>3</sup>= 12 máximo  
 Alfalfa

Centeno (heno)  
 Trigo (heno)  
 Avena (heno)  
 Ec x 10 = 4 mínimo

Ec x 10<sup>3</sup>= 4 máximo

Trébol rojo  
 Trébol ladino

Ec x 10 = 2 mínimo

**Cultivos Extensivos**

Ec x 10<sup>3</sup>= 16 máximo  
 Cebada (grano)  
 Remolacha azucarera  
 Algodón

Ec x 10<sup>3</sup>= 10 máximo  
 Centeno (grano)

Trigo (grano)  
 Avena (grano)  
 Arroz  
 Sorgo (grano)  
 Maíz  
 Girasol

Habas

Ec x 10<sup>3</sup>= 4 máximo

Ec x 10<sup>3</sup>= 10 mínimo

Ec x 10<sup>3</sup>= 6 mínimo

## **E. Clasificación de los suelos salinos.**

Existen varias clasificaciones de suelos salinos cada una de las cuales con ventajas e inconvenientes. Una muy simple y práctica se basa fundamentalmente en dos parámetros para caracterizar a los suelos: La conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Los suelos se clasifican en tres categorías (Pizarro, F. op. cit.).

### **1. Suelos salinos.**

Se caracterizan por la acumulación de sales en los horizontes y subhorizontes del suelo. Tienen una CE suficientemente alta para restringir el desarrollo de los cultivos (mayor a 4 mmhos). La reacción de estos suelos va de neutra a ligeramente alcalina. El pH puede variar entre 7 y menos de 8.5. El PSI es menor de 15%. Los suelos salinos se reconocen por la presencia de costras blancas en su superficie. Con drenaje adecuado, se pueden eliminar las sales solubles por medio de lavados, con lo que el suelo pasa a ser normal. Estos suelos casi siempre se encuentran floculados, debido a la presencia de un exceso de sales en la solución y al reducido PSI.

### **2. Suelos Sódicos.**

Son aquellos que tienen alta concentración de sodio intercambiable con un PSI mayor del 15%. El pH va desde 8 hasta más de 9.5. El contenido de sales es bajo con una conductividad eléctrica menor de 4. En estos suelos las arcillas se dispersan; son lavadas acumulándose a pocos centímetros de profundidad formando una capa pesada, de estructura prismática o columnar, poco permeable y asfixiante. Son de color oscuro por la acumulación de algunos compuestos como  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  que comúnmente se llaman "alcali negro".

### **3. Suelos Salino-Sódicos.**

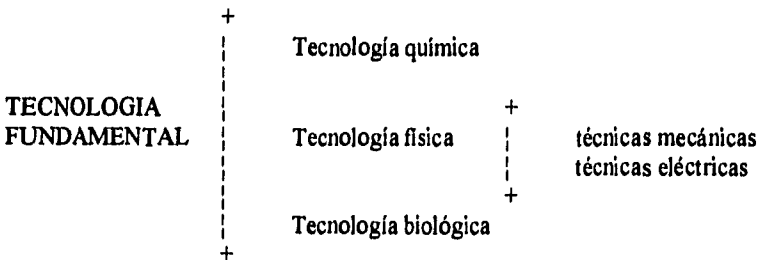
Son aquellos que tienen un exceso de sales, principalmente sódicas y reacción alcalina, pH de 8.5 o más, por lo que el PSI es mayor de 15% y la C.E mayor de 4 mmhos/cm<sup>2</sup>. Cuando hay un exceso de sales, el pH raramente es mayor de 8.5 y las partículas se mantienen floculadas. Si el exceso de sales disminuye considerablemente por lavado, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar NaOH, que con el CO<sub>2</sub> de la atmósfera forma Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> haciéndolo mucho más alcalino (pH mayor de 8.5).

## F. Recuperación de suelos salino-sódicos.

Cuando el objetivo es rehabilitar un suelo salino no sódico es suficiente la aplicación de lavados, que consisten en hacer pasar a través del suelo una cierta cantidad de agua que arrastre las sales existentes, ya que éstas se encuentran disueltas en la solución del suelo y son fácilmente arrastradas por el agua del lavado. En cambio, cuando se trata de suelos sódicos el sodio se encuentra retenido por el complejo de cambio mediante enlaces químicos y el lavado no es suficiente para romper esos enlaces, por lo que el sodio no es eliminado del suelo. En este caso, para desplazar al sodio del complejo de cambio, es necesario el empleo de mejoradores químicos que aporte calcio o que movilicen el existente en el suelo. El calcio desplaza al sodio de sus enlaces químicos y lo dejan en disposición de ser lavado. En todos los casos, por tanto, es necesario el lavado de sales y en algunos, deben ir precedido por mejoras químicas (Pizarro, F. op. cit.).

Existen técnicas de tipo químico, físico y biológico que en la mayoría de los casos mejoran alguna propiedad del suelo que afectan a la eficiencia del lavado o de las mejoras químicas.

En el siguiente cuadro se observan las técnicas de recuperación de suelos salinos y sódicos:



## TECNOLOGIA FUNDAMENTAL

### 1. Tecnología química

#### Mejoradores Químicos.

Los mejoradores químicos son sustancias que se agregan al suelo y tienen la finalidad de solubilizar el calcio existente o aportarlo directamente en forma soluble en caso que éste no exista, para propiciar la sustitución del sodio por el calcio en el complejo de intercambio.

El mejorador empleado va a depender de las características del suelo, de la velocidad deseada, de la recuperación y del costo del mejorador. Los mejoradores químicos más empleados se clasifican de la siguiente forma:

Sales solubles de calcio	Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Cloruro de calcio $\text{CaCl}_2$
Ácidos o formadores de ácidos	Azufre S Acido sulfúrico $\text{H}_2\text{SO}_4$ Sulfato de fierro $\text{FeSO}_4$ Sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ Polisulfuro de calcio $\text{CaS}_x$
Sales de calcio de baja solubilidad	Calcita $\text{CaCO}_3$ Dolomita $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$
Residuos industriales	Espumas de azucarería Cales residuales del acetileno

Para seleccionar el mejorador es importante considerar dos características del suelo: el contenido de carbonatos de calcio y el pH. Con base a estas características se pueden establecer tres grupos de suelos.

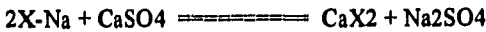
- a) Suelos que contienen carbonatos de calcio.
- b) Suelos que no contienen carbonatos de calcio y cuyo pH es mayor de 7.5.
- c) Suelos que no contienen carbonatos de calcio y cuyo pH es menor de 7.5.

Las sales solubles de calcio, las sustancias formadoras de ácidos y los ácidos pueden emplearse en los suelos del grupo a). En los suelos que no contienen carbonato de calcio no es recomendable usar ácidos o sustancias formadoras de ácidos, porque en el complejo de cambio se fija hidrógeno lo que origina el abatimiento del pH causando otros problemas como la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En los suelos del grupo c), se puede usar roca caliza molida (calcita + dolomita), no así en el grupo b), ya que el pH es mayor de 7.5 y la caliza tiene muy baja solubilidad a valores de pH mayores de 7.5. En los suelos del grupo c) se pueden usar sales solubles de calcio y caliza, pero no ácidos o sustancias formadoras de ácidos ya que no hay presencia de carbonato de calcio.



**Yeso.**

Es el mejorador químico más usado, debido a su bajo costo. Puede ser empleado en las tres clases de suelo. La sustitución del sodio en el complejo de cambio se efectúa según la reacción:



El yeso tiene la limitante de que es poco soluble, teniendo un valor de 2 gr/l a temperaturas normales. La solubilidad aumenta en presencia de iones sodio y cloro en el agua, y disminuye en presencia de calcio y sulfatos. Entre más pulverizado esté el yeso, más rápido reacciona.

El yeso puede aplicarse directamente sobre el suelo o añadirlo al agua de riego. En el primer caso se distribuye al "al voleo" y después se incorpora al suelo con discos o arado. Para su aplicación con el agua de riego existen dispositivos especiales. Un método simple y práctico consiste en abrir un saco de yeso y colocar la parte abierta en la acequia, preferentemente en un punto donde el agua tenga una cierta turbulencia.

Es conveniente lavar el suelo después de aplicar el yeso para que el mejorador se distribuya en profundidad. Esta práctica se puede aplicar a todos los mejoradores, excepto al azufre. Como ejemplo del empleo de yeso en la recuperación de un suelo salino sódico; en el siguiente cuadro se incluyen los resultados de una mejora realizada en Fresno, U.S.A., utilizando una dosis de 25, 30 y 37.5 ton/ha, combinadas con lavados (Pizarro, 1976 op. cit.).

Kelley, 1951										
Antes de la mejora (1921)						Después de la mejora (1931)				
Prof.	Ca + Mg	K	Na	PSI	pH	Ca + Mg	K	Na	PSI	pH
0-30	1.08	0.23	3.13	70	9.7	5.03	0	0.27	5	7.5
30-60	0.42	0.98	2.83	67	9.4	4.59	0	0.40	8	8.1
60-90	1.78	0.28	2.41	54	9.6	4.63	0	0.43	8	8.3
90-120	2.57	0.34	1.59	35	9.1	4.13	0	1.00	19	8.7

Cuadro 3. Recuperación de un suelo salino-sódico utilizando yeso como mejorador.

### Cloruro de calcio.

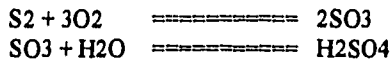
Es un mejorador químico de efecto muy rápido y gran eficiencia debido a su elevada solubilidad (427 gr/l a 20° C). Sin embargo, su empleo está muy limitado por su elevado costo. La reacción en el suelo es la siguiente:



Para aplicarlo se extiende sobre el terreno o con el agua de riego, aunque como ya se dijo, su empleo es poco frecuente.

### Azufre.

Es muy utilizado, debido a su bajo costo. Es un mejorador de acción lenta ya que primero se tiene que formar ácido sulfúrico a través de la oxidación microbológica del azufre elemental, éste aplicado es insoluble en agua, la reacción es:



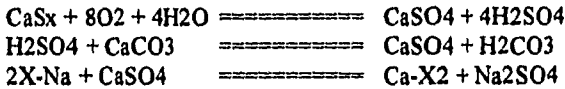
La oxidación requiere de algún tiempo y depende de varios factores como el tamaño de las partículas del azufre (cuanto más fino, más rápidamente se transforma), la cantidad aplicada, la mezcla con el suelo y todos los factores que afectan la actividad microbiana. Una vez incorporado el azufre al suelo, éste no debe ser lavado hasta después de cierto tiempo, para permitir la oxidación; sin embargo, el suelo debe mantenerse húmedo ya que es esencial para la acidez. El azufre aumenta la acidez del suelo y es indicado para suelos que contengan carbonatos alcalinotérreos. No es recomendable aplicar sustancias formadoras de ácido o ácidos en suelos sin carbonatos alcalinotérreos, porque se absorbe hidrógeno en el complejo de cambio. Lo mismo ocurre en los casos del polisulfuro de calcio, sulfato ferroso y ácido sulfúrico. El siguiente cuadro presenta algunos resultados obtenidos en Fresno, California, mediante la aplicación de dosis de hasta 2.5 ton/ha y lavados posteriores (Kelley, 1951. citado por Pizarro, 1978 op. cit.).

PROFUNDIDAD (Cm)	Ca+Mg -----meq/100g-----	K	Na	PSI	pH	Ca+Mg	K	Na	PSI	pH
0-30	1.35	0.44	2.54	56	9.7	4.66	0.20	0.21	5	7.0
30-60	1.21	0.34	2.90	65	9.2	3.75	0.15	0.44	10	7.5
60-90	3.19	0.20	2.00	37	9.0	4.05	0.37	0.38	8	8.8
90-120	3.61	0.13	1.26	25	9.4	3.66	0.30	0.85	17	8.3

Cuadro 4. Recuperación de un suelo salino-sódico utilizando azufre como mejorador.

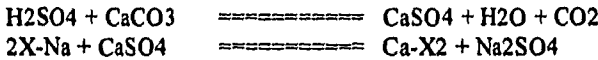
**Polisulfuro de calcio.**

También llamado cal-azufre, el polisulfuro de calcio es un líquido muy alcalino de color café. Su uso se recomienda sólo en suelos con carbonatos alcalinotérreos, ya que es un formador de ácidos (se oxida formando yeso y ácido sulfúrico), por lo que las propiedades del polisulfuro de calcio son similares a las del azufre. Su aplicación está generalmente asociada con el agua de riego. Las reacciones se dan como sigue:



**Acido sulfúrico.**

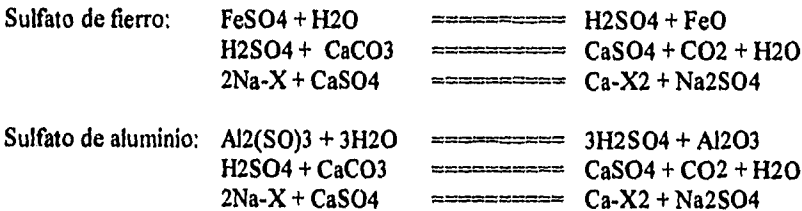
Es un mejorador de acción rápida, que puede provocar una elevada acidez si se aplica en ausencia de carbonatos alcalinotérreos. Cuando éstos existen, se da la siguiente reacción:



El empleo del ácido sulfúrico generalmente se ha rechazado por la peligrosidad que implica su manejo y por su costo elevado, aunque actualmente existen equipos adecuados para su aplicación. Su uso es común en California y Arizona (E.U) y en la República de Armenia (Pizarro, 1978 op. cit.).

**Sulfato de hierro y aluminio.**

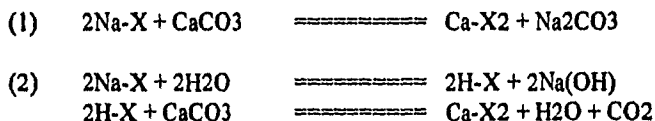
La reacción es lenta ya que primero se tiene que formar ácido sulfúrico el cual reacciona después con el carbonato cálcico para formar yeso. Las reacciones son:



Su empleo es adecuado en presencia de carbonatos alcalinotérreos y poco frecuente por su elevado costo.

#### Caliza.

Su empleo está indicado en suelos de pH inferior a 7.5 y en ausencia de carbonatos alcalinotérreos. La eficiencia del carbonato de calcio como mejorador depende de su solubilidad, que normalmente es muy baja, pero que aumenta en presencia de CO<sub>2</sub> y al disminuir el pH. Las reacciones pueden ser como sigue:



#### Residuos industriales.

Algunos subproductos de la industria pueden ser utilizados como mejoradores en los suelos salino-sódicos. Pueden ser acidificadores o aportar calcio, o ambas cosas. Algunos subproductos que se han utilizado son las espumas de azucarería y las cales residuales de la fabricación industrial del acetileno. (Pizarro, 1978 op. cit.).

## 2. Tecnología física.

### Técnicas mecánicas.

- - Arados profundos: son labores agrícolas que se llevan a cabo a una profundidad entre 40 y 150 cm. El paso del arado mezcla las capas de baja permeabilidad con otras más permeables originando un suelo más homogéneo.
- - Subsolados: los subsolados rompen las capas impermeables, mejorando por lo tanto la permeabilidad del suelo. Su efecto dura de uno a dos años.
- - Aplicación de arena: en suelos de textura fina con baja permeabilidad es apropiada la aplicación de arena para su mejoramiento y buena penetración de las raíces.
- - Inversión de perfiles: consiste en enterrar una capa de suelo de características no deseables, sustituyéndolo por material que originalmente se encontraba a más profundidad y con mejores características.

### **Técnicas eléctricas.**

Consisten en hacer pasar una corriente directa a un volumen dado de suelo. Por medio de la corriente eléctrica se extraen las sales que se encuentran en la solución del suelo a una velocidad que va a depender de la diferencia de potencial existente entre los electrodos empleados, la separación de éstos y de las características de las sales en solución.

Se ha demostrado experimentalmente la recuperación de los suelos ensalitrados mediante el uso de energía eléctrica, sin embargo, los costos que implican su empleo lo hacen prohibitivo para usarlo en la recuperación de suelos agrícolas.

### **3. Tecnología biológica**

- - **Abonados orgánicos:** una de las funciones de los microorganismos del suelo, es la descomposición de la materia orgánica; en cuyo proceso hay una liberación de sustancias orgánicas, como polisacáridos que agregan al suelo incrementando su permeabilidad, por eso en suelos ensalitrados se puede usar estiércol o compostas para su rehabilitación. Además durante la descomposición de materia orgánica se libera CO<sub>2</sub> que con el agua forma ácido carbónico, que puede facilitar la solubilidad de las sales de calcio precipitadas en el suelo.
- - **Cultivos tolerantes y de elevada evapotranspiración (ETP):** el establecimiento de plantas tolerantes a las elevadas concentraciones de sales, permiten que el agua se evapore directamente de la superficie del suelo, dejando las sales acumuladas. Por otra parte, cultivos con elevada evapotranspiración provocan el descenso de la capa freática, facilitando el lavado de las sales.

#### IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.

##### A. Ubicación Geográfica.

La cuenca de México se encuentra en el extremo sur del antiplano, sobre el paralelo 19 de latitud norte, que coincide con la situación del Eje Neovolcánico (ver Mapa 1). Tiene una forma rectangular orientada en sentido noreste-sureste, con longitud mayor de 120 Km y menor de 80 y con una superficie de 9,600 Km<sup>2</sup>. Se encuentra bordeada por una cadena montañosa ininterrumpida y se le ha denominado Valle de México, aunque no es propiamente un valle porque no tiene una línea de drenaje general que la modele. Tiene una altura de 2,250 msnm en la parte plana. Sus límites naturales más sobresalientes son: al norte, la Sierra de Pachuca, con una altura de 3,000 msnm; al noreste, las sierras de Chichucuatlán y del Tepozán, que se derivan de la Sierra Madre Oriental; al este y al sureste, la Sierra Nevada, donde destacan en su porción septentrional los cerros Tláloc, Telapón y el Papayo, que sobrepasan los 3,500 msnm y en la meridional el Iztaccihuatl, de 5,286 msnm, y el Popocatepetl de 5,472; al sur, la Sierra de Chichinautzin, cuya cumbre más alta es el Pico del Águila (3,950), el Ajusco; al suroeste, la Sierra de las Cruces; al oeste, las sierras de Monte Alto y Monte Bajo; y al noroeste la Sierra de Tezontlalpan o Tolcayuca, que al conectarse con la de Pachuca completa el circuito. En el área tiene jurisdicción política el Distrito Federal (14% del territorio) y los estados de México (50%), Hidalgo (20%), Tlaxcala (9%) y Puebla (1%).



Mapa 1. Ubicación geográfica de la delegación Xochimilco y el Distrito Federal en la Cuenca de México.

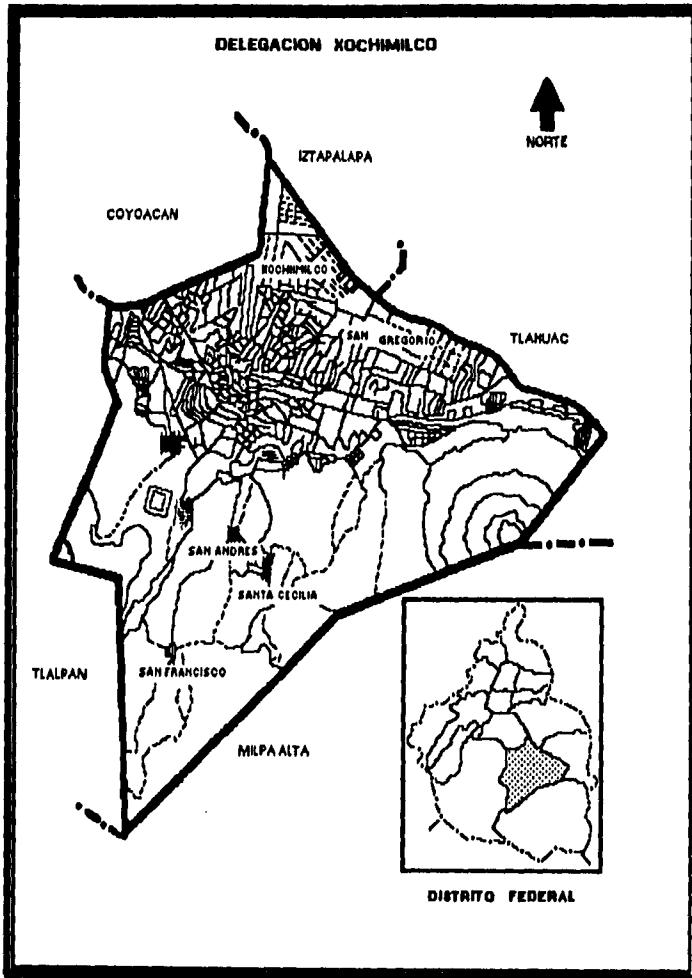
En el interior de la cuenca de México se encuentran otras formaciones orográficas: al norte la Sierra de Guadalupe, cuya mayor altura, el Cerro del Sombrero (3,000 msnm), marca el extremo septentrional de la ciudad de México; al este, la Sierra de Santa Catarina y la Caldera, el volcán de Xico y el Cerro del Pino, en jurisdicción de Chalco; y dentro del perímetro urbano, el Peñón de los Baños, el Peñón de Marqués y el Cerro de la Estrella.

El Distrito Federal, ocupa la porción suroeste de la Cuenca de México y tiene una superficie de 1,499 Km<sup>2</sup> en su totalidad. A pesar de ser la entidad de menor superficie en el país, encierra la ciudad más poblada de la República: la ciudad de México, que no se limita al Distrito Federal, sino que dentro su zona metropolitana incluye varios municipios del estado de México.

El Distrito Federal se divide en 16 delegaciones: Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Iztacalco, Cuajimalpa, Coyoacán, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta.

La delegación Xochimilco cuenta con una extensión territorial de 125.6 Km<sup>2</sup>, y está situada al sureste del D.F., entre los 99 09 41" y 99 00 21" de longitud oeste, a partir del meridiano de Greenwich y entre los 19 17 35" y 19 08 57" de latitud norte. Limita al norte con las delegaciones Iztapalapa y Coyoacán, al oeste con Tlalpan, al este con Tláhuac y al sur con Milpa Alta.

La delegación Xochimilco está constituida aparte de la cabecera y sus doce barrios, por catorce pueblos: San Andrés Ahuayuca, San Francisco Tlalnepantla, San Gregorio Atlapulco, San Lorenzo Atemoaya, San Lucas Xochimanca, San Luis Tlaxiatemalco, San Mateo Xalpa, Santa Cecilia Tepetlapa, Santa Cruz Acalpíxca, Santiago Tepelcatlapa, Tepepan, Tulyehualco y Xochitepec (Álvarez, 1985). (ver Mapa 2).

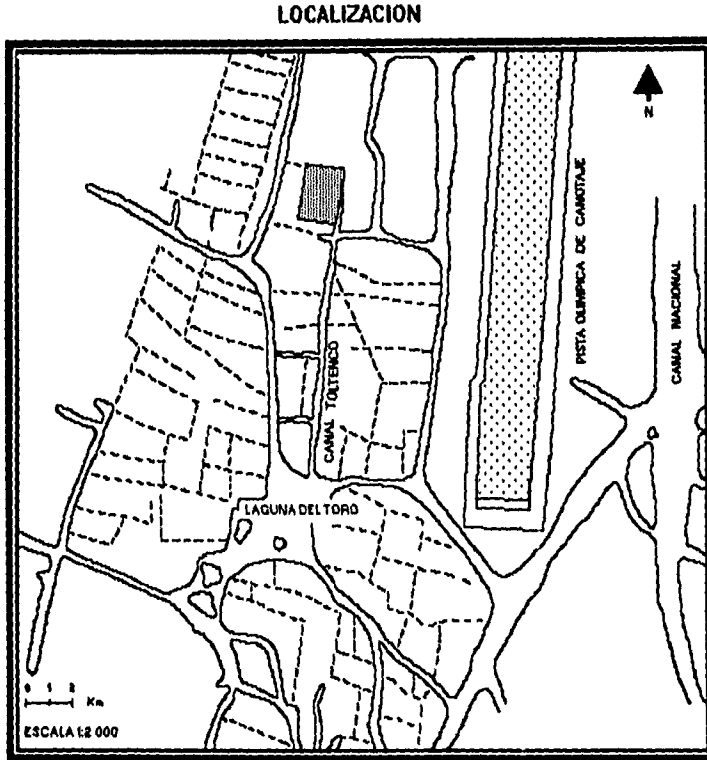


Mapa 2. La delegación Xochimilco y su ubicación geográfica en el Distrito Federal.



## B. Localización.

La chinampa de estudio se localiza al norte de la delegación Xochimilco, en las inmediaciones del extremo sur de la Pista Olímpica de Remo y Canotaje "Virgilio Uribe", sobre el canal denominado Toltenco que a su vez está conectado con la "Laguna del Toro". Cuenta con aproximadamente 1 600 metros cuadrados (ver Mapa 3).



Mapa 3. Localización de la chinampa de estudio en la delegación Xochimilco.

## C. Geología.

Mooser (1961) considera las formaciones de la cuenca de México en tres períodos: Terciario medio, Terciario superior y Cuaternario. Las del terciario medio son las más antiguas que afloran en la cuenca, representando una formación acumulativa de todos los productos volcánicos emitidos entre el oligoceno superior y el mioceno. Las formas volcánicas superiores, fueron destruidas o sepultadas por el vulcanismo del cuaternario, por lo que sólo se aprecian restos de volcanes estratificados, corrientes de lava, tobas y brechas. La Sierra de Xochitepec en el oeste de Xochimilco es un ejemplo de ésta época, encontrándose en ella basaltos, andesitas basálticas, andesitas francas con anfíbolos y piroxenos, dacitas, lutitas y riolitas. Durante el terciario superior se dió la formación de la Sierra de Guadalupe y

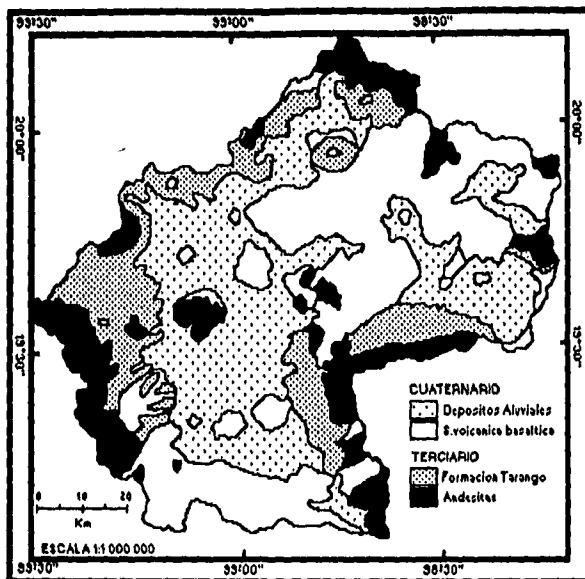
la Formación Tarango, así como la Sierra de Santa Catarina, formada por la acumulación de material piroclástico de composición intermedia y básica constituida por arenas (Mooser, 1961).

Los depósitos del cuaternario son resultado del último ciclo del vulcanismo, que duró 600 mil años, iniciándose en el plioceno y alcanzando su máximo en el pleistoceno. En la cuenca se encuentran una serie de fracturas con orientación oeste a este, que coinciden con la fractura Clarión, que es una línea tectónica que atraviesa el país de oeste a este, a la altura del paralelo 19 norte y cuya actividad se ha manifestado entre otras regiones, en la zona situada al sur de la cuenca, en donde se localiza la Sierra de Chichinautzin. De estas fracturas surgió material dentro del que predominan lavas y tobas. Durante el Pleistoceno dominaron las bajas temperaturas y un alto grado de humedad, lo que originó que se formaran dos sistemas fluviales, que se extendían hacia el sur, desaguando en el alto Amacuzac, el oriente y occidente de la Sierra del Tepozteco. El mayor de los sistemas fluviales tenía su cabecera en Zumpango y Pachuca, pasando al oeste de las Sierras de Guadalupe, seguía hacia el sur por abajo de donde se localiza actualmente el pueblo de Xochimilco, para llegar a la región de Cuernavaca por un cañón, que en la actualidad se encuentra cubierto por lavas basálticas de la formación Chichinautzin. El otro sistema fluvial, se encontraba situado al pie de la Sierra Nevada, corriendo por abajo de Chalco y Amecameca, para desembocar en el alto Amacuzac en la región de Cuautla, este valle también fué cubierto por basaltos de la Formación Chichinautzin, producto de la posterior actividad volcánica, que formó a los volcanes basálticos de Chimalhuacán y el Cerro de la Estrella, lo que aunado a una intensa actividad tectónica, provocó hundimientos en la zona clarión, originando de esta manera el vulcanismo del cuaternario superior, conocida como serie volcánica Chichinautzin. La formación de esta barrera que interrumpió el drenaje hacia el sur, provocó un represamiento de aguas y materiales que dieron origen a la cuenca de México, ésta se relleno rápidamente con un nuevo ciclo de vulcanismo, depositándose una gran cantidad de material eruptivo, lo que aunado al predominio de un clima periglacial con lluvias y deshielos arrastraron cantos rodados, gravas, arenas, cenizas, arcillas lacustres y restos de vegetación calcinada, quedando depositadas sobre materiales impermeables. Con el azolve de la cuenca, se dió lugar a una saturación de agua, lo cual dió origen a la aparición de lagos someros. Durante la última manifestación de vulcanismo, se dió el nacimiento de conos escoriáceos de la Sierra de Santa Catarina y de varios volcanes pequeños cercanos al Ajusco, entre los cuales está el Teutli y el Xitle (Mooser, 1961, op. cit.).

De este modo, la cuenca de México quedó delimitada al oriente por la Sierra de las Cruces, al sur la del Ajusco, al este la Nevada, y al norte por la de Pachuca. Encontrándose en su interior la de Santa Catarina y la de Guadalupe, así como los cerros de Chapultepec, Peñón de Marqués, Estrella y Xico, y los volcanes Teutli y Xitle. La gran laguna que cubría el centro de la cuenca, se dividió en varias, debido en gran medida a los levantamientos tectónicos, originándose los lagos de Xochimilco-Chalco en la región sur; Texcoco, San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango, para la región norte (Mooser, 1961, op. cit.).

El origen geológico de la cuenca de Xochimilco queda enmarcado así, en la formación local y regional de cuencas endorreicas del terciario y cuaternario de la provincia del Eje Neovolcánico. La historia geológica de la cuenca de México se resume en un proceso volcánico que se prolonga durante 50 millones de años; y que para la cuenca de Xochimilco representa la edificación de la Sierra Ajusco-Chichinautzin, cuya formación obstruyó el antiguo drenaje de aguas hacia el sur de la gran cuenca de México (Mooser, 1987) (ver Mapa 4).

#### GEOLOGIA DE LA CUENCA DE MEXICO



Mapa 4. Geología presente en la cuenca de México. En Xochimilco se reconoce el Cuaternario principalmente, en la provincia del Eje Neovolcánico.

#### D. Fisiografía

La delegación Xochimilco se sitúa dentro de la zona fisiográfica Planicie Meridional de la Cuenca de México a una altitud de 2,240 msnm. Limita al norte con la Sierra de Guadalupe y la Sierra de Patlachique, al sur la Sierra de Chichinautzin y Cuautzin, al este la Sierra Nevada y al oeste la Sierra de las Cruces.

La superficie de Xochimilco presenta una ligera inclinación de sur a norte originado por las estribaciones de la Sierra Chichinautzin con quien limita en la zona sur.

Dentro de la delegación se suceden una serie de accidentes geográficos que constituyen la faja que rodea la parte sur del área donde se encuentra el Cuautzin hasta la Sierra del Ajusco, en cuyas estribaciones se localizan pequeñas cañadas y barrancas de poca profundidad cuyos acarreo fluviales descienden a las partes bajas de la planicie y constituyen la llanura aluvial o lacustre, donde se ubican las chinampas.

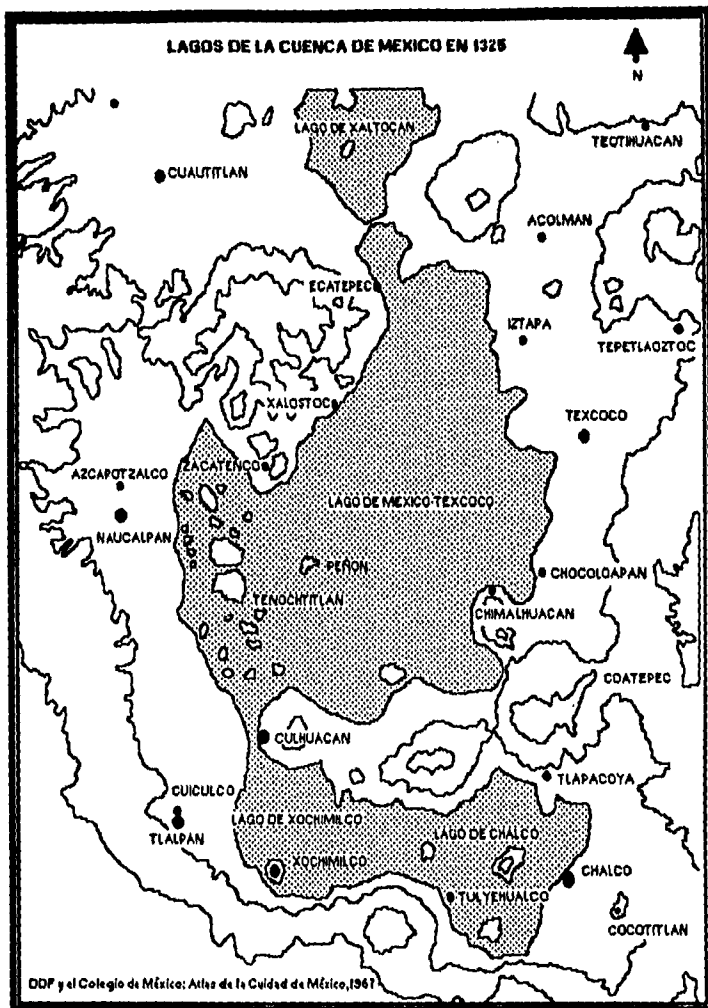
Desde el punto de vista orográfico en Xochimilco se tienen numerosos cerros como: Teutli (2,712), Tlamacaxco (2,660), Teoca (2,650), Tochuca (2,550), Tzompole (2,250) y Tlamapa (2,250), que se localizan al sur de la delegación en la zona media boreal de la Sierra del Ajusco (3,930). Hacia el oeste se localizan los cerros de Tehuanpaltepec (2,841), La Cantera (2,805), Tetequilo (2,600) y Xochitepec (2,495); los cerros de la Noria (2,250), Xilotepec (2,300) y Moyotepec (2,263) (Mendoza, 1961).

### **E. Hidrología**

De acuerdo con estudios geológicos, hace aproximadamente 5 millones de años se originaron grandes dislocaciones en la corteza terrestre que dieron origen a un fuerte hundimiento en la Cuenca de México, seguidas de grandes lluvias torrenciales aisladas con una época de sequía. Esto originó el deslave de las laderas de la Sierra Nevada situada al este, la Sierra de las Cruces al oeste y en menor grado, al norte de la Cuenca, depositándose los materiales arrastrados al pie de ellas en forma de extensos abanicos.

Durante largo tiempo, las aguas tomaban 2 cursos: rumbo a Cuemavaca y hacia Cuautla, confluyendo en la corriente ahora representada por el río Amacuzac. Posteriormente, cuando se inició la última época de corriente volcánica cuya característica esencial fué basalto, las corrientes lávicas y materiales clásticos acumulados al sur obturaron las dos salidas de la cuenca transformándose ésta en una cuenca hidrológica endorreica que no permite los procesos normales de degradación de descargas residuales que recibe. Debido a que las aguas no encontraron salida, se originó en un principio un gran lago en el centro de la Cuenca de México, y posteriormente a causa de alteraciones en el régimen hidrológico, se formaron 3 subcuencas: Zumpango, Xaltocan y San Cristóbal hacia el norte, México-Texcoco hacia el centro y Chalco - Xochimilco hacia el sur.

Del gran lago que caracterizó la Cuenca de México, actualmente solo quedan algunos restos, pequeños lagos aislados ya prácticamente desecados como Xaltocan, San Cristóbal, Chalco y Zumpango. Texcoco y Xochimilco se encuentran en serios problemas de contaminación y desecación a pesar de los numerosos ríos que confluyen en la Cuenca. (ver Mapa 5).



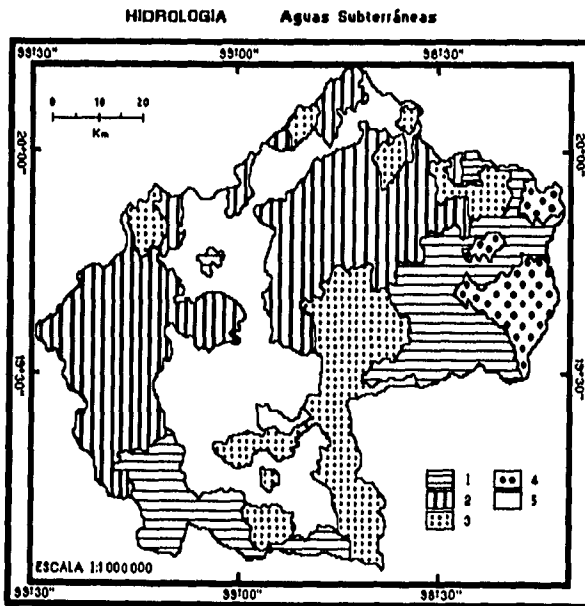
Mapa 5. Situación de los lagos de la cuenca de México, antes de iniciarse su desecación.

En la actualidad, El exlago de Xochimilco lo constituyen una serie de canales de 184 Km aproximadamente que rodean a las chinampas. Entre los principales canales se tiene: Chalco, Cuemanco, Nacional, Caltongo, San Cristóbal, el Bordo, Japón, Apatlaco, Tlicuili y Tliiac, entre otros.

La Delegación Xochimilco casi no cuenta con corrientes de agua, pero su importancia hidrológica es notable debido a la gran cantidad de canales que limitan a sus famosas chinampas. Además, existen pequeños ríos pluviales que son de temporal y por lo tanto de corrientes intermitentes que bajan de las estribaciones de las serranías colindantes. Otro aspecto, fueron sus innumerables manantiales de agua potable, que eran al principal fuente reguladora del nivel del lago de Xochimilco y que se localizaban al pie de las colinas de la parte sur y sureste, como las manantiales de Nativitas, La Noria o San Juan Tzomonolco, San Luis Tlaxialtemalco, El Niño, Xaltocan, San Gregorio Atlapulco, San Juan Acuezcamac, Santa Cruz Acalpixca y Santiago Tulyehualco, entre otros.

Actualmente los manantiales se han secado y el nivel del agua de los canales ha bajado de manera alarmante debido a la captación de agua que se llevó a cabo desde 1909, con la construcción del acueducto Xochimilco-México para abastecer de agua potable a la gran Ciudad de México.

Al principio se bombeaban 24 m<sup>3</sup>/seg de agua, que posteriormente pasaron a 16 m<sup>3</sup>/seg debido a las continuas protestas de los agricultores de la zona al ver las serias restricciones en cuanto a este importante recurso. Sin embargo, las obras de captación continuaron con pozos profundos y un acueducto de agua para seguir rehaciendo la gran urbe, lo que trajo como consecuencia la descompensación del régimen hidrológico del lago que produjo una sequía casi total de los canales de la zona chinampera. (ver Mapa 6).



Mapa 6. Hidrología subterránea en la Cuenca de México. Permeabilidades: 1. Alta en materiales consolidados. 2. Media en materiales consolidados. 3. Baja en materiales consolidados. 4. Alta en materiales no consolidados. 5. Media en materiales no consolidados. Sobreexplotado.

Para restituir el volumen de agua bombeada hacia la ciudad, se vertieron al lago aguas negras extraídas del río Churubusco a través del Canal Nacional. Desde 1958 se aporta al lago un volumen de 400m<sup>3</sup>/seg de aguas residuales mal tratadas provenientes de la planta de tratamiento de aguas del Cerro de la Estrella. En 1967 el aporte de aguas se amplió a 1 250m<sup>3</sup>/seg.

A pesar de estos esfuerzos, no se logró recuperar el antiguo nivel del agua de la zona chinampera cuyos canales se vieron aún más afectados a partir de 1975 a causa de que fueron entubados los principales manantiales que los abastecían como San Luis Tlaxiátemalco, Santa Cruz Acálpixca, Nativitas y La Noria.

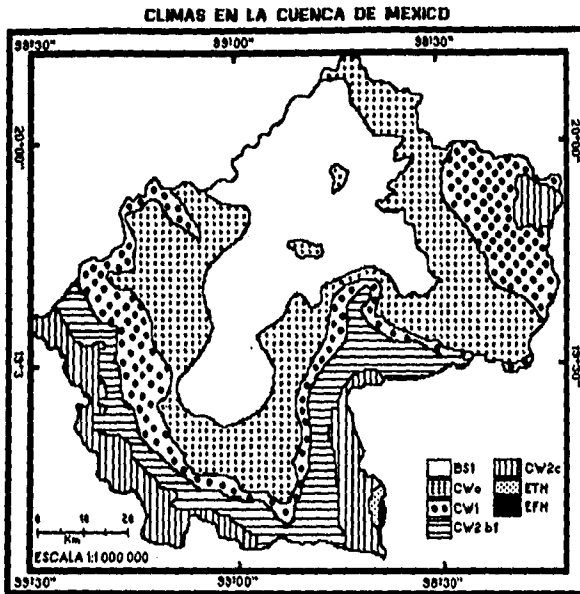
En 1967 fué construída la pista olímpica de canotaje Virgilio Uribe, que ha producido asentamientos en el subsuelo que han propiciado el consumo inevitable de agua del lago. Un efecto similar fué ocasionado en los últimos años con la perforación de más de 100 pozos a orillas de la zona, que provocaron la apertura de grietas hacia donde se desplaza el agua y que hace descender el nivel del lago. (Bastida y Maciel, op.cit.)

## F. Clima

El clima en la Cuenca de México es predominantemente templado con variaciones en humedad, misma que alcanza sus máximos valores en el área rural. En tanto en la parte urbana, el clima seco del nororiente de la Cuenca está extendiéndose hacia esta zona debido a la modificación del paisaje natural por otro artificial. En la Cuenca de México se distinguen 2 estaciones climáticas bien diferenciadas: la seca de noviembre a abril y la húmeda de mayo a octubre (Jáuregi, 1987).

En la zona de estudio las estaciones climatológicas más próximas son: Xochimilco ubicada en las coordenadas geográficas 19° 16' latitud norte y 99° 06' longitud oeste, y San Gregorio con las coordenadas 19° 06' latitud norte y 99° 03' longitud oeste.

García (1988) reporta para Xochimilco un clima subtipo Cb (w2)(w)(i) w" y para San Gregorio un Cb(w1)(w)(i)g, ambos comprendidos dentro del clima C(w), es decir templado subhúmedo con lluvias en verano (ver Mapa 7).



**Mapa 7.** Climas presentes en la cuenca de México. En Nochimilco se tiene un clima C(w), es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano.

Según las características de este clima es el más seco de los templados subhúmedos. La temperatura del mes más frío oscila entre  $-3^{\circ}$  y  $18^{\circ}\text{C}$ , la precipitación del mes más húmedo es mayor de 10 veces la del mes más seco, cuya precipitación es menor de 40 mm y la precipitación media anual es mayor de 500 mm y menor de 1740 mm.

De acuerdo a las nuevas modificaciones de García (1988), la designación Cb indica una temperatura media anual entre  $12^{\circ}$  y  $18^{\circ}\text{C}$ , la temperatura del mes más frío entre  $-3^{\circ}$  y  $18^{\circ}\text{C}$  y la temperatura del mes más caliente menor a  $22^{\circ}\text{C}$ .

La concentración de las lluvias ocurre de mayo a octubre (con mayor precipitación en junio, julio, agosto y septiembre). Se presenta un déficit hídrico de noviembre al mes de abril, siendo más severo en enero, febrero y marzo.

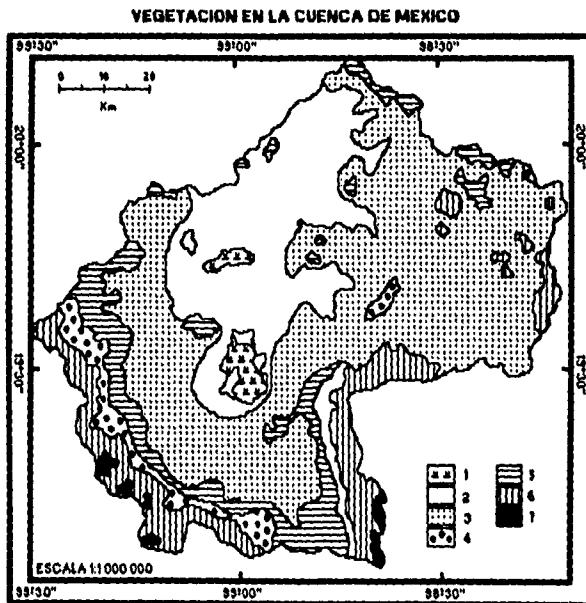
Las heladas son fuertes y frecuentes en los meses de diciembre, enero y febrero (hasta 50-70 heladas al año) aunque se reporta que se presentan desde octubre hasta marzo y termina con los vientos alisios que llegan del noreste. Al parecer son producto de invasiones de masa de aire frío provenientes de la Sierra Chichinautzin. (Bastida y Maciel, op.cit.). Se llegan a presentar también nevadas invernales en las cimas montañosas (INEGI, 1986).



## G. Vegetación

Dentro de la Delegación Xochimilco, existe una gran diversidad en la flora, tanto de hábitat terrestre como acuático.

En las partes altas de la Delegación se desarrolla una vegetación de bosque mixto de pinos *Pinus* spp, cedros *Cupressus* spp, encinos *Quercus* spp., madroños *Arbustus* spp., tepozanes *Buddleia cordata*, eucaliptos *Eucalyptus* spp., y ahuehuetes *Taxodium mucronatum*. En general lo que más abunda son los cedros y madroños (ver Mapa 8).



Mapa 8. Vegetación de la cuenca de México: 1. asociación de *Opuntia* y/o matorral salado. 2. arbustos. 3. chaparral y pastizal. 4. bosque de pino-encino. 5. bosque de pino. 6. bosque de abeto y/o pastizal. 7. pradera.

En los lomeríos se observan capulines *Prunus capuli*, aguacate *Persea americana*, duraznos *Prunus persica*, pirules *Schinus molle*, así como cítricos *Citrus* spp., entre otros.

En la zona de Chinampas y a orillas de éstas se encuentran los ahuejotes *Salix bomplandiana* y *Salix Humboldtiana*, que es al árbol típico chinampero. También se presentan en las chinampas diferentes zacates, entre los cuales se tienen el zacate robusto *Echinochloa* spp., zacate pata de gallo *Cynodon dactylon*, zacate criollo *Hordeum adscendens*, y carrizos *Gynerium sagittatum*.

Se han establecido en la zona chinampera algunas halófitas como son: *Distichlis spicata*, *Heliotropium curassavicum*, *Suaeda diffusa* y *Datura stramonium* entre otras. Además existe una gran diversidad de especies cultivadas, de las cuales podemos citar a el maíz *Zea mays*, la acelga *Beta vulgaris var. cicla*, el betabel *Beta vulgaris var. crassa*, el romerito *Suaeda torreyana*, la coliflor *Brassica oleracea*, la zanahoria *Daucus carota*, el rábano *Raphanus sativus*, el apio *Apium graveoleus*, el cilantro *Coriandrum sativum*, la calabaza *Cucurbita pepo*, el chilacayote *Cucurbita ficifolia*, la lechuga *Lactuca sativa*, el jitomate *Lycopersicon esculentum*, la alegría o amaranto *Amaranthus hypochondriacus*, el alelí *Mathiola incana* y cempasúchitl *Tagetes erecta*. También puede desarrollarse el quelite *Chenopodium* spp., el chile *Capsicum annum*, el tomate *Physalis ixocarpa*, la manzanilla *Marricharia chamomilla*, la hierbabuena *Mentha sativa* y el epazote *Chenopodium ambrosioides*.

Dentro de la vegetación acuática, las ninfáceas y lemnáceas son de gran importancia por la fijación de grandes concentraciones de fósforo que llevan a cabo y que ponen a disposición en corto tiempo (Lot y Quiroz, 1979). Especies como *Typha* spp, *Scirpus lacustris*, *Potamogeton foliosus* y *Nymphaea mexicana* y que se utilizaban en la formación de las chinampas, han desaparecido de la zona (Quiroz, 1981).

Otras especies importantes por el tamaño de su población y masa son el lirio acuático *Eichornia crassipes*, *Limnobium stobniferum*, *Wolffia columbiana* (chichicastle o lentejilla). En menor abundancia se encuentra también *Typha dominguensis*, *Typha latifolia* (tule ancho, masa de agua o espadañas) y *Scirpus americanus* (tule esquinado o zacatule).

Se han reconocido cuatro tipos de ambientes ecológicos acuáticos dentro del sistema de chinampas: acalotes, apancles, ciénegas y lagunas. De los cuatro ambientes, es en los apancles donde se encuentra la mayor diversidad de especies acuáticas por las características ambientales que presentan. Los apancles son canales de 1 a 2 mts. de ancho que se localizan entre una chinampa y otra, hay acumulación de grandes cantidades de detritus por lo que el movimiento del agua es casi nulo. En las lagunas por el constante dragado casi no se alcanzan a desarrollar plantas acuáticas (Novelo y Gallegos, 1988, citado por Vallejo, A.C., 1992).

## H. Fauna

En la Cuenca de México, la cacería y la pesca fué una actividad económica muy importante hasta principios del presente siglo. Estas actividades, junto con la agricultura y la recolección de vegetales acuáticos han sido afectadas negativamente por el deterioro ecológico en la zona así como los efectos directos e indirectos del crecimiento urbano e industrial (Rojas, R.T., 1985).

Las aves, como los peces, fueron la fauna característica y más abundante de los lagos y zonas pantanosas de la Cuenca de México. Sin embargo, los mamíferos también fueron de importancia como los zorrillos, las comadrejas, el tejón y los cacomixtles (Starker y Leopold, 1982).

La pesca en la Cuenca de México tenía lugar fundamentalmente en los lagos. La cacería se llevaba a cabo en las orillas de los lagos en donde los indígenas podían encontrar una gran variedad de aves acuáticas. Las especies de aves que visitaban la Cuenca de México, así como las que residían permanentemente en ella, pertenecían a seis familias zoológicas distintas, de tres ordenes diferentes.

Orden:	Familia:
Anseriformes	Anatidae (patos, gansos, cisnes)
Gruiformes	Gruidae (grullas)
	Rallidae (gallaretas, gallinas de agua, chichicuilotos)
Charadriiformes	Charadriidae (chichicuilotos)
	Scolopacidae (agachonas, zancudas)

De las especies nativas de peces se encuentran las que pertenecen a las familias Atherinidae (pez blanco y charales), Cyprinidae (juiles y pez negruzco) y Goodeidae (pececillo de vientre grande o pez amarillo y tiritó). De las especies introducidas se tiene a la lobina negra *Micropterus salmoides*, la carpa *Cyprinus* spp y carpa dorada *Cavassius auratus*. La lobina y la carpa común han sustituido casi por completo a la ictiofauna natural de la Cuenca y son casi las únicas que se pescan aún en pequeñísima escala. También se registran la trucha y la sardina (Rojas, R.T., 1985 op.cit.).

Dentro del grupo de los reptiles se encuentran la vibora de cascabel, cincuate, chirrioneras, culebras, camaleones, lagartijas grises y de collar llamados tecuixe. Entre los artrópodos se encuentran gran variedad de insectos como arañas, cienpies, moscas, mosquitos, chapulines, grillos, gorgojos, etc.

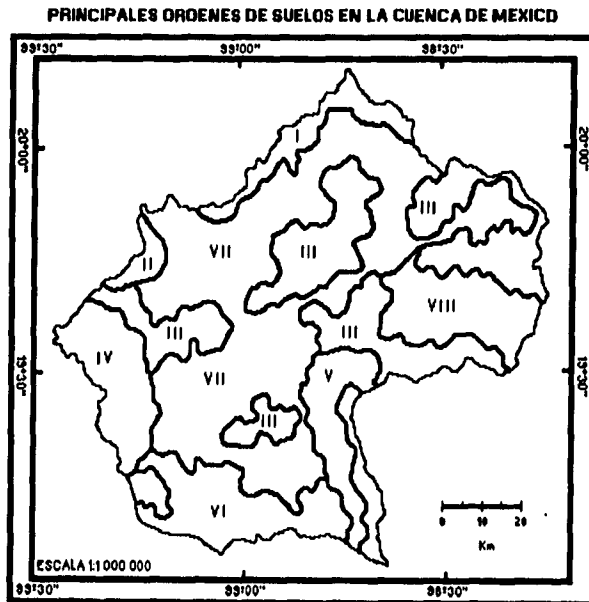
## I. Suelos

En la Delegación Xochimilco existen suelos de origen volcánico y de origen aluvial-lacustre. Los primeros se localizan en la parte sur de la delegación, colindan con las serranías del Chichinautzin y Ajusco-Cuatzin y son tradicionalmente llamadas "tierras altas". Estos suelos son susceptibles a la erosión y se ve acentuada por la tala inmoderada de los bosques.

Los suelos de origen aluvial lacustre se localizan en las partes bajas de la región y constituyen la llanura, producto del acarreo y depósito de materiales intemperizados de las partes altas colindantes. La inclinación sur-norte favorece este acarreo.

La zona chinampera se localiza en la llanura lacustre y sus suelos son objeto de estudio por sus características particulares. La fertilidad de este suelo se mantiene con el uso continuo de materia orgánica en forma de residuos no aprovechables de los cultivos mismos, la incorporación de plantas acuáticas, excrementos animales, agua-lodo, compostas (preparadas principalmente con maleza) y la rotación de cultivos; en resumen, en base al uso intensivo de mano de obra (Jiménez, O.J. et.al., 1987).

Aguilera (1987), considera a los suelos de chinampa como antroposoles, debido al manejo continuo por parte del hombre. Sin embargo, algunos autores como Calderón (1983) citado por Jiménez (1987), insisten en clasificarlos de acuerdo al sistema USDA 7ª aproximación, como Fluvaquentic Humaquept por su régimen de humedad ácuico, su saturación de sodio mayor del 15% y por su elevado contenido de materia orgánica principalmente. De acuerdo al Sistema FAO modificado por DETENAL, los clasifican como Gleysol Eutricto por sus propiedades gleicas. También se le han denominado como Solonchak, Solonetz e Histosol, a pesar de que como ya se indicó anteriormente, son suelos de origen antrópico (ver Mapa 9).



Mapa 9. Suelos presentes en la Cuenca de México. I. Mollisol, Entisol, Inceptisol. II. Mollisol, Entisol, Alfisol. III. Entisol, Mollisol, Inceptisol. IV. Inceptisol, Alfisol, Entisol. V. Inceptisol, Entisol. VI. Entisol, Inceptisol. VII. Vertisol, Mollisol, Inceptisol, Histosol. VIII. Mollisol.

## V. METODOLOGIA

### A. ETAPA DE CAMPO

En una chinampa de la laguna del Toro, Xochimilco, se realizaron cuatro calicatas. Se tomaron muestras de suelo (aproximadamente 2 Kg) cada 10 cm de profundidad hasta la capa freática. Las muestras de suelo se colocaron en bolsas de poliuretano debidamente etiquetadas. Las profundidades de las primeras tres calicatas fueron de 70 cm y la cuarta calicata fue de 90 cm, con un total de 30 muestras colectadas.

Las muestras colectadas, se secaron a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron empleando una malla del número 10 (0.2 mm). Una vez tamizadas, las muestras se llevaron al laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias, UNAM para llevar a cabo la etapa de los análisis de laboratorio.

### B. ETAPA DE LABORATORIO

A las treinta muestras de las cuatro calicatas, se les efectuaron los siguientes análisis fisicoquímicos:

#### a) Análisis físicos

- Color en seco y en húmedo por el método de Munsell (1954).
- Densidad Aparente por el método de la probeta (Baver, 1956).
- Densidad Real por el método del picnómetro (Baver, 1956)
- Textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos (1951)

#### b) Análisis químicos

- Reacción del suelo (pH) por el método del potenciómetro. Determinación en agua destilada y solución salina (KCl 1N pH7) en relación 1:5 y 1:10.
- Materia Orgánica por el método de Walkley y Black, modificado por Walkley (1947).
- Calcio y Magnesio Intercambiables por el método de extracción con acetato de amonio (1N pH7) y valoración por el método del Versenato (EDTA 0.02N) (Chang y Bray, 1951).
- Sodio y Potasio Intercambiables por el método de extracción con acetato de amonio (1N pH7) y espectrofotometría (Jackson, 1970).
- Capacidad de Intercambio Catiónico Total por el método de centrifugación, saturando con CaCl<sub>2</sub> (1N pH7), lavando con alcohol etílico al 96% y eluyendo con NaCl (1N pH7). La

valoración se realizó con Versenato (EDTA 0.02N) y negro de Eriocromo T (Jackson, 1970).

- Pasta de Saturación . La extracción de la solución del suelo se realizó mediante filtración.
- Conductividad Eléctrica en el extracto de saturación mediante un puente de Conductividad (Jackson, 1970).
- Potencial de Hidrógeno (pH) del extracto de la solución del suelo utilizando un potenciómetro (Corning modelo 7).
- Calcio y Magnesio Solubles por el método volumétrico, titulación por el método del Versenato (EDTA 0.02N) (Chang y Bray, 1951).
- Sodio y Potasio Solubles por espectrofotometría (Jackson, 1970).
- Cloruros por el método de Mohr (1949).
- Sulfatos por gravimetría en forma de sulfato de bario (Bower y Huss, 1948).
- Carbonatos y Bicarbonatos por el método volumétrico (Reitemeier, 1943). Se utilizó HCl 0.01N, Fenofaleína y Anaranjado de Metilo.
- Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI). Relación Capacidad de Intercambio Catiónico Total y Sodio Intercambiable.

#### **c) Aplicación del Mejorador MGVM.**

Una vez analizadas las muestras, se agregaron 10 ml del mejorador biológico MGVM (cantidad establecida mediante pruebas de laboratorio) a 250 gr saturados con agua a capacidad de campo.

Mezclado y reposado el suelo, se midió el pH de la pasta de saturación y se colocó al vacío para obtener el extracto, en los cuales se midió tanto el pH como la Conductividad Eléctrica (C.E.). Esta operación se repitió (excepto la adición de mejorador que solo se agregó una vez) hasta que se obtuvieron valores de C.E. abajo de 4 mmhos/cm, lo cual se logró en la extracción del sexto lavado. De esta manera, se obtuvieron valores de C.E. y pH respectivamente para cada una de las 30 muestras.

Posteriormente, las muestras tratadas con el mejorador y los lavados, se secaron a temperatura ambiente para volver a tamizarse con malla no. 10. Una vez efectuado esto, se volvieron a realizar los análisis físicos y químicos enlistados anteriormente, por tanto, se obtuvieron valores antes y después del tratamiento con el mejorador.

#### **d) Análisis Estadístico.**

Finalmente, se llevó a cabo un análisis de varianza para los valores obtenidos, con excepción del color del suelo, para evaluar la eficiencia del Mejorador Biológico utilizado en este trabajo.

## VI. RESULTADOS

### ANÁLISIS FÍSICOS

#### 1. Color

En la Calicata No. 1 se obtuvieron dos colores en seco sin tratamiento, de 0-30 cm de profundidad se tiene gris oscuro y de los 30-70 cm se presenta el gris. Los mismos colores se obtuvieron con el tratamiento, sólo que el gris oscuro fué hasta los 20 cm de profundidad y de los 20-70 cm se presentó el gris. La capa de 20-30 cm que antes del tratamiento fue gris oscuro pasó a gris una vez que la muestra fue tratada con mejorador. Sin tratamiento en húmedo, se presentó el negro de 0-60 cm de profundidad y gris muy oscuro en la última capa de 60-70 cm. Después del tratamiento se tiene el color negro de 0-40 cm de profundidad. Se observa que dos muestras pasaron de negro a gris muy oscuro y una de éste último color al negro (ver cuadro 1).

prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Seco Sin Trat.	10YR 4/1 gris oscuro	10YR 4/1 gris oscuro	10YR 4/1 gris oscuro	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris
Seco Con Trat.	10YR 4/1 gris oscuro	10YR 4/1 gris oscuro	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris
Húmedo Sin Trat.	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 3/1 gris m.osc.
Húmedo Con Trat.	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 3/1 gris m.osc.	10YR 3/1 gris m.osc.	10YR 2/1 negro

Cuadro 1. Colores en seco y húmedo de la calicata no. 1, antes y después del tratamiento.

La Calicata No. 2 presentó gris oscuro de 0-20 cm y gris de 20-70 cm de profundidad, para el color en seco, sin tratamiento. Con tratamiento se obtuvo gris muy oscuro de 0-30 y gris de 30-60 cm de profundidad. Se observa que en los primeros 30 cm hubo un oscurecimiento con el mejorador. En húmedo se tiene negro de 0-40 cm y gris muy oscuro de 40-70 cm, sin tratamiento. Con mejorador se tiene lo mismo, excepto la capa de 30-40 cm que pasó de negro a gris muy oscuro y de 50-60 cm que cambió de gris muy oscuro a negro con el tratamiento (ver cuadro 2).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Seco Sin Trat.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris
Seco Con Trat.	10YR 4/1 gris m.osc.	10YR 4/1 gris m.osc.	10YR 4/1 gris m.osc.	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	—
Húmedo Sin Trat.	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 3/1 gris m.osc.	10YR 3/1 gris m.osc.	10YR 3/1 gris m.osc.
Húmedo Con Trat.	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 3/1 gris m.osc.	10YR 3/1 gris m.osc.	10YR 2/1 negro	—

Cuadro 2. Colores en seco y húmedo de la calicata no. 2, antes y después del tratamiento.

La Calicata No. 3 sin tratamiento, presentó dos colores en seco, gris oscuro de 0-60 cm y gris en la última capa de 60-70 cm. Con mejorador toda la calicata fue color gris oscuro. En húmedo solo se presentó el negro antes y después del tratamiento (ver cuadro 3).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Seco Sin Trat.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 5/1 gris
Seco Con Trat.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.
Húmedo Sin Trat.	10YR 2/1 negro	10YR2/1 negro	10 YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro
Húmedo Con Trat.	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro

Cuadro 3. Colores en seco y húmedo de la calicata no. 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No. 4 el color en seco sin tratamiento, se presentó el gris oscuro de 0-30 cm y de 80-90 cm, y gris de 30-80 cm de profundidad, en seco. Con tratamiento, se presentaron los mismos colores. En húmedo sin tratamiento, se presentó el negro en toda la calicata, excepto en la capa 40-50 cm donde se tiene el gris muy oscuro. Con mejorador en húmedo, solo se presentó el negro en todas las capas (ver cuadro 4).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Seco Sin Trat	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 4/1 gris osc.
Seco Con Trat	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 4/1 gris osc.	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris	—	10YR 5/1 gris	10YR 5/1 gris
Húmedo Sin Trat	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 3/1 g.m.osc.	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro
Húmedo Con Trat	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	—	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro

Cuadro 4. Colores en seco y húmedo de la calicata no. 4, antes y después del tratamiento.



## 2. Densidad Aparente

La Calicata No. 1 sin tratamiento, presentó una densidad aparente de 0.45 a 0.59 g/cc con un comportamiento variable. Los valores obtenidos con mejorador no son muy diferentes. La mayor diferencia se presentó en la capa de 20-30 cm que fué de 0.45 a 0.54 g/cc (ver cuadro 5).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Con Trat.	0.49	0.47	0.54	0.61	0.55	0.62	0.57
Sin Trat.	0.52	0.50	0.45	0.59	0.56	0.54	0.50

unidades g/cc

Cuadro 5. Densidad Aparente de la calicata no. 1, antes y después del tratamiento.

Sin tratamiento, la densidad aparente en la Calicata No.2 fue de 0.47 a 0.58 g/cc y con tratamiento varió de 0.47 a 0.65 g/cc, que fue el valor más alto que se obtuvo. La capa que presenta mayor diferencia fue la de 40-50cm, que sin mejorador tiene una densidad aparente de 0.48 g/cc y con tratamiento fue de 0.65 g/cc (ver cuadro 6).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	0.47	0.47	0.58	0.54	0.48	0.52	0.47
Con Trat.	0.48	0.47	0.55	0.60	0.65	0.54	-----

unidades g/cc

Cuadro 6. Densidad Aparente de la calicata no. 2, antes y después del tratamiento.

La Calicata No. 3 tiene una densidad aparente sin tratamiento que va de 0.44 a 0.52 g/cc y con mejorador va de 0.46 a 0.49 g/cc. Se observó que las cinco primeras capas disminuyen en su densidad aparente con el mejorador, y las dos últimas aumentan ligeramente (ver cuadro 7).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	0.52	0.51	0.52	0.47	0.46	0.44	0.45
Con Trat.	0.46	0.48	0.48	0.48	0.46	0.46	0.49

unidades g/cc

Cuadro 7. Densidad Aparente de la calicata no. 3, antes y después del tratamiento.

La Calicata No. 4 tuvo sin tratamiento una densidad aparente que fue de 0.51 g/cc, en la capa superficial, a 0.66 g/cc en la capa de 40-50 cm. Con mejorador la densidad aparente aumenta ligeramente y va de 0.51 g/cc, en la capa de 10-20cm, a 0.71 g/cc en la capa 40-50 cm (ver cuadro 8).

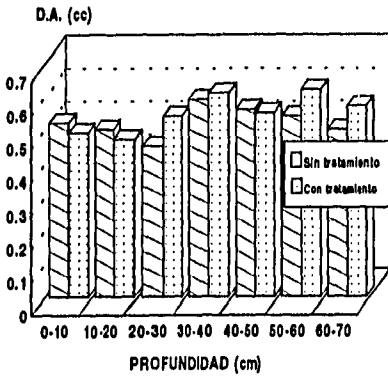
Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
SinTrat.	0.51	0.54	0.53	0.64	0.66	0.61	0.57	0.54	0.54
ConTrat	0.52	0.51	0.54	0.69	0.71	0.70	-----	0.68	0.68

unidades g/cc

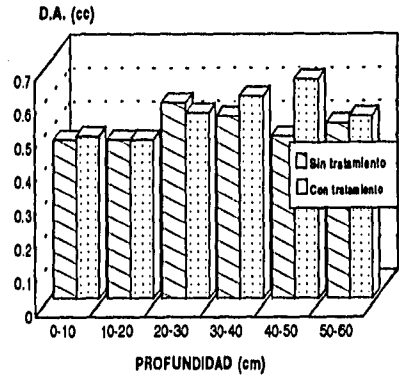
Cuadro 8. Densidad Aparente de la calicata no. 8, antes y después del tratamiento.

# DENSIDAD APARENTE

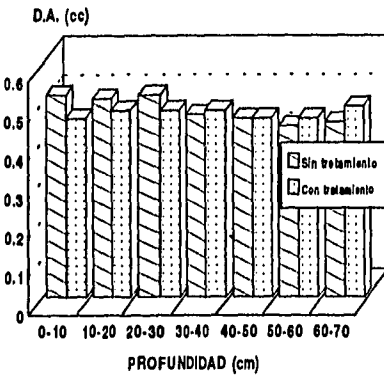
## CALICATA No. 1



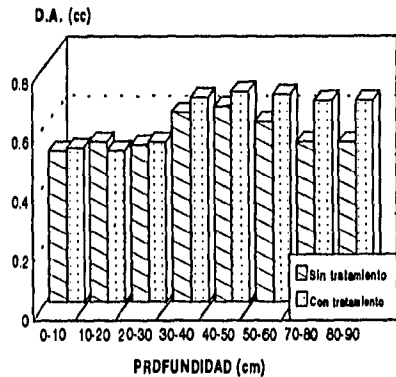
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**Gráfico 1.** Representación gráfica de la Densidad Apparente de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

### 3. Densidad Real

La densidad real en la Calicata No. 1 sin tratamiento, va de 1.82 g/cc, en las dos capas superficiales, a 2.1 g/cc en la capa de 50-60 cm de profundidad. Con tratamiento la densidad real va de 1.36 g/cc, en la capa de 10-20 cm, a 1.94 g/cc en la capa de 50-60 cm. Se observó que la densidad real fue menor con el mejorador en toda la calicata, excepto en la capa de 30-40 cm en la cual fue de 1.85 a 1.87 g/cc (ver cuadro 9).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	1.82	1.82	1.87	1.85	1.97	2.11	1.89
Con Trat.	1.50	1.36	1.73	1.87	1.92	1.94	1.80

unidades g/cc

Cuadro 9. Densidad real de la calicata no. 1, antes y después del tratamiento.

La Calicata No. 2 presentó una densidad real que fue de 1.76 g/cc, en la capa superficial, hasta 2.3 g/cc en la capa de 30-40 cm de profundidad, sin tratamiento. Con adición de mejorador, la densidad real fue de 1.65 g/cc, en la capa de 10-20, a 2.09 g/cc en la capa de 30-40 cm de profundidad. La densidad real fue menor en toda la calicata después del tratamiento (ver cuadro 10).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	1.76	1.78	1.84	2.30	2.13	2.01	2.13
Con Trat.	1.67	1.65	1.81	2.09	1.93	1.83	----

unidades g/cc

Cuadro 10. Densidad real de la calicata no. 2, antes y después del tratamiento.

La densidad real sin tratamiento en la Calicata No. 3 fue de 1.86 g/cc, en la capa de 40-50 cm, a 2.17 g/cc de 20-30 cm de profundidad. Con adición de mejorador la densidad real fue de 1.43 g/cc, en la capa de 20-30 cm, a 1.84 g/cc de 60-70 cm. Nuevamente se observa que la densidad real es menor una vez que ha sido tratado con el mejorador (ver cuadro 11).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	1.94	1.93	2.17	1.87	1.86	2.11	2.11
Con Trat.	1.49	1.58	1.43	1.52	1.54	1.59	1.84

unidades g/cc

Cuadro 11. Densidad real de la calicata no. 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No. 4 la densidad real vuelve a ser menor con el empleo del mejorador. La densidad real sin mejorador va de 1.75 g/cc, en la capa de 10-20 cm, hasta 2.29 g/cc en la capa de 50-60 cm de profundidad. Con el tratamiento, la densidad real va de 1.50 g/cc, en la capa superficial, hasta 1.97 g/cc en las capas de 40-50 cm y 70-80 cm de profundidad (ver cuadro 12).

Prof (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
SinTrat	1.81	1.75	1.94	2.18	2.27	2.29	2.17	2.09	1.92
ConTrat	1.50	1.58	1.56	1.92	1.97	1.89	----	1.97	1.79

unidades g/cc

**Cuadro 12.** Densidad real de la calicata no. 4, antes y después del tratamiento.

El Espacio Poroso disminuyó ligeramente en todas las muestras de las calicatas, con excepción de la capa de 20-30 cm que fué de 68.47 % (ver cuadro 13).

PROF.	(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
CAL 1	S.T.	71.17	72.43	75.78	68.10	71.55	74.44	73.63		
	C.T.	67.33	65.44	68.78	67.37	71.35	68.04	68.33		
CAL 2	S.T.	73.35	73.65	68.47	76.53	77.46	76.11	78.02		
	C.T.	71.25	72.72	69.61	71.29	66.32	70.49	-----		
CAL 3	S.T.	73.19	73.57	76.03	74.86	75.28	79.14	78.67		
	C.T.	69.12	69.62	66.43	68.42	70.12	70.06	73.36		
CAL 4	S.T.	71.88	69.27	72.76	70.68	71.04	73.39	73.82	74.23	71.94
	C.T.	65.33	67.72	65.38	64.06	63.95	62.96	-----	66.49	61.01

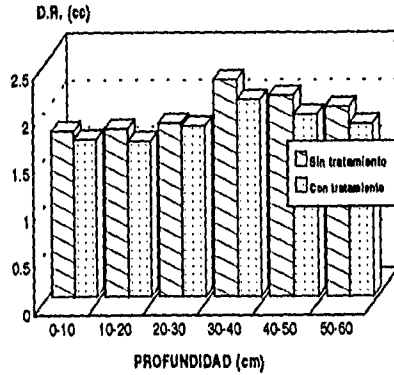
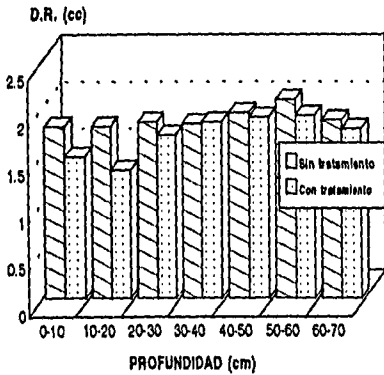
Unidades en %

**Cuadro 13.** Espacio Poroso de las cuatro calicatas, antes y después del tratamiento.

# DENSIDAD REAL

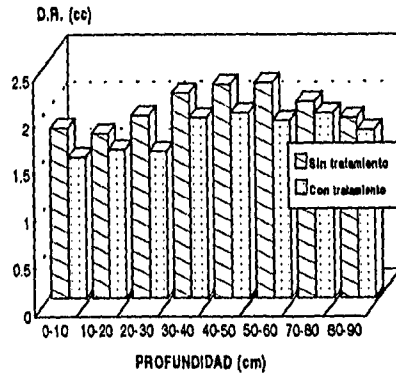
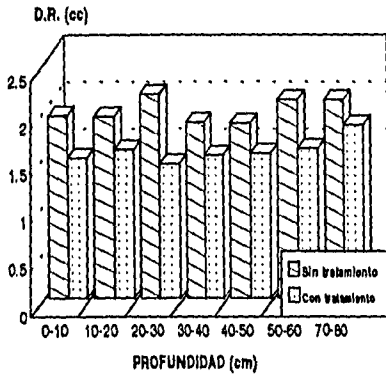
## CALICATA No. 1

## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3

## CALICATA No. 4



**GRAFICO 2.** Representación gráfica de la Densidad Real de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

#### 4. Reacción del Suelo

Sin tratamiento, el pH con agua relación 1:5 en la Calicata No. 1 varió de 6.9, en la capa más profunda, a 8.2 en la capa superficial. En la relación 1:10 el pH aumentó ligeramente y fue de 7.2 a 8.3, en las mismas capas. Después que fue tratado con mejorador, el pH disminuyó ligeramente. En relación 1:5 varió de 6.6, en la capa más profunda, a 8.0 en la capa de 20-30 cm, mientras que en la relación 1:10 el pH fue de 6.7 a 8.0 en las mismas capas (ver cuadro 14).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat. H <sub>2</sub> O 1:5	8.2	8.1	7.9	7.9	7.9	7.5	6.9
Con Trat. H <sub>2</sub> O 1:5	7.9	7.9	8.0	7.9	7.9	7.2	6.6
Sin Trat. H <sub>2</sub> O 1:10	8.3	8.15	7.9	7.9	7.8	7.6	7.2
Con Trat. H <sub>2</sub> O 1:10	8.0	7.9	8.1	8.0	8.0	7.3	6.7

Cuadro 14. pH con agua relación 1:5 y 1:10 de la calicata no. 1, antes y después del tratamiento.

El pH sin tratamiento de la Calicata No. 1 con cloruro de potasio en relación 1:5 tuvo valores que fueron de 5.7, en la capa más profunda, a 7.0 en la capa superficial. En la relación 1:10 fue de 6.4 a 7.5 en las mismas capas. Con mejorador en relación 1:5 el pH aumentó ligeramente de 5.7 a 7.1 en la capa más profunda y la superficial, respectivamente; en tanto que en la relación 1:10 se observa un ligero descenso en el pH con respecto a la relación 1:10 sin tratamiento, teniéndose valores de 5.8, en la capa más profunda, a 7.1 en las dos capas superficiales (ver cuadro 15).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat. KCl 1:5	7.0	6.9	6.7	6.6	6.5	6.1	5.7
Con Trat. KCl 1:5	7.1	7.0	7.0	6.8	6.8	6.1	5.7
Sin Trat. KCl 1:10	7.5	7.3	7.0	6.9	6.7	6.6	6.4
Con Trat. KCl 1:10	7.1	7.1	7.0	6.9	6.8	6.2	5.8

Cuadro 15. pH con cloruro de potasio relación 1:5 y 1:10 de la calicata no. 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No. 2, el pH sin tratamiento con agua en relación 1:5 varió de 7.8 a 8.1, mientras que en relación 1:10 los valores fueron de 7.9 a 8.2. Con mejorador los valores de pH en relación 1:5 disminuyeron ligeramente, excepto en las capas de 30-50 cm, donde se mantuvo el mismo valor de 8.1. En relación 1:10 el pH con tratamiento fue de 7.6 a 8.2 (ver cuadro 16).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat. H <sub>2</sub> O 1:5	8.0	7.8	7.8	8.1	8.1	7.8	8.0
Con Trat. H <sub>2</sub> O 1:5	7.7	7.6	7.5	8.1	8.1	7.8	----
Sin Trat. H <sub>2</sub> O 1:10	8.2	8.0	7.9	8.2	8.1	7.9	8.1
Con Trat. H <sub>2</sub> O 1:10	7.7	7.7	7.6	8.2	8.2	7.9	----

**Cuadro 16.** pH con agua relación 1:5 y 1:10 de la calicata no. 2, antes y después del tratamiento.

Sin tratamiento, con solución de cloruro de potasio el pH varió de 7.0 a 7.3 y en relación 1:10 de 7.3 a 7.8 en la capa superficial. Con mejorador en relación 1:5 el pH fué de 6.7 a 7.1, con un ligero descenso respecto al mismo pH sin tratamiento, y en relación 1:10 varió de 6.8 a 7.1, con similar comportamiento (ver cuadro 17).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat. KCl 1:5	7.2	7.0	7.0	7.2	7.3	7.0	7.1
Con Trat. KCl 1:5	7.0	6.9	6.7	7.0	7.1	7.0	----
Sin Trat. KCl 1:10	7.8	7.5	7.3	7.5	7.4	7.3	7.5
Con Trat. KCl 1:10	7.1	7.0	6.8	7.0	7.1	7.0	----

**Cuadro 17.** pH con cloruro de potasio relación 1:5 y 1:10 de la calicata no. 2, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No. 3 el pH con agua relación 1:5 varió de 6.9 a 7.9 y en relación 1:10 de 7.2 a 8.1 sin mejorador. Con tratamiento en relación 1:5, el pH varió de 6.1 a 8.2, mientras que en relación 1:10 los valores fueron de 6.3 a 8.2. Se observó un ligero aumento en las dos primeras capas superficiales y un ligero descenso en las subyacentes con respecto a las mismas relaciones sin tratamiento (ver cuadro 18).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat. H <sub>2</sub> O 1:5	7.8	7.9	7.8	7.9	7.7	6.9	7.1
Con Trat. H <sub>2</sub> O 1:5	8.2	8.2	7.7	7.9	7.2	6.1	6.2
Sin Trat. H <sub>2</sub> O 1:10	8.1	8.0	7.9	8.0	7.9	7.2	7.5
Con Trat. H <sub>2</sub> O 1:10	8.2	8.2	7.8	7.9	7.2	6.4	6.3

**Cuadro 18.** pH con agua relación 1:5 y 1:10 de la calicata no. 3, antes y después del tratamiento.

Con solución salina en relación 1:5 sin tratamiento, el pH va de 6.4, en la capa más profunda, a 6.9 en la capa superficial. En relación 1:10 varía de 6.6 a 7.3, en las mismas capas. Con el empleo de mejorador, el pH en relación 1:5 va de 5.8 a 7.3, en donde se observó un ligero aumento en las dos primeras capas y después un pequeño descenso en las restantes; en relación 1:10 el pH fue de 5.9 a 7.3, con un ligero aumento en la capa de 10-20 cm con disminución en las otras capas (ver cuadro 19).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat. KCl 1:5	6.9	6.7	6.7	6.8	6.6	6.6	6.4
Con Trat. KCl 1:5	7.1	7.3	6.7	6.7	6.4	5.9	5.8
Sin Trat. KCl 1:10	7.3	6.8	7.0	7.0	6.8	6.6	6.6
Con Trat. KCl 1:10	7.1	7.3	6.8	6.8	6.5	6.1	5.9

Cuadro 19. pH cloruro de potasio relación 1:5 y 1:10 de la calicata no. 3, antes y después del tratamiento.

Finalmente, en la Calicata No. 4 sin tratamiento, el pH con agua en relación 1:5 fue de 7.6 a 8.4 y en relación 1:10 de 8.0 a 8.8. Con tratamiento en relación 1:5, el pH fue de 8.0 a 9.1 y en relación 1:10 fué de 8.1 a 9.2 (ver cuadro 20).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat H <sub>2</sub> O 1:5	7.8	7.6	7.8	8.3	8.3	8.4	8.3	8.2	8.0
Con Trat H <sub>2</sub> O 1:5	8.4	8.0	8.2	9.1	8.9	8.8	----	8.6	8.3
Sin Trat H <sub>2</sub> O 1:10	8.2	8.0	8.2	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7	8.5
Con Trat H <sub>2</sub> O 1:10	8.5	8.1	8.3	9.2	9.0	8.9	----	8.7	8.4

Cuadro 20. pH con agua relación 1:5 y 1:10 de la calicata no. 4, antes y después del tratamiento.

Con cloruro de potasio el pH en relación 1:5 fue de 7.8 a 8.0 y en 1:10 de 7.8 a 8.3 sin tratamiento. Con mejorador el pH relación 1:5 varió de 7.4 a 8.0 y en relación 1:10 de 7.5 a 8.1 (ver cuadro 21).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat KCl 1:5	7.8	7.6	7.6	8.0	7.9	7.9	7.9	7.8	7.9
Con Trat KCl 1:5	7.7	7.5	7.8	8.0	7.8	7.6	----	7.4	7.4
Sin Trat KCl 1:10	7.9	7.8	8.1	8.3	8.0	7.9	7.9	7.9	7.9
Con Trat KCl 1:10	7.8	7.6	8.0	8.1	7.9	7.7	----	7.5	7.5

Cuadro 21. pH con cloruro de potasio relación 1:5 y 1:10 de la calicata no. 4, antes y después del tratamiento.

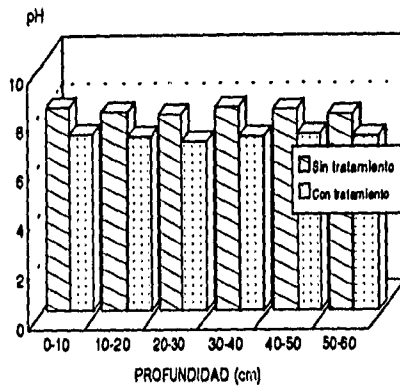
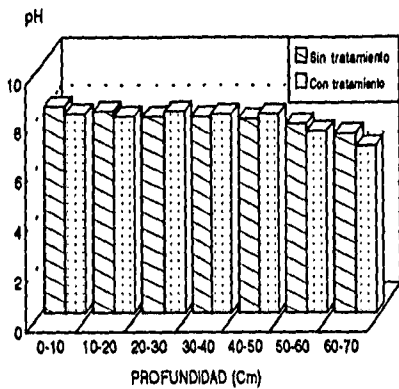


# REACCION DEL SUELO

pH relación 1:10 con agua

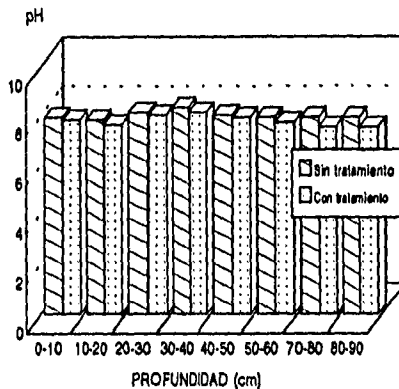
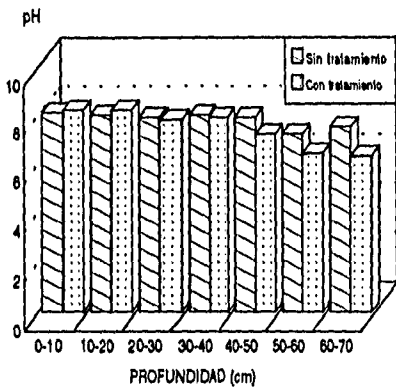
## CALICATA NO. 1

## CALICATA NO. 2



## CALICATA NO. 3

## CALICATA NO. 4



**GRAFICO 3.** Representación gráfica del pH relación 1:10 con agua de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## 5. Textura

La Calicata 1 presenta dos clases texturales, franco y migajón arcilloso sin tratamiento. La textura franca se observa en las capas 0-10 cm y de 30-50 cm de profundidad; hay migajón arcilloso de 10-30 cm y de 50-70 cm de profundidad. Con el empleo de mejorador de 0-20 cm y 30-40 cm fue franco, de 20-30 cm y 50-70 cm fue migajón arcilloso y arcilla de 40-50 cm de profundidad (ver cuadro 22).

% Arena	25.70	24.60	27.29	30.40	32.80	26.00	28.00
% Limo	47.98	41.40	42.15	45.60	45.20	36.40	34.40
% Arcilla	26.31	34.00	30.54	24.00	22.00	37.60	37.60
Clase Text. Sin Trat.	Franco	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Franco	Franco	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso
Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
% Arena	34.4	36.4	28.4	34.4	16.6	32.4	40.4
% Limo	44.2	44.2	34.2	40.2	40.0	40.2	26.2
% Arcilla	21.4	19.4	37.4	25.4	43.4	27.4	33.4
Clase Text. Con Trat.	Franco	Franco	Migajón Arcilloso	Franco	Arcilla	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso

Cuadro 22. Textura del suelo de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No. 2 sin tratamiento, se presentó un suelo franco de 0-20 cm y migajón arcilloso de 20-70 cm de profundidad. Con el uso de mejorador se obtuvo franco de 10-30 cm de profundidad, y migajón arcilloso de 0-10 cm y de 30-60 cm de profundidad (ver cuadro 23).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
% Arena	37.91	34.40	26.32	32.00	32.00	38.00	24.80
% Limo	45.41	43.60	43.94	35.80	33.60	31.60	39.60
% Arcilla	16.66	22.00	29.72	32.20	34.40	30.40	35.60
Clase Text. Sin Trat.	Franco	Franco	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso
% Arena	22.80	36.00	34.00	30.40	34.00	34.40	----
% Limo	45.80	40.60	40.60	30.20	38.40	28.00	----
% Arcilla	31.40	23.40	25.40	39.40	27.60	37.60	----
Clase Text. Con Trat.	Migajón Arcilloso	Franco	Franco	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	----

Cuadro 23. Textura del suelo de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.3 sin tratamiento, se obtuvo una textura franca de 0-50 cm y de 60-70 cm de profundidad, y un migajón limoso de 50-60 cm de profundidad. Con tratamiento se vuelve a presentar franco de 0-50 cm, migajón arcillo-limoso de 50-60 cm y migajón arcilloso de 60-70 cm de profundidad (ver cuadro 24).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
% Arena	34.20	33.49	42.00	44.00	34.00	22.40	24.80
% Limo	49.60	49.02	39.60	39.80	40.00	52.20	47.60
% Arcilla	16.20	17.49	18.40	16.20	26.00	25.40	27.60
Clase Text. Sin Trat.	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Migajón Limoso	Franco
% Arena	42.40	40.80	41.50	44.20	37.20	14.60	23.70
% Limo	40.00	41.40	41.50	38.40	43.80	56.00	47.80
% Arcilla	17.60	17.80	17.00	17.40	19.00	29.40	28.50
Clase Text. Con Trat.	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Mig.Arcillo Limoso	Migajón Arcilloso

Cuadro 24. Textura del suelo de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

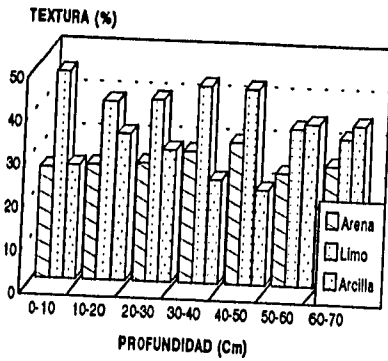
Por último, en la Calicata No.4 sin tratamiento, se obtuvo una textura franca de 0-30 cm y migajón arcilloso de 30-80 cm de profundidad . Con tratamiento, la clase textural fue franca de 0-40 cm, migajón arcilloso de 40-60 cm y 80-90 cm , y migajón limoso de 70-80 cm de profundidad (ver cuadro 25).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
% Arena	40.80	36.00	40.20	32.00	26.00	30.00	34.40	30.80	32.80
% Limo	45.60	49.60	43.40	33.60	35.60	33.60	26.00	33.60	39.60
%Arcilla	13.60	14.40	16.40	34.40	38.40	36.40	39.60	35.60	27.60
Clas.Text Sin Trat.	Franco	Franco	Franco	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Franco
% Arena	40.40	36.20	34.40	51.40	34.20	24.60	----	30.20	26.60
% Limo	40.20	44.20	46.00	28.80	32.20	42.00	----	62.40	42.00
%Arcilla	19.40	19.60	19.60	19.80	33.60	33.40	----	7.40	31.40
Clas.Text Con Trat	Franco	Franco	Franco	Franco	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	----	Migajón Limoso	Migajón Arcilloso

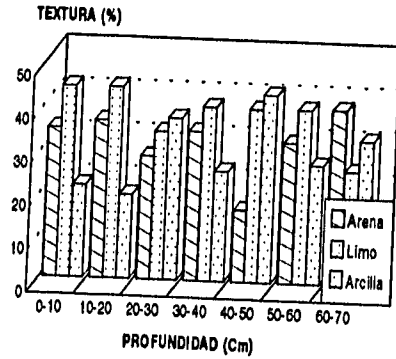
Cuadro 25. Textura del suelo de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# TEXTURA

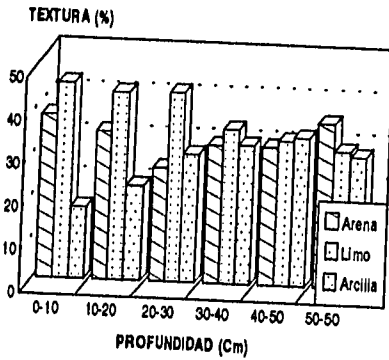
**CALICATA No.1**  
SIN TRATAMIENTO



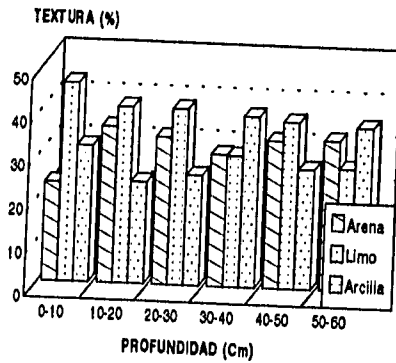
**CALICATA No.1**  
CON TRATAMIENTO



**CALICATA No.2**  
SIN TRATAMIENTO



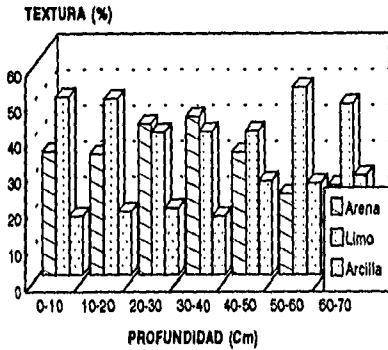
**CALICATA No.2**  
CON TRATAMIENTO



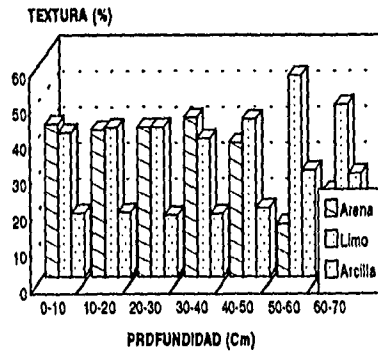
**GRAFICO 4.** Representación gráfica de la Textura de las calicatas 1 y 2 antes y después de la aplicación del mejorador.

# TEXTURA

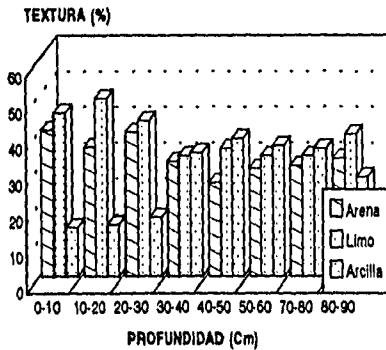
**CALICATA No.3**  
SIN TRATAMIENTO



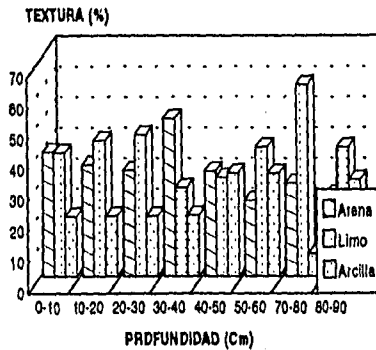
**CALICATA No.3**  
CON TRATAMIENTO



**CALICATA No.4**  
SIN TRATAMIENTO



**CALICATA No.4**  
CON TRATAMIENTO



**GRAFICO 5.** Representación gráfica de la Textura de las calicatas 3 y 4 antes y después de la aplicación del mejorador.

## ANALISIS QUIMICOS

### 1. Materia Orgánica

La materia orgánica presente en la Calicata No.1 sin tratamiento, varió de 14.51% , en la capa de 50-60 cm , a 39.79% de 10-20 cm de profundidad. Con tratamiento de mejorador varió de 16.06%, de 40-50 cm, a 46.16% en la capa superficial (ver cuadro 26).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	39.62	39.79	33.30	17.25	15.54	14.51	17.93
Con Trat.	46.16	41.09	24.35	19.61	16.06	15.38	17.67

unidades en %

Cuadro 26. Materia orgánica de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2 sin tratamiento, la materia orgánica varió de 16.22%, en la capa más profunda de 60-70 cm, a 40.13 % en la capa superficial. Después del tratamiento la materia orgánica fue de 17.92%, de 30-40 cm, a 40.92% en la capa superficial de 0-10 cm de profundidad (ver cuadro 27).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	40.13	38.08	17.93	17.93	20.66	24.25	16.22
Con Trat.	40.92	38.89	23.67	17.92	19.95	27.22	----

unidades en %

Cuadro 27. Materia orgánica de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.3 la materia orgánica fué de 30.23%, en la capa más profunda, hasta 50.55% de 30-40 cm sin tratamiento. Después de haber sido tratado con mejorador la materia orgánica varió de 19.11, de 20-30 cm, hasta 37.71% en la capa superficial (ver cuadro 28).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	38.94	41.16	42.86	50.55	42.52	40.13	30.23
Con Trat.	37.71	36.02	19.11	30.27	36.36	36.69	29.93

unidades en %

Cuadro 28. Materia orgánica de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

La M.O. en la Calicata No.4 varió de 8.19%, de 30-40 cm, a 33.81% en la capa superficial, sin tratamiento. Con el mejorador varió de 9.04%, de 40-50 cm, a 34.5% en la capa superficial de 0-10 cm (ver cuadro 29).

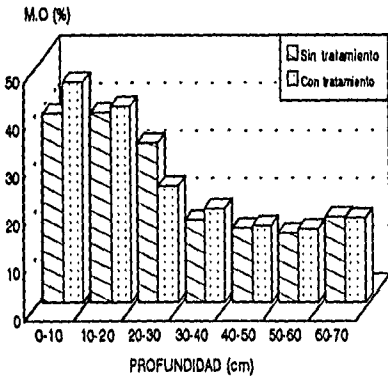
Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	33.81	31.76	27.66	8.53	8.19	7.34	8.88	9.39	22.37
Con Trat.	34.50	34.23	29.35	10.67	9.04	9.30	----	10.48	23.10

unidades en %

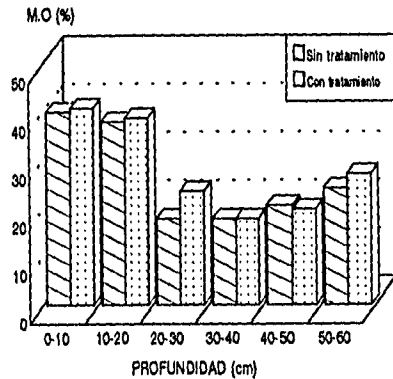
Cuadro 29. Materia orgánica de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# MATERIA ORGANICA

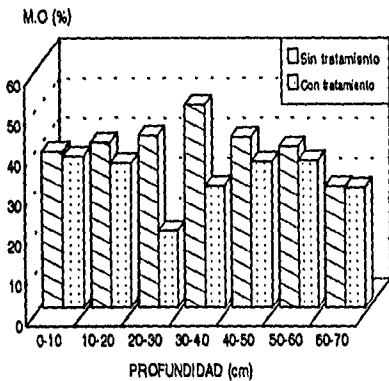
## CALICATA No. 1



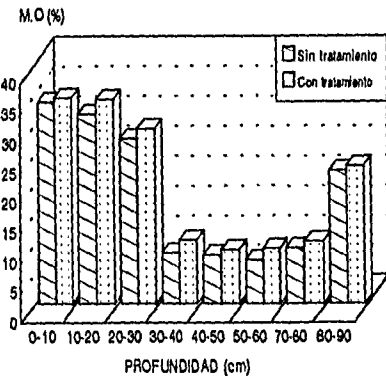
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**GRAFICO 6.** Representación gráfica de la Materia Orgánica de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## 2. Calcio Intercambiable

El calcio en la Calicata No.1 sin tratamiento, varió de 30.68 meq/100g , de 50-60 cm, a 51.84 meq/100g en la capa de 0-10 cm. Después del tratamiento fue de 25.24 meq/100g, en la capa de 60-70 cm , a 45.63 meq/100g en la capa de 0-10 (ver cuadro 30).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	51.84	49.72	45.49	35.97	31.74	30.68	32.79
Con Trat.	45.63	36.89	32.03	30.09	29.12	28.15	25.24

unidades en meq/100g de suelo

Cuadro 30. Calcio intercambiable de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2, el calcio osciló entre 30.68 meq/100g de 30.40 cm y 58.19 meq/100g en la capa superficial de 0-10 cm sin tratamiento. Posterior al tratamiento los valores fueron de 31.06 a 44.66 meq/100g en las mismas capas (ver cuadro 31).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	58.19	43.37	33.85	30.68	33.85	35.97	31.74
Con Trat.	44.66	40.29	33.00	31.06	33.00	34.95	----

unidades en meq/100g de suelo

Cuadro 31. Calcio intercambiable de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

La Calicata No.3 sin tratamiento, presentó valores de calcio que van de 30.68 meq/100g, en la capa de 60-70 cm, a 42.32 meq/100g en la capa superficial de 0-10 cm. Después del tratamiento los valores fueron de 30.09 meq/100g, en la capa de 60-70 cm, a 35.43 meq/100g en la capa de 30-40 cm de profundidad (ver cuadro 32).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	42.32	38.08	40.20	41.26	39.14	34.91	30.68
Con Trat.	34.46	34.95	33.98	35.43	34.95	32.03	30.09

unidades en meq/100g de suelo

Cuadro 32. Calcio intercambiable de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.4 el calcio varió de 25.50 meq/100g, en la capa de 50-60 cm, a 68.01 meq/100g de 20-30 cm de profundidad, sin tratamiento. Con mejorador los valores van de 25.24 meq/100g, de 50-60 cm y de 70-80 cm, a 72.81 meq/100g en la capa de 20-30 cm de profundidad (ver cuadro 33).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	40.20	56.67	68.01	48.66	30.68	25.50	30.68	28.56	46.55
Con Trat.	39.80	55.33	72.81	37.86	27.18	25.24	----	25.24	36.89

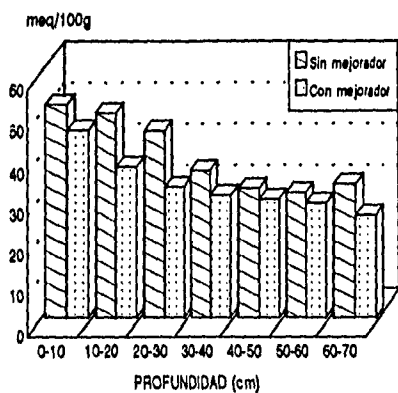
unidades en meq/100g de suelo

Cuadro 33. Calcio intercambiable de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

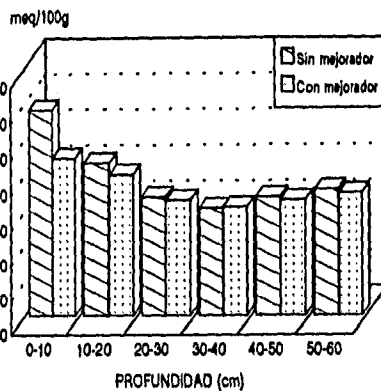


# CALCIO INTERCAMBIABLE

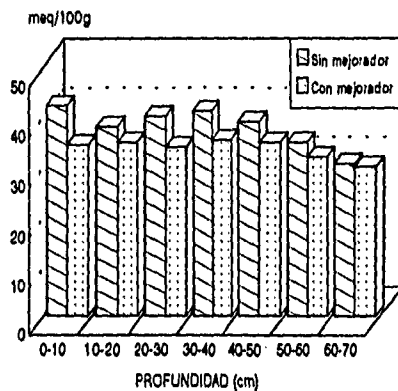
## CALICATA No. 1



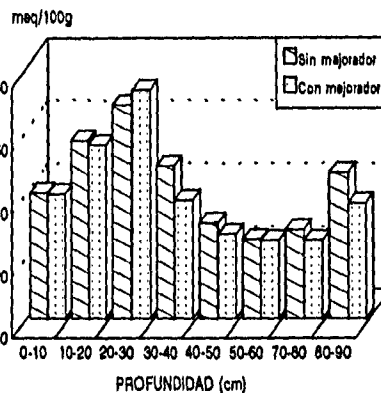
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**GRAFICO 7.** Representación gráfica del Calcio Intercambiable de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

### 3. Magnesio Intercambiable

El catión  $Mg^{++}$  en la Calicata No.1 sin tratamiento, disminuyó con la profundidad y los valores van de 22.21 meq/100g, de 50-60 cm, a 45.49 meq/100g en la capa superficial. Con tratamiento de mejorador, el  $Mg^{++}$  fue de 23.3 a 52.42 meq/100g en las mismas capas anteriores (ver cuadro 34).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	45.49	40.20	38.08	25.39	26.49	22.21	23.27
Con Trat.	52.42	49.02	35.92	29.12	26.21	23.30	24.27

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 34.** Magnesio intercambiable de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la segunda calicata sin tratamiento, se tienen valores de magnesio que van de 30.68 meq/100g, de 60-70 cm, a 53.95 meq/100g en la superficie. Posterior al tratamiento, los valores van de 30.09 meq/100g, de 30-40 cm, a 52.42 meq/100g en la capa superficial (ver cuadro 35).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	53.95	49.72	33.85	30.68	33.85	35.97	31.74
Con Trat.	52.42	51.94	33.98	30.09	33.98	36.89	----

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 35.** Magnesio intercambiable de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.3 el magnesio varió de 38.08 meq/100g, en la capa más profunda de 60-70 cm, a 51.84 meq/100g en la capa de 0-10 cm, sin tratamiento. Con tratamiento los valores fueron ligeramente menores y oscilaron de 33.0 meq/100g, en la capa de 60-70 cm, a 48.05 meq/100g en la capa de 30-40 cm de profundidad (ver cuadro 36).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	51.84	49.72	46.55	47.61	41.26	39.14	38.08
Con Trat.	45.63	47.57	40.77	48.05	35.92	33.98	33.00

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 36.** Magnesio intercambiable de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

Los valores de magnesio en la Calicata No.4 sin mejorador, variaron de 26.45 meq/100g, en la capa de 50-60 cm, a 62.42 meq/100g de 10-20 cm de profundidad. Después del tratamiento, oscilaron de 26.25 a 51.45 meq/100g en las mismas capas (ver cuadro 37).

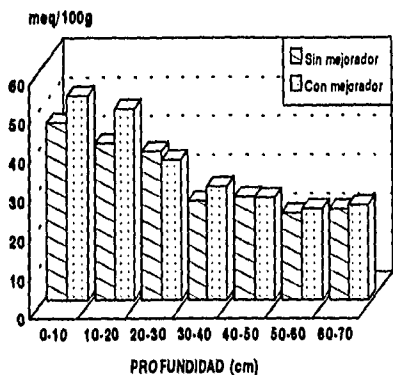
Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	48.66	62.42	48.66	30.68	27.50	26.45	29.62	30.68	38.08
Con Trat.	49.51	51.45	51.45	38.83	33.00	26.21	----	27.18	37.86

unidades en meq/100g de suelo

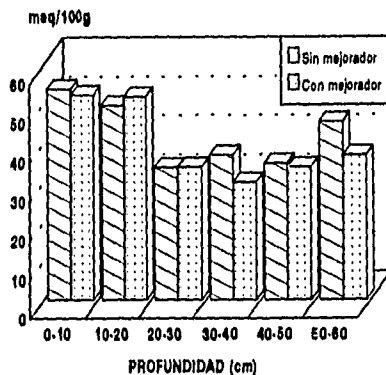
**Cuadro 37.** Magnesio intercambiable de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# MAGNESIO INTERCAMBIABLE

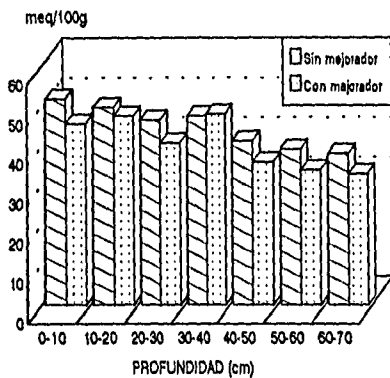
## CALICATA No. 1



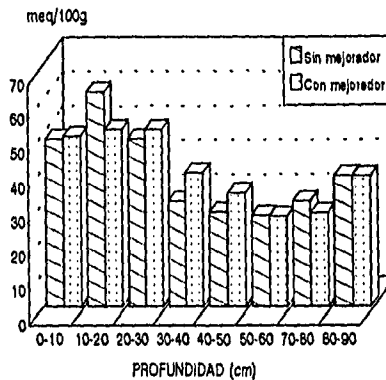
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**GRAFICO 8.** Representación gráfica del Magnesio Intercambiable de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

#### 4. Sodio Intercambiable

El sodio intercambiable disminuye con la profundidad sin tratamiento, en la Calicata No.1, y los valores fluctuaron entre 5.78 meq/100g, en la capa de 60-70 cm, y 1869 meq/100g de 10-20 cm. Con mejorador, los valores son notablemente menores y van de 1.42 a 6.11 meq/100g en las mismas capas (ver cuadro 38).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	13.04	18.69	15.65	11.73	10.00	6.00	5.78
Con Trat.	5.59	6.11	5.07	4.10	3.18	2.05	1.42

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 38.** Sodio intercambiable de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2, el Na<sup>+</sup> varió de 14.78 de 20 a 30 cm a 20.43 meq/100g de 50-60 cm, sin mejorador. Con mejorador, se observaron también valores de sodio intercambiable menores, y variaron de 4.26 a 6.64 meq/100g, en las capas mencionadas anteriormente (ver cuadro 39).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	16.52	15.65	14.78	16.95	19.56	20.43	18.26
Con Trat.	5.18	4.86	4.26	5.18	5.80	6.64	----

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 39.** Sodio intercambiable de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.3, el Na<sup>+</sup> varió de 5.56 meq/100g, en la capa superficial, a 5.21 meq/100g de 30-40 cm, sin tratamiento. Después del tratamiento, variaron de 1.42 meq/100g, de 10-20 cm, a 5.80 meq/100g de 30-40 cm de profundidad. Se observó que disminuyó el Na<sup>+</sup>, al igual que en las primeras calicatas (ver cuadro 40).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	5.56	11.30	12.17	15.21	14.78	13.91	11.30
Con Trat.	2.59	1.42	3.84	5.80	4.76	3.68	3.17

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 40.** Sodio intercambiable de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.4 sin tratamiento, el Na<sup>+</sup> varió de 9.56 meq/100g, de 40-60 y 70-80 cm, a 16.95 meq/100g en la capa de 0-10 cm. Posterior al tratamiento, los valores fueron de 4.18 meq/100g, de 70-80 cm, a 6.89 meq/100g de 10-20 cm de profundidad (ver cuadro 41).

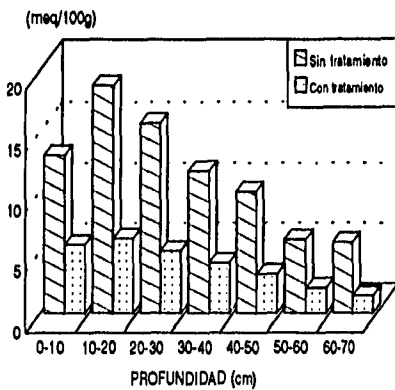
Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	16.95	14.78	16.52	11.30	9.56	9.56	11.30	9.56	16.52
Con Trat	6.52	6.89	7.49	4.55	4.50	4.26	----	4.18	5.18

unidades en meq/100g de suelo

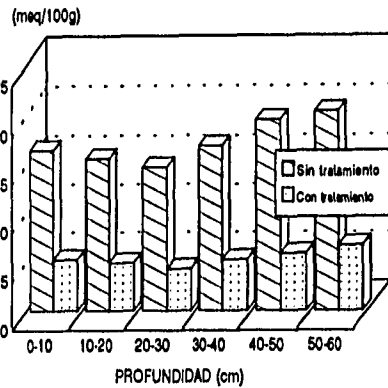
**Cuadro 41.** Sodio intercambiable de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# SODIO INTERCAMBIABLE

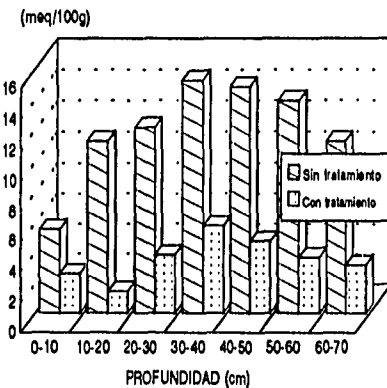
## CALICATA No. 1



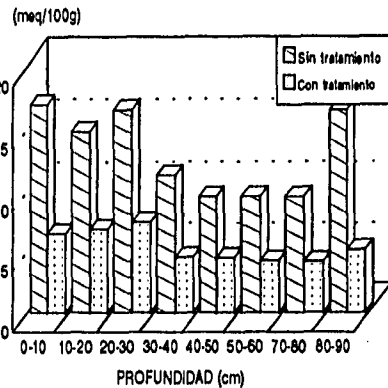
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**GRAFICO 9.** Representación gráfica del Sodio Intercambiable de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

### 5. Potasio Intercambiable

En la Calicata No.1 los valores fueron de 1.86 meq/100g, en la capa mas profunda de 60-70 cm, a 3.06 meq/100g de 10-20 cm de profundidad, sin tratamiento. Después del tratamiento los valores variaron de 1.54 meq/100g, en la capa mas profunda, a 2.2 meq/100g en la capa superficial (ver cuadro 42).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	2.17	3.06	1.91	2.07	2.02	1.91	1.86
Con Trat.	2.20	2.16	1.32	2.02	2.02	1.89	1.54

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 42.** Potasio intercambiable de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

El K<sup>+</sup> en la segunda calicata varió de 1.02 meq/100g, de 50-60 cm, a 1.32 meq/100 g en la capa superficial, sin tratamiento. Con el uso de mejorador, los valores fueron de 0.89 meq/100g, de 50-60 cm, a 1,32 meq/100g de 20-30 cm de profundidad (ver cuadro 43).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	1.32	1.20	1.15	1.15	1.07	1.02	1.15
Con Trat.	1.20	1.20	1.32	1.27	1.08	0.89	----

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 43.** Potasio intercambiable de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.3 el K<sup>+</sup> varió de 2.02 meq/100g, de 40-60 cm, a 2.60 meq/100g en la capa de 0-10 cm, sin tratamiento. Con mejorador, los valores fueron de 1.58 a 2.07 meq/100g en las mismas profundidades (ver cuadro 44).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	2.60	2.50	2.30	2.07	2.02	2.02	2.19
Con Trat.	2.07	1.98	1.76	1.71	1.58	1.58	1.98

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 44.** Potasio intercambiable de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

Por último en la Calicata No.4 sin tratamiento, el K<sup>+</sup> varió de 1.09 meq/100g, en la capa mas profunda, a 2.25 meq/100g en la capa de 10-20 cm. Después del tratamiento los valores variaron de 1.08 meq/100g, en la capa de 80-90 cm, a 1.98 meq/100g en la capa superficial de 0-10 cm (ver cuadro 45).

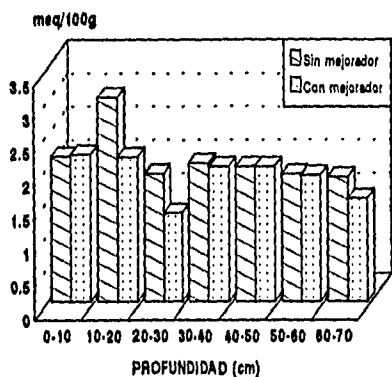
Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat	2.17	2.25	1.61	1.35	1.20	1.76	1.76	1.76	1.09
Con Trat	1.98	1.58	1.58	1.49	1.32	1.27	----	1.20	1.08

unidades en meq/100g de suelo

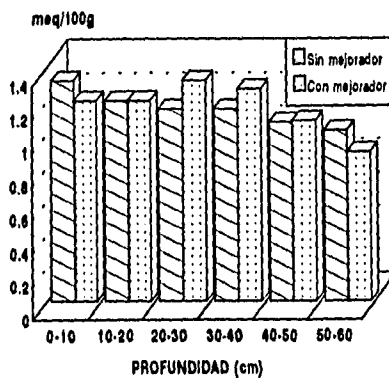
**Cuadro 45.** Potasio intercambiable de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# POTASIO INTERCAMBIABLE

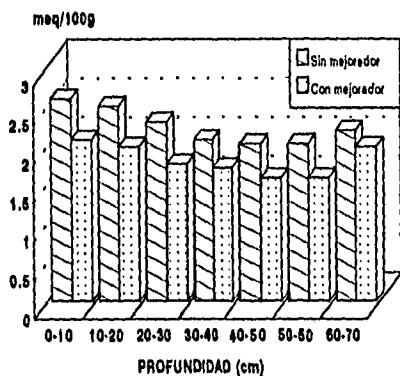
## CALICATA No. 1



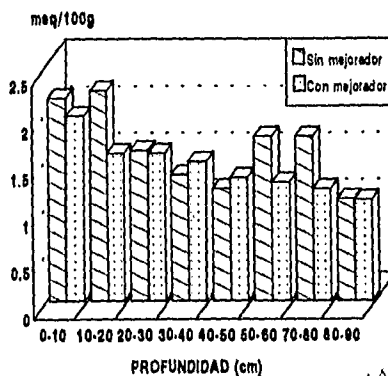
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**GRAFICO 10.** Representación gráfica del Potasio Intercambiable de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

6°

### 6. Capacidad de Intercambio Catiónico Total

En la Calicata No.1 sin tratamiento, la CICT varió de 54.45 meq/100g, en la capa de 60-70 cm, a 97.31 meq/100g de 10-20 cm. Posterior al tratamiento, los valores fueron de 47.57 meq/100g, de 60-70 cm, a 84.42 meq/100g en la capa superficial de 0-10 cm. Se observó un ligero descenso antes y después del tratamiento (ver cuadro 46).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	91.76	97.31	83.47	62.64	55.52	54.48	54.45
Con Trat.	84.42	74.10	59.36	53.26	50.52	49.05	47.57

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 46.** Capacidad de Intercambio Catiónico Total de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la segunda calicata sin tratamiento, los valores de CICT variaron de 59.92 meq/100g, de 50-60 cm, a 93.92 meq/100g de 10-20 cm. Con tratamiento, la CICT varió de 58.25 meq/100g, de 30-40 cm, a 81.05 meq/100g de 10-20 cm de profundidad (ver cuadro 47).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	91.99	93.92	65.61	77.53	66.77	77.13	59.92
Con Trat.	78.94	81.05	59.57	58.25	60.77	66.60	----

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 47.** Capacidad de Intercambio Catiónico Total de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.3 sin tratamiento, la CICT varió de 71.94 meq/100g, de 50-60 cm, a 97.19 meq/100g de 30-40 cm. Con tratamiento, los valores fueron de 58.44 a 80.97 meq/100g en las mismas capas (ver cuadro 48).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	92.91	86.63	87.24	97.19	87.83	80.61	71.94
Con Trat.	75.53	73.98	73.59	80.97	70.48	63.10	58.44

unidades en meq/100g de suelo

**Cuadro 48.** Capacidad de Intercambio Catiónico Total de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

La CICT en la Calicata No.4 varió de 46.94 meq/100g, de 50-60 cm, a 96.44 meq/100g de 20-30 cm, sin tratamiento. Posterior al tratamiento, los valores variaron de 44.85 a 80.57 meq/100g en las mismas profundidades (ver cuadro 49).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat	77.03	86.52	96.44	53.28	48.18	46.94	49.99	48.16	69.56
Con Trat.	74.17	80.58	80.58	48.54	45.43	44.85	----	45.24	61.74

unidades en meq/100g de suelo

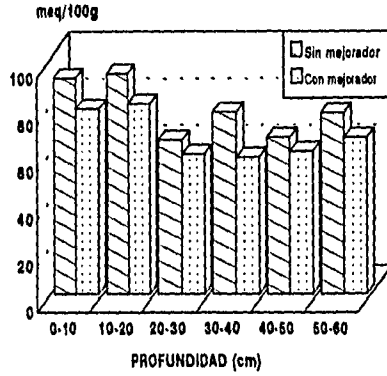
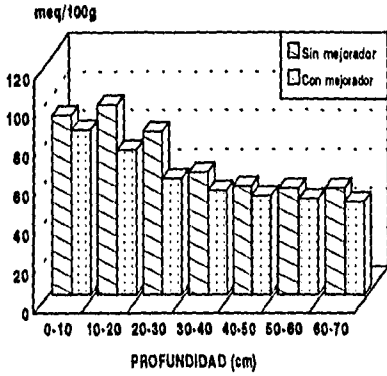
**Cuadro 49.** Capacidad de Intercambio Catiónico Total de la calicata 4, antes y después del tratamiento.



# C.I.C.T.

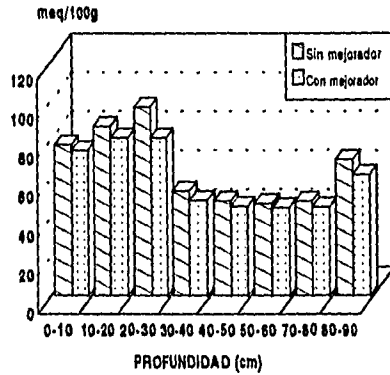
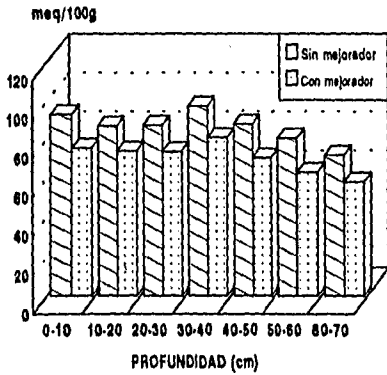
## CALICATA No. 1

## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3

## CALICATA No. 4



**GRAFICO 11.** Representación gráfica de la Capacidad de Intercambio Catiónico Total de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## 7. Porcentaje de Sodio Intercambiable

El PSI es un parámetro que fue significativamente diferente, de acuerdo al análisis de varianza, antes y después del tratamiento con mejorador en las cuatro calicatas, ya que se observó un descenso de más del 50% en casi todas las muestras.

En la Calicata No. 1, antes del tratamiento, el PSI va de 10.61%, de 60-70 cm, a 19.20% de 10-20 cm. Una vez tratada, los valores obtenidos variaron de 2.98%, de 60-70 cm, hasta 8.54% de 20-30 cm (ver cuadro 50).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	14.21	19.20	18.74	18.77	18.01	11.01	10.61
Con Trat.	6.62	8.24	8.54	7.69	6.29	4.17	2.98

unidades en meq/100g de suelo

Cuadro 50. Porcentaje de Sodio Intercambiable de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2 sin tratamiento, el PSI fue de 16.66%, de 10-20 cm, a 30.47% en la capa más profunda de 60-70 cm. Con tratamiento, el PSI varió de 5.99%, de 10-20 cm, a 9.96% de 50-60 cm de profundidad (ver cuadro 51).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	17.95	16.66	22.52	21.86	29.26	26.48	30.47
Con Trat.	6.56	5.99	7.15	8.89	9.54	9.96	----

unidades en meq/100g de suelo

Cuadro 51. Porcentaje de Sodio Intercambiable de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

El PSI en la tercera calicata varió de 5.74%, en la capa de 0-10 cm, a 17.25% de 50-60 cm, sin tratamiento. Posterior al uso del mejorador, los valores variaron de 1.91%, de 10-20 cm, a 6.75% de 40-50 cm de profundidad (ver cuadro 52).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat	5.74	13.04	13.95	15.64	16.82	17.25	15.70
Con Trat.	3.42	1.91	5.21	7.16	6.75	5.83	5.42

unidades en meq/100g de suelo

Cuadro 52. Porcentaje de Sodio Intercambiable de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

Finalmente, en la Calicata No.4 sin tratamiento, el PSI varió de 17.08%, de 10-20 cm, a 23.74% de 80-90 cm. Con mejorador y lavado, el PSI varió de 8.39%, de 80-90 cm, a 9.90% de 40-50 cm de profundidad (ver cuadro 53).

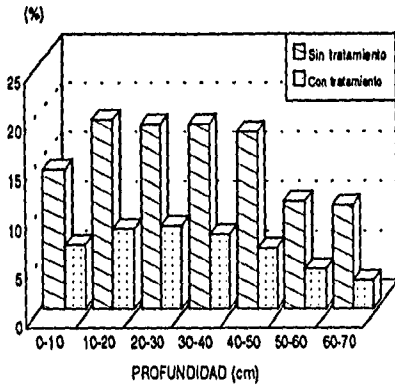
Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat	22.00	17.08	17.12	21.20	19.84	20.36	22.60	19.85	23.74
Con Trat	8.79	8.55	9.29	9.37	9.90	9.49	----	9.23	8.39

unidades en meq/100g de suelo

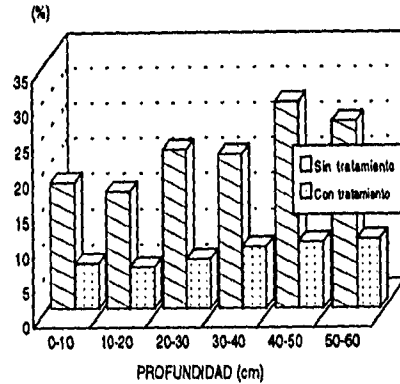
Cuadro 53. Porcentaje de Sodio Intercambiable de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# % DE SODIO INTERCAMBIABLE

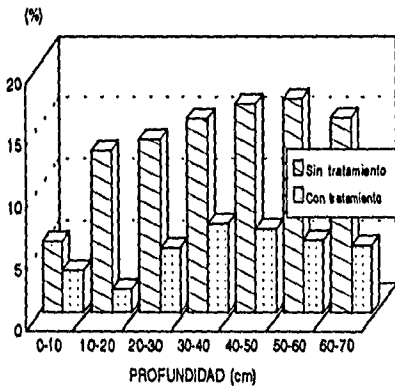
## CALICATA No. 1



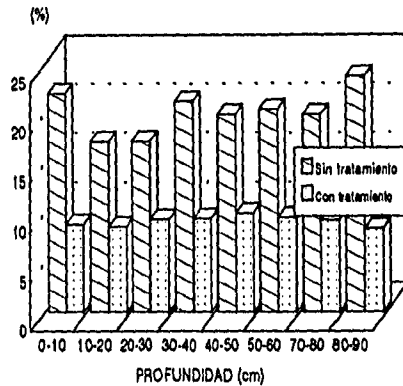
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**GRAFICO 12.** Representación gráfica del Porcentaje de Sodio Intercambiable de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## ANALISIS EN EL EXTRACTO DE LA PASTA DE SATURACION

### 1. Conductividad Eléctrica

La C.E., es una característica que se utiliza para evaluar suelos salinos, y fue también uno de los parámetros abatidos con la adición del mejorador biológico y posteriores lavados en las muestras.

En la Calicata No.1 sin tratamiento, la C.E. varió de 2.3, de 60-70 cm, a 4.87 mmhos/cm de 10-20 cm. Con adición de mejorador y lavados, los valores fueron de 0.6, de 60-70 cm, a 1.9 mmhos/cm de 20-30 cm de profundidad (ver cuadro 54).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	3.14	4.87	4.51	3.50	2.97	2.43	2.37
Con Trat.	1.45	1.55	1.90	1.50	1.00	0.70	0.60

unidades en mmhos/cm

**Cuadro 54.** Conductividad Eléctrica del extracto de la pasta de saturación de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2, la C.E. varió de 7.49, de 10-20 cm, a 9.9 mmhos/cm en la capa superficial de 0-10 cm, sin mejorador. Con tratamiento, los valores variaron de 1.8, de 10-20 cm, a 3.0 mmhos/cm de 50-60 cm de profundidad (ver cuadro 55).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	9.98	7.49	8.14	7.90	9.53	9.30	9.14
Con Trat.	2.10	1.80	2.00	2.30	2.70	3.00	----

unidades en mmhos/cm

**Cuadro 55.** Conductividad Eléctrica del extracto de la pasta de saturación de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la tercera calicata sin tratamiento, la C.E. varió de 2.26, de 0-10 cm, a 4.63 mmhos/cm de 50-60 cm. Después del tratamiento, los valores de C.E. fueron de 1.3, de 10-20 cm, a 2.2 mmhos/cm en la capa mas profunda de 60-70 cm (ver cuadro 56).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	2.26	2.37	2.79	3.21	3.32	4.63	2.55
Con Trat.	1.40	1.30	1.40	1.60	1.60	1.90	2.20

unidades en mmhos/cm

**Cuadro 56.** Conductividad Eléctrica del extracto de la pasta de saturación de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.4 sin mejorador, la C.E. varió de 6.81, de 50-60 cm, a 11.24 mmhos/cm de 20-30 cm. Con el tratamiento, la C.E. fue de 2.5, de 70-80 cm, a 4.0 mmhos/cm de 10-20 cm de profundidad (ver cuadro 57).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	10.35	9.59	11.24	8.06	6.97	6.81	7.09	7.10	8.52
Con Trat.	3.20	4.00	3.90	3.30	2.90	2.70	----	2.50	2.70

unidades en mmhos/cm

**Cuadro 57.** Conductividad Eléctrica del extracto de la pasta de saturación de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

## 2. Potencial de Hidrógeno (pH) del Extracto de la Pasta de Saturación

El pH en el extracto de la pasta de saturación aumentó ligeramente, una vez concluidos los lavados.

Sin mejorador en la Calicata No.1, varía de 8.1, de 10 a 20 y de 50 a 60 cm, a 8.6 de 30 a 50 cm. Una vez concluido el tratamiento, los valores fueron de 8.3, de 50 a 60 cm, a 9.0 en las dos primeras muestras superficiales (ver cuadro 58).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	8.5	8.1	8.4	8.65	8.6	8.5	8.1
Con Trat.	9.0	9.0	8.7	9.0	8.8	8.6	8.3

**Cuadro 58.** pH del extracto de la pasta de saturación de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2 los valores de pH variaron de 8.3, de 40 a 50 y de 60 a 70 cm, a 8.6 de 30 a 40 cm, sin mejorador. Con tratamiento, el pH va de 8.4, de 50 a 60 cm, a 8.8 de 0 a 30 cm de profundidad (ver cuadro 59).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	8.4	8.55	8.5	8.6	8.3	8.5	8.3
Con Trat.	8.8	8.8	8.8	8.6	8.7	8.4	----

**Cuadro 59.** pH del extracto de la pasta de saturación de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la tercera calicata sin tratamiento, el pH varió desde 7.7, de 50 a 60 cm, a 8.3 de 10 a 20 cm. Con tratamiento, los valores fueron de 8.0, de 50 a 60 cm, a 8.9 de 10 a 20 cm de profundidad (ver cuadro 60).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	8.25	8.3	8.0	8.1	8.2	7.7	8.1
Con Trat.	8.7	8.9	8.8	8.7	8.6	8.2	8.0

**Cuadro 60.** pH del extracto de la pasta de saturación de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

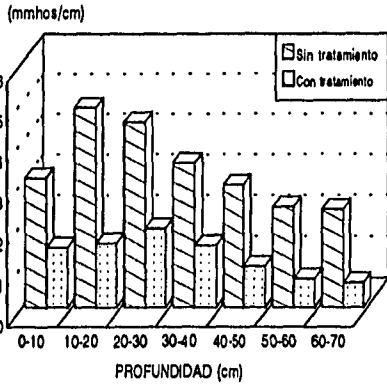
Finalmente en la cuarta calicata el pH varió de 8.0, de 70 a 90 cm, a 8.6 de 10 a 30 cm, sin tratamiento. Después del uso del mejorador, los valores oscilaron entre 8.4, de 70 a 90 cm, a 8.8 de 0 a 10 y 30 a 40 cm de profundidad (ver cuadro 61).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	8.4	8.6	8.6	8.5	8.2	8.1	8.1	8.0	8.0
Con Trat	8.8	8.5	8.7	8.8	8.6	8.5	----	8.4	8.4

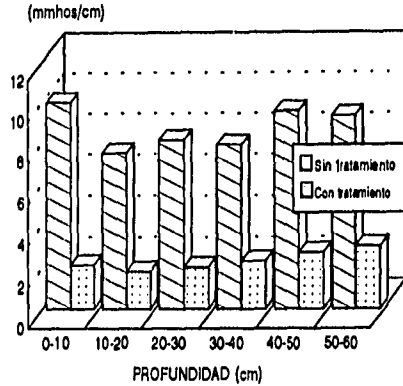
**Cuadro 61.** pH del extracto de la pasta de saturación de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

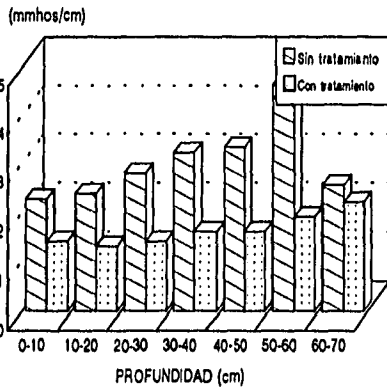
## CALICATA No. 1



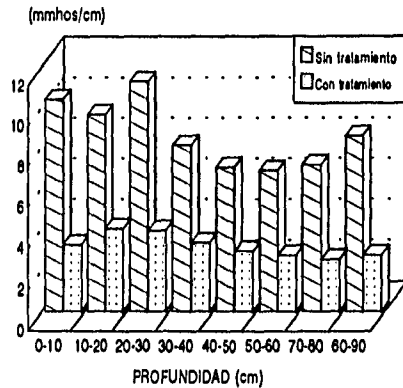
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4

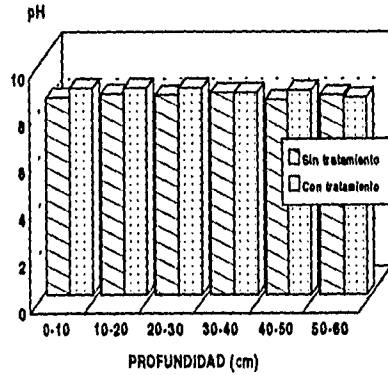
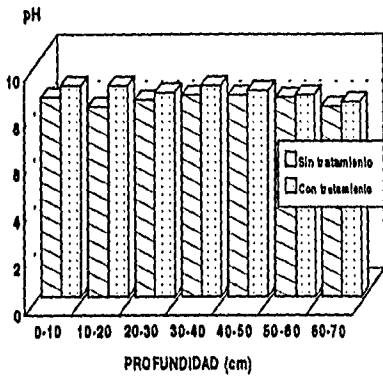


**GRAFICO 13.** Representación gráfica de la Conductividad Eléctrica del extracto de la pasta de saturación de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

# pH DEL EXTRACTO DE LA PASTA DE SAT.

CALICATA No. 1

CALICATA No. 2



CALICATA No. 3

CALICATA No. 4

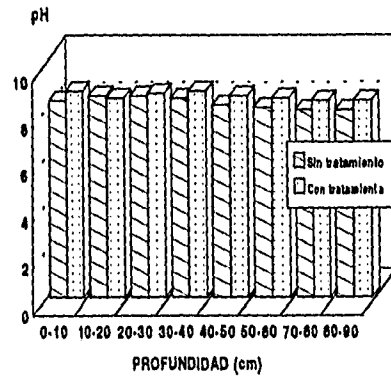
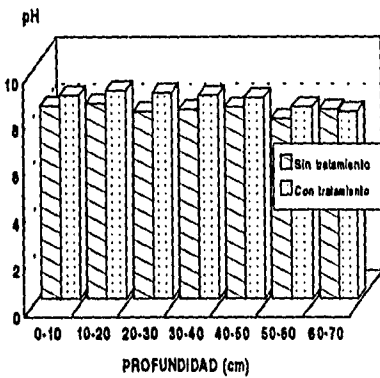


GRAFICO 14. Representación gráfica del pH del extracto de la pasta de saturación de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.



### 3. Calcio Soluble

Se observó un descenso en el calcio soluble en las cuatro calicatas con la aplicación del mejorador.

En la primera calicata sin tratamiento, el calcio varió de 4.84, de 50-60 cm, a 8.42 meq/l de 10-20 cm. Con tratamiento, los valores fueron de 1.83, de 50-60 cm, a 4.13 meq/l en la capa de 0-10 cm de profundidad (ver cuadro 62).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	7.78	8.42	7.78	6.73	6.52	4.84	5.47
Con Trat.	4.13	3.44	4.13	2.75	2.29	1.83	2.75

unidades en meq/l

Cuadro 62. Calcio soluble de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2, el calcio soluble varió desde 14.94, de 20-30 cm, a 29.84 meq/l de 40-50 cm, sin mejorador. Con tratamiento los valores fueron de 4.59, de 10-20 cm, a 6.80 meq/l de 60-70 cm de profundidad (ver cuadro 63).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	27.36	16.42	14.94	19.89	29.84	24.45	25.07
Con Trat.	5.51	4.59	4.82	5.36	6.59	6.80	----

unidades en meq/l

Cuadro 63. Calcio soluble de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En cuanto a la tercera calicata sin tratamiento, el calcio soluble varió de 3.52, de 60-70 cm, a 9.53 meq/l de 50-60 cm. Con tratamiento varió de 2.68, de 10-20 y 40-50 cm, a 4.94 meq/l de 60-70 cm de profundidad (ver cuadro 64).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	6.21	5.80	5.59	5.18	5.38	9.53	3.52
Con Trat.	3.91	2.68	4.12	3.29	2.68	3.71	4.94

unidades en meq/l

Cuadro 64. Calcio soluble de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.4 sin uso del mejorador, el calcio varió de 15.95, de 60-70 cm, a 32.74 meq/l de 20-30 cm. Con tratamiento, los valores variaron desde 4.66, de 70-80 cm, a 7.12 meq/l de 10-20 cm de profundidad (ver cuadro 65).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	21.96	17.40	32.74	22.38	18.03	16.37	15.95	16.78	20.72
Con Trat	7.96	19.99	21.35	12.62	6.40	5.82	----	4.66	6.01

unidades en meq/l

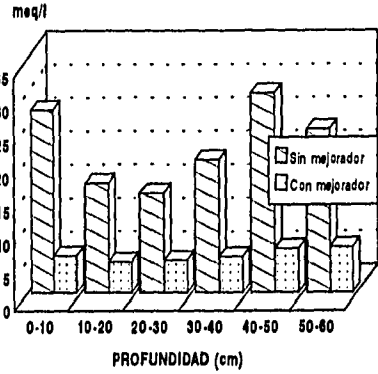
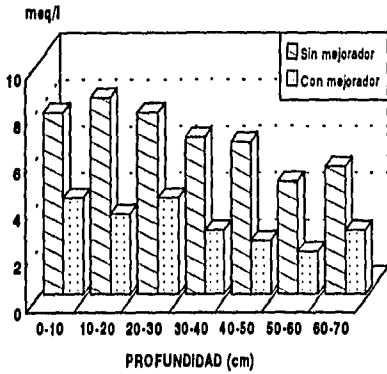
Cuadro 65. Calcio soluble de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

# CALCIO SOLUBLE

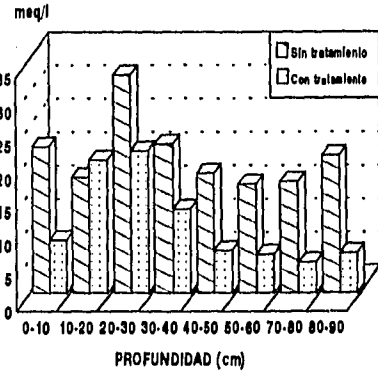
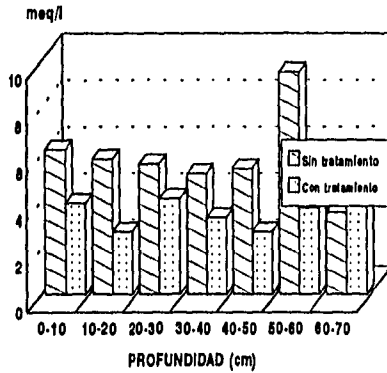
## CALICATA No. 1

## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3

## CALICATA No. 4



**GRAFICO 15.** Representación gráfica del Calcio Soluble de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

80

#### 4. Magnesio soluble

El magnesio en forma soluble disminuyó notablemente una vez que ha sido tratado el suelo con el mejorador y los lavados aplicados.

El magnesio en la Calicata No.1 varió de 10.31, de 60-70 cm, a 15.15 meq/l de 40-50 cm, sin tratamiento. Con mejorador hubo un descenso y los valores fueron de 3.4, de 60-70 cm, a 7.12 meq/l de 10-20 cm de profundidad (ver cuadro 66).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	11.99	10.52	13.89	14.73	15.15	13.26	10.31
Con Trat.	5.97	7.12	6.89	4.59	3.67	3.90	3.44

unidades en meq/l

**Cuadro 66.** Magnesio soluble de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2 sin mejorador, el magnesio varió de 24.42, de 20-30 cm, a 60.10 meq/l de 50-60 cm. Con el mejorador hay un notable descenso y los valores variaron de 8.45, de 30-40 cm, a 14.22 meq/l de 50-60 cm de profundidad (ver cuadro 67).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	56.41	45.89	24.42	52.22	47.87	60.10	57.82
Con Trat.	11.95	11.95	10.34	8.45	12.16	14.22	----

unidades en meq/l

**Cuadro 67.** Magnesio soluble de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la tercera calicata sin tratamiento, el magnesio varió de 2.90, de 10-20 cm, a 16.16 meq/l de 50-60 cm. Con tratamiento los valores fueron de 3.71, de 50-60 cm, a 9.65 meq/l de 60-70 cm de profundidad (ver cuadro 68).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	10.36	2.90	4.35	4.55	6.21	16.16	5.18
Con Trat.	5.77	6.39	4.32	5.97	3.71	5.97	9.69

unidades en meq/l

**Cuadro 68.** Magnesio soluble de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

Por lo que respecta a la última calicata, el magnesio varió de 34.81, de 40-50 cm, a 79.16 meq/l en la capa superficial de 0-10 cm, sin empleo del mejorador. Con tratamiento, los valores variaron de 10.87, de 70-80 cm, a 45.63 meq/l de 10-20 cm de profundidad (ver cuadro 69).

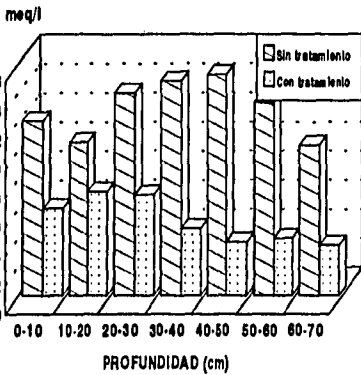
Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	79.16	64.66	68.16	46.83	34.81	35.23	36.47	38.34	46.83
Con Trat.	19.19	45.63	42.32	21.55	13.78	12.81	----	10.87	13.0

unidades en meq/l

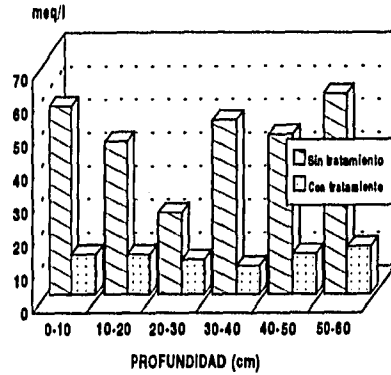
**Cuadro 69.** Magnesio soluble de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# MAGNESIO SOLUBLE

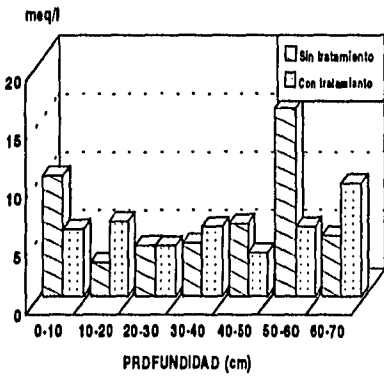
## CALICATA No. 1



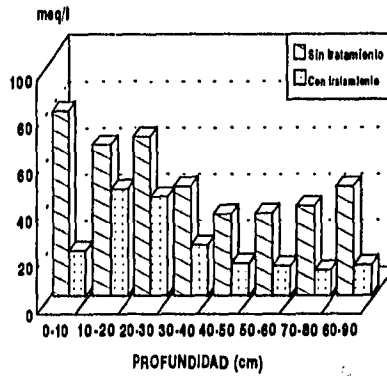
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**GRAFICO 16.** Representación gráfica del Magnesio Soluble de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## 5. Sodio soluble

Por su movilidad, el  $\text{Na}^+$  fue también de los cationes que más se perdieron con el tratamiento.

Antes del mismo, el sodio en la Calicata No.1 varió de 16.34, de 60-70 cm, a 38.04 meq/l de 20-30 cm. Después del tratamiento, los valores variaron de 5.56 a 19.58 meq/l en las mismas capas (ver cuadro 70).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	21.26	38.04	38.04	28.0	24.34	18.08	16.34
Con Trat.	14.03	16.64	19.58	13.70	8.94	6.52	5.56

unidades en meq/l

**Cuadro 70.** Sodio soluble de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2 sin tratamiento, el sodio soluble varió de 63.91, de 20-30 cm, a 82.46 meq/l en la capa de 60-70 cm. Con mejorador, el sodio fue de 14.36, de 10-20 cm, a 23.66 meq/l de 40-50 cm de profundidad (ver cuadro 71).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	61.73	56.95	63.91	66.08	78.26	79.30	82.43
Con Trat.	15.99	14.36	17.88	16.31	23.66	24.65	----

unidades en meq/l

**Cuadro 71.** Sodio soluble de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la tercera calicata el sodio varió de 9.39, de 10-20 cm, a 38.34 meq/l de 50-60 cm, sin mejorador. Con tratamiento, los valores variaron de 4.52, de 10-20 cm, a 12.57 meq/l de 60-70 cm de profundidad (ver cuadro 72).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	15.21	9.39	25.04	30.0	32.60	38.34	24.52
Con Trat.	6.07	4.52	9.18	12.08	10.87	12.09	12.57

unidades en meq/l

**Cuadro 72.** Sodio soluble de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.4, los valores de sodio variaron de 62.08, de 70-80 cm, a 104.34 meq/l de 20-30 cm, sin empleo del mejorador. Con tratamiento, el sodio fue de 21.75, de 70-80 cm, a 40.9 meq/l de 10-20 cm de profundidad (ver cuadro 73).

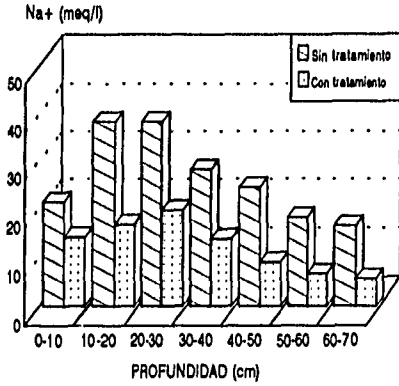
Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	88.26	82.17	104.34	66.78	62.60	69.56	64.0	62.08	79.73
Con Trat.	35.68	40.90	40.03	35.50	32.63	26.10	----	21.75	27.19

unidades en meq/l

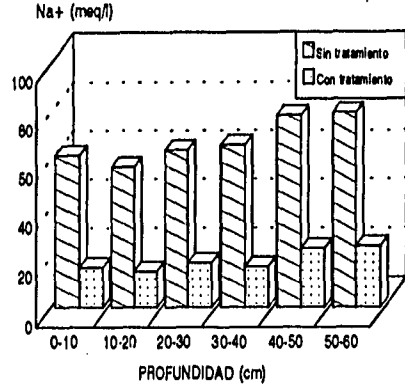
**Cuadro 73.** Sodio soluble de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# SODIO SOLUBLE

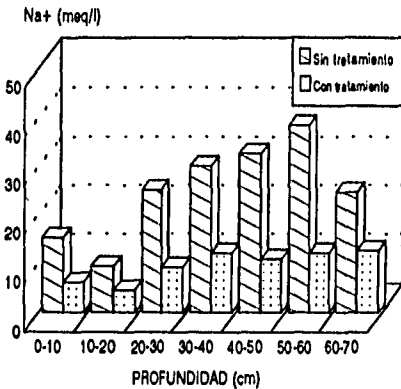
## CALICATA No.1



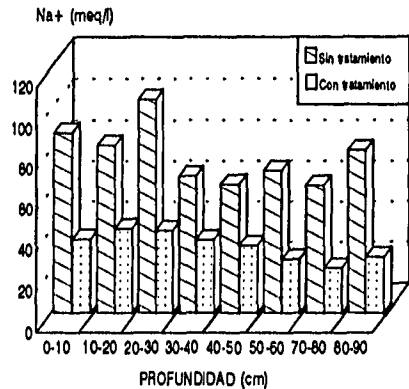
## CALICATA No.2



## CALICATA No.3



## CALICATA No.4



**GRAFICO 17.** Representación gráfica del Sodio Soluble de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## 6. Potasio soluble

El potasio en la Calicata No.1 varió de 1.01, de 50-60 cm, a 2.83 meq/l de 10-20 cm, sin mejorador. Con tratamiento, va de 0.56 a 1.24 meq/l en las mismas capas (ver cuadro 74).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	1.48	2.83	1.62	1.11	1.04	1.01	1.17
Con Trat.	0.99	1.24	0.64	0.79	0.62	0.52	0.56

unidades en meq/l

Cuadro 74. Potasio soluble de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2 sin mejorador, el potasio oscila entre 0.97, de 30-40 cm, a 1.67 meq/l de 0-10 cm. Con tratamiento, los valores van de 0.38, de 10-20 cm, a 0.64 meq/l de 20-30 cm de profundidad (ver cuadro 75).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	1.67	1.21	1.15	0.97	1.21	1.17	1.25
Con Trat.	0.51	0.38	0.64	0.52	0.54	0.59	----

unidades en meq/l

Cuadro 75. Potasio soluble de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

El potasio en la Calicata 3 varió de 1.11, de 60-70 cm, a 2.39 meq/l en la capa superficial de 0-10 cm, sin tratamiento. Con mejorador y lavados, el potasio bajó con valores que van de 0.79, de 40-50 cm, a 1.58 meq/l en la capa superficial de 0-10 (ver cuadro 76).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	2.39	1.86	1.76	1.38	1.27	1.71	1.11
Con Trat.	1.58	1.50	1.20	0.99	0.79	0.99	1.20

unidades en meq/l

Cuadro 76. Potasio soluble de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

Por último, en la Calicata No.4 sin mejorador, el potasio varió de 0.86, de 50-70 cm, a 4.34 meq/l en la capa de 0-10. Con tratamiento, los valores fueron de 0.73, de 40-90 cm de profundidad, a 2.12 meq/l de 0-10 (ver cuadro 77).

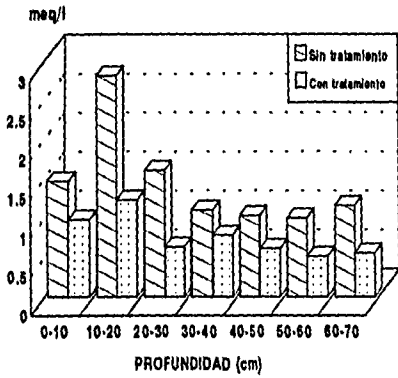
Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	4.34	2.49	2.10	1.11	0.94	0.86	0.86	0.94	1.25
Con Trat	2.12	1.97	1.38	1.02	0.80	0.73	----	0.73	0.73

unidades en meq/l

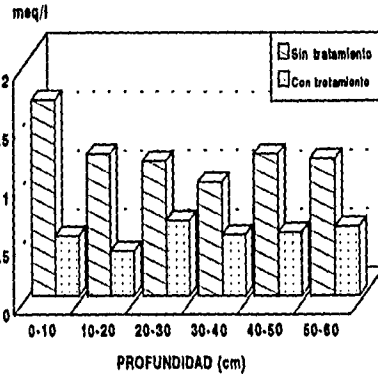
Cuadro 77. Potasio soluble de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# POTASIO SOLUBLE

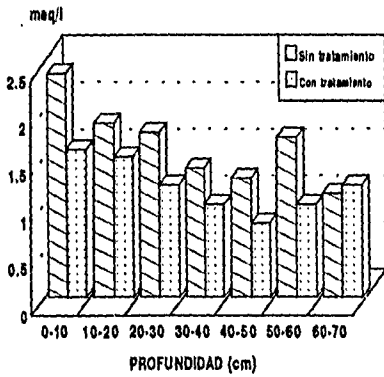
## CALICATA No. 1



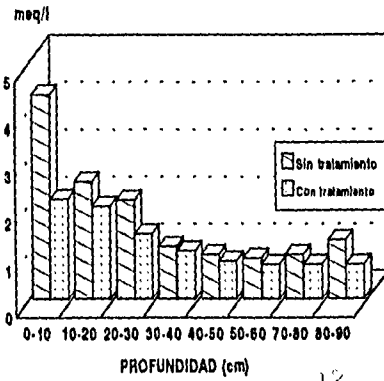
## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3



## CALICATA No. 4



**GRAFICO 18.** Representación gráfica del Potasio Soluble de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.



## 7. Sulfatos

Los sulfatos en forma soluble descendieron notoriamente con el tratamiento. En las calicatas dos y cuatro, en donde los sulfatos se presentaban en mayor cantidad, se observa mejor el abatimiento.

En la Calicata No.1, los sulfatos variaron de 5.14, de 50-60 cm, a 29.98 meq/l de 10-20 cm, sin empleo de mejorador. Con tratamiento, los valores fueron de 1.71, de 50-60 cm, a 20.56 meq/l de 20-30 cm (ver cuadro 78).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	16.27	29.98	18.85	29.13	8.56	5.14	10.28
Con Trat.	9.42	10.28	20.56	14.26	5.14	1.71	2.57

unidades en meq/l

**Cuadro 78.** Sulfatos solubles de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la segunda calicata sin tratamiento, los valores variaron de 82.25, de 30-40 cm, a 123.38 meq/l de 60-70 cm. Con mejorador y lavados, los sulfatos oscilaron de 20.56, de 10-30 cm, a 37.70 meq/l de 50-60 cm de profundidad (ver cuadro 79).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	113.95	85.68	118.24	82.25	104.53	104.53	123.38
Con Trat.	25.71	20.56	20.56	22.27	30.84	37.70	---

unidades en meq/l

**Cuadro 79.** Sulfatos solubles de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En cuanto a la Calicata No.3 sin tratamiento, los sulfatos variaron de 5.99, en la capa superficial de 0-10 cm, a 45.41 meq/l de 50-60 cm. Con tratamiento, los valores fueron de 0.85 a 21.42 meq/l, en las mismas capas (ver cuadro 80).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	5.99	13.70	10.28	14.56	20.56	45.41	26.56
Con Trat.	0.85	8.56	4.28	7.71	9.42	21.42	13.70

unidades en meq/l

**Cuadro 80.** Sulfatos solubles de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.4 sin tratamiento, los sulfatos variaron de 82.25, de 60-70 cm, a 152.51 meq/l de 20-30 cm. Con tratamiento, se tienen valores que fueron de 25.70, de 50-60 cm, a 100.24 meq/l de 10-20 cm (ver cuadro 81).

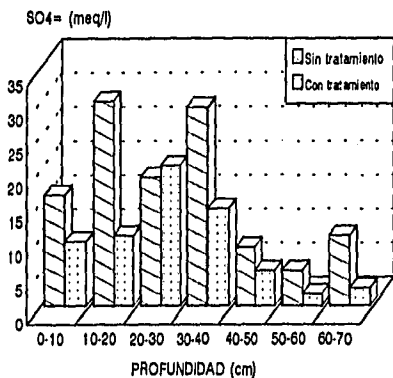
Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	120.81	114.81	152.51	109.95	80.54	83.96	82.25	83.11	105.05
Con Trat.	42.84	100.24	86.53	50.55	30.84	25.70	---	30.84	28.27

unidades en meq/l

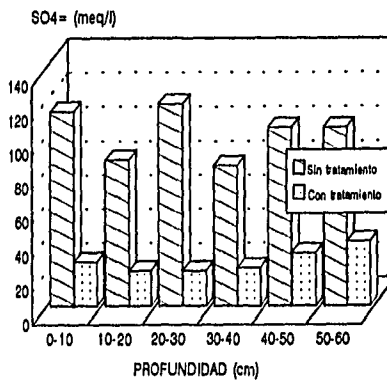
**Cuadro 81.** Sulfatos solubles de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# SULFATOS

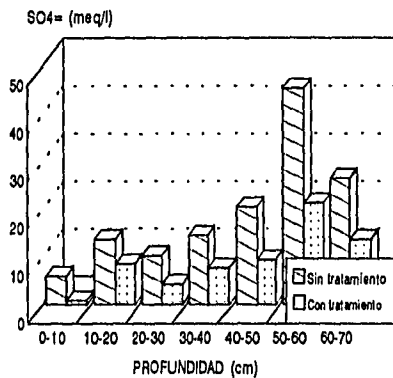
## CALICATA No.1



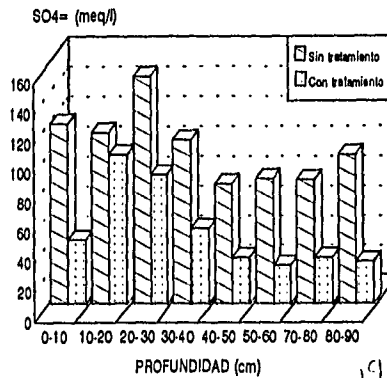
## CALICATA No.2



## CALICATA No.3



## CALICATA No.4



**GRAFICO 19.** Representación gráfica de los Sulfatos de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## 8. Cloruros

Los cloruros, fáciles de lixiviar, fueron también removidos por los lavados, observándose un descenso en los valores de antes y después del tratamiento con mejorador.

En la primera calicata sin mejorador, los cloruros variaron de 11.42, de 60-70 cm, a 20.95 meq/l de 10-20 cm. Con tratamiento, los valores van de 5.50 a 8.25 meq/l en las mismas capas (ver cuadro 82).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	12.37	20.95	19.99	16.18	13.3	12.37	11.42
Con Trat.	6.42	8.25	7.33	7.33	6.42	6.42	5.50

unidades en meq/l

Cuadro 82. Cloruros solubles de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2 sin mejorador, los valores de cloruros variaron de 19.04, en la capa superficial, a 35.40 meq/l de 60-70 cm de profundidad. Una vez sometida a tratamiento, los cloruros fueron de 6.14, de 10-20 y 30-40 cm, a 8.77 meq/l de 60-70 cm de profundidad (ver cuadro 83).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	19.04	19.95	21.90	25.71	31.42	34.28	35.23
Con Trat.	7.01	6.14	7.01	6.14	7.01	8.77	----

unidades en meq/l

Cuadro 83. Cloruros solubles de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

Los cloruros variaron de 8.57 de 0-10 cm, a 19.04 meq/l de 40-60 cm en la Calicata No.3, sin empleo de mejorador. Con tratamiento disminuyeron los valores, que fueron de 1.75, de 10-20 cm, a 4.82 meq/l de 40-60 cm de profundidad (ver cuadro 84).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	8.57	9.52	13.33	17.14	19.04	19.04	14.28
Con Trat.	2.63	1.75	4.38	5.26	4.82	4.82	3.50

unidades en meq/l

Cuadro 84. Cloruros solubles de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

En la cuarta calicata el comportamiento es similar. Los valores sin tratamiento fueron de 20.95, de 40-50 cm, a 33.33 meq/l de 20-30 cm. Una vez sometida al tratamiento, los cloruros variaron de 6.14, de 30-40 cm, a 8.77 meq/l de 0-30 cm de profundidad (ver cuadro 85).

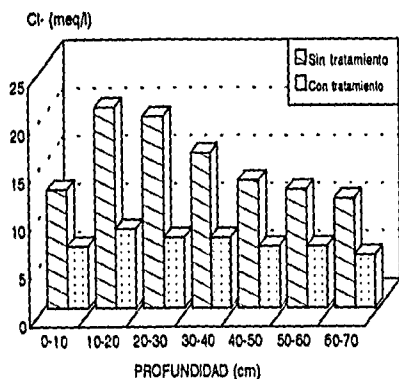
Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	27.61	25.41	33.33	22.80	20.95	21.90	22.85	23.80	29.52
Con Trat.	8.77	8.77	8.77	6.14	7.89	6.14	----	6.14	7.01

unidades en meq/l

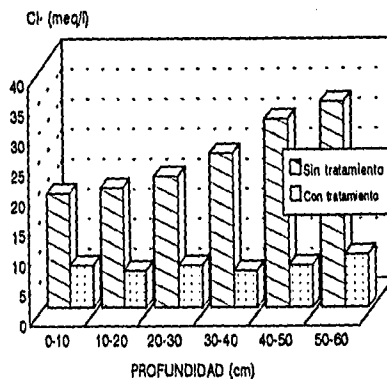
Cuadro 85. Cloruros solubles de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# CLOURUROS

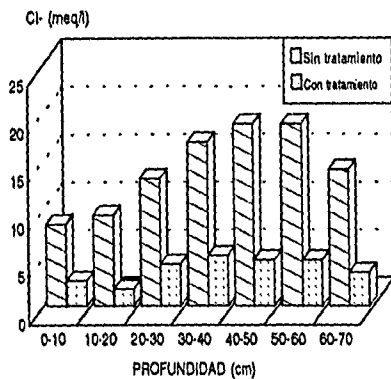
## CALICATA No.1



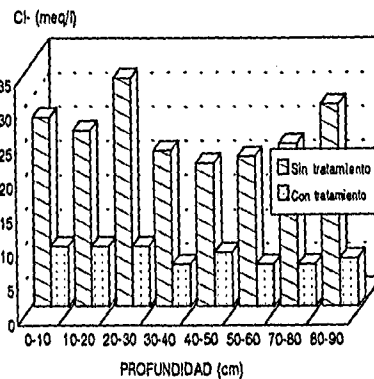
## CALICATA No.2



## CALICATA No.3



## CALICATA No.4



**GRAFICO 20.** Representación gráfica de los Cloruros de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## 9. Carbonatos

Los carbonatos fueron prácticamente desplazados del suelo con el tratamiento, de tal manera que después de éste no se identificaron en el suelo.

En la Calicata No.1, el valor obtenido de carbonatos fue de 10 meq/l en toda la calicata. Como ya se señaló, no se identificaron después del tratamiento (ver cuadro 86).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	10	10	10	10	10	10	10
Con Trat.	0	0	0	0	0	0	0

unidades en meq/l

Cuadro 86. Carbonatos solubles de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la segunda calicata sin tratamiento, los valores de carbonatos fueron de 20 meq/l en la capa superficial, y de 10 meq/l en el resto. Después del tratamiento, no se encontraron carbonatos (ver cuadro 87).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	20	10	10	10	10	10	10
Con Trat.	0	0	0	0	0	0	----

unidades en meq/l

Cuadro 87. Carbonatos solubles de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.3 sin tratamiento, los valores de carbonatos fueron de 5 meq/l, de 30-40 y 60-70 cm, y 10 meq/l en las capas de 0-30 y 40-60 cm de profundidad. Después del tratamiento no se detectaron carbonatos en ninguna capa (ver cuadro 88).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	10	10	10	5	10	10	5
Con Trat.	0	0	0	0	0	0	0

unidades en meq/l

Cuadro 88. Carbonatos solubles de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

En la Calicata 4, los carbonatos variaron de 5 meq/l, de 30-80 cm, a 10 meq/l de 0-30 y 80-90 cm de profundidad, sin uso del mejorador. Después del tratamiento, como en las calicatas anteriores, no hubo identificación de carbonatos (ver cuadro 89).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	10	10	10	5	5	5	5	5	10
Con Trat.	0	0	0	0	0	0	----	0	0

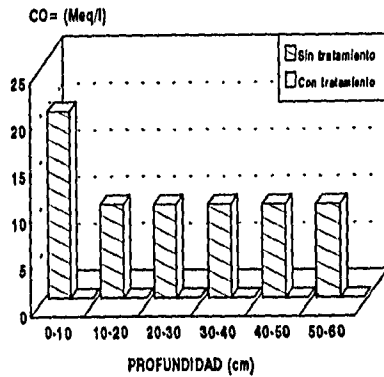
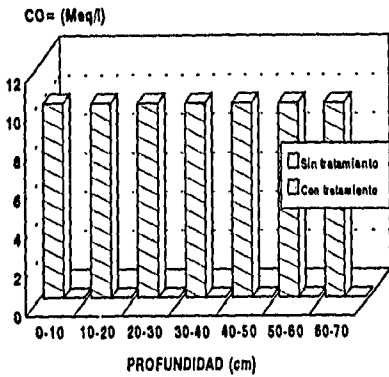
unidades en meq/l

Cuadro 89. Carbonatos solubles de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# CARBONATOS

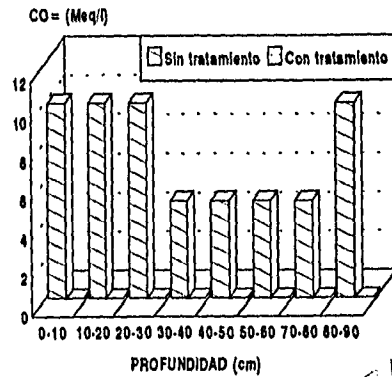
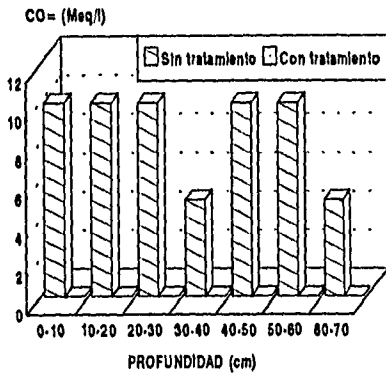
## CALICATA No. 1

## CALICATA No. 2



## CALICATA No. 3

## CALICATA No. 4



**GRAFICO 21.** Representación gráfica de los Carbonatos de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.

## 10. Bicarbonatos

Los bicarbonatos también disminuyeron de manera importante en el suelo cuando fue tratado con el mejorador y las láminas de lavado.

En la Calicata No.1 sin mejorador, los bicarbonatos variaron de 19 meq/l, de 0-20 y 30-70 cm, a 29 meq/l de 20-30 cm de profundidad. Con tratamiento, los valores oscilan entre 1.1, de 50-70 cm, a 1.9 meq/l de 10-20 cm de profundidad (ver cuadro 90).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	19.0	19.0	29.0	19.0	19.0	19.0	19.0
Con Trat.	1.8	1.9	1.5	1.6	1.2	1.1	1.1

unidades en meq/l

Cuadro 90. Bicarbonatos solubles de la calicata 1, antes y después del tratamiento.

En la Calicata No.2, los valores variaron de 19.0, de 20-40 y 60-70 cm, a 29 meq/l de 10-20 y 40-60 cm, sin tratamiento. Después del mejorador, los valores disminuyeron y fueron de 1.0, de 50-60 cm, a 2.3 meq/l de 40-50 cm de profundidad (ver cuadro 91).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	28.0	29.0	19.0	19.0	29.0	29.0	19.0
Con Trat.	1.3	1.2	1.4	1.3	2.3	1.0	----

unidades en meq/l

Cuadro 91. Bicarbonatos solubles de la calicata 2, antes y después del tratamiento.

En la tercera calicata sin tratamiento, los bicarbonatos variaron de 9.9 de 60-70 a 19.9 meq/l de 30-40 cm, sin mejorador. Con tratamiento, los valores fueron de 0.7 de 50-70 cm, a 1.3 meq/l en la capa de 0-30 cm de profundidad (ver cuadro 92).

Prof. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Sin Trat.	19.0	19.0	19.0	19.9	19.0	19.0	9.9
Con Trat.	1.3	1.3	1.3	1.1	0.9	0.7	0.7

unidades en meq/l

Cuadro 92. Bicarbonatos solubles de la calicata 3, antes y después del tratamiento.

Por último, en la Calicata No.4 sin tratamiento, los bicarbonatos en el suelo sin tratamiento variaron de 9.9 de 50-60 cm, a 29 meq/l de 20-30 cm de profundidad. Una vez tratada, la calicata presentó valores mas bajos de bicarbonatos y fueron de 0.75, de 70-80 cm, a 1.7 meq/l en la capa superficial de 0-10 cm de profundidad (ver cuadro 93).

Prof.(cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Sin Trat.	19.0	19.0	29.0	14.9	14.9	9.9	14.9	14.9	14.0
Con Trat.	1.75	1.25	1.25	1.15	0.9	0.8	----	0.75	0.9

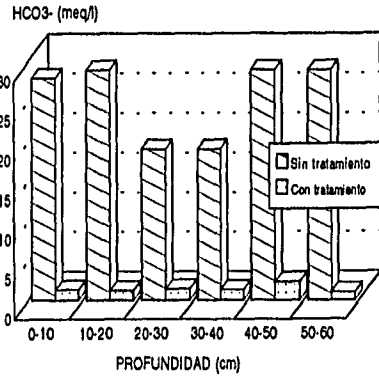
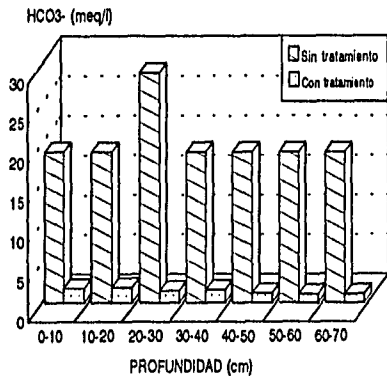
unidades en meq/l

Cuadro 93. Bicarbonatos solubles de la calicata 4, antes y después del tratamiento.

# BICARBONATOS

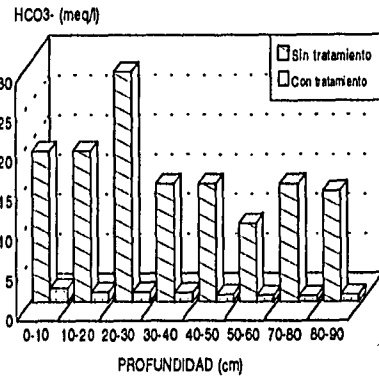
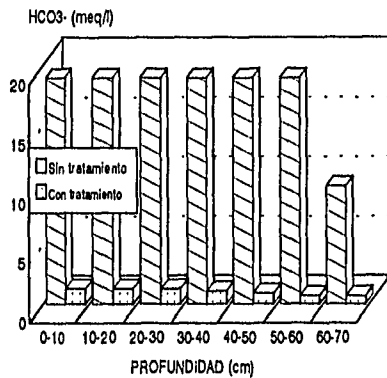
## CALICATA No.1

## CALICATA No.2



## CALICATA No.3

## CALICATA No.4



**GRAFICO 22.** Representación gráfica de los Bicarbonatos de las cuatro calicatas antes y después de la aplicación del mejorador.



## ANALISIS DE VARIANZA DE LAS CUATRO CALICATAS

ANALISIS DE LABORATORIO	CALICATA No. 1		CALICATA No.2		CALICATA No.3		CALICATA No.4	
	F CALC	F TAB	F CALC	F TAB	F CALC	F TAB	F CALC	F TAB
DENSIDAD APARENTE	2.813	1.870	1.701	1.757	1.089	0.401	4.712	6.870
DENSIDAD REAL	3.376	7.636	28.774	23.709	1.590	49.742	12.753	45.342
ARENA	0.167	0.529	0.443	0.229	6.839	0.795	1.562	0.144
TEXTURA LIMO	4.537	3.445	10.806	1.246	3.554	0.393	1.097	0.502
ARCILLA	0.630	0.017	1.804	0.928	8.397	0.004	1.773	0.914
AGUA 1:5	31.161	4.838	6.647	4.705	6.258	1.376	15.940	70.509
pH AGUA 1:10	9.170	1.170	2.243	3.048	4.464	3.460	18.454	5.923
KCl 1:5	59.882	8.823	5.875	15.625	2.427	0.453	1.613	4.121
KCl 1:10	10.888	4.720	3.117	57.647	3.630	2.630	8.816	23.252
MATERIA ORGANICA	26.112	0.037	68.241	2.715	0.800	5.839	1077.566	34.548
CALCIO INTERCAMBIABLE	12.197	19.205	8.679	2.211	5.763	22.558	36.704	2.859
MAGNESIO INTERCAMBIABLE	28.594	3.345	17.593	2.281	23.231	20.839	15.220	0.020
SODIO INTERCAMBIABLE	4.275	40.897	4.372	413.268	2.942	76.935	3.533	78.918
POTASIO INTERCAMBIABLE	3.385	3.783	3.708	0.028	12.703	94.785	4.095	3.487
C.I.C.T.	17.293	18.930	18.667	30.482	55.189	371.353	60.351	12.110
P.S.I.	4.776	101.336	3.445	106.482	2.919	57.525	0.815	162.279
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	5.206	84.805	2.408	342.355	1.695	23.742	1.684	142.093
pH EXTRACTO DE SAT.	2.197	13.342	0.591	6.167	2.844	18.395	4.216	18.608
CALCIO SOLUBLE	7.742	172.072	1.616	57.828	0.704	7.744	3.985	28.285
MAGNESIO SOLUBLE	0.637	55.520	1.281	55.400	0.923	0.340	4.454	39.765
SODIO SOLUBLE	8.248	60.739	7.295	557.040	3.055	30.478	2.903	118.158
POTASIO SOLUBLE	3.881	17.299	0.815	42.932	5.190	17.267	6.147	5.192
CLORUROS	2.340	52.045	1.496	62.491	2.969	77.336	1.837	194.178
SULFATOS	4.285	7.859	1.419	157.180	8.444	15.585	6.040	64.795
CARBONATOS	1.000	49014001	1.000	49.000	1.000	86.400	1.000	63.000
BICARBONATOS	1.020	176.770	1.046	138.505	1.191	178.740	1.370	196.978

**Cuadro 94.** Resultados del Análisis de Varianza aplicado a los datos obtenidos en el experimento. Se muestran las F calculadas y de tablas de cada parámetro con un valor para  $\alpha = 0.05$ .

## VII. DISCUSION

Cuando se experimenta con el empleo de un mejorador de suelos, es evidente que su uso implica un cambio en alguna o algunas de sus propiedades, ya sean físicas, químicas o biológicas. Tal cambio en el suelo está dirigido a favorecer el crecimiento de las plantas que son aprovechadas por el hombre y su grado y tipo dependerá del mejorador utilizado. Sin embargo, en algunos casos el empleo de un mejorador trae consigo algunas desventajas por su costo, manejo o por su naturaleza misma y esto se refleja al evaluar las propiedades del suelo en un cierto periodo de tiempo y con el consecuente descenso del rendimiento del cultivo.

El Mejorador M-GVM utilizado en este estudio, tiene como función principal el desplazamiento de sodio del complejo de intercambio iónico y su eliminación del suelo aprovechable por las plantas. De esta manera, la eficacia del mejorador es evaluada en función del Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y la Conductividad Eléctrica (CE) principalmente, además de otras propiedades físicas y químicas que reflejan el cambio sufrido con la aplicación del mejorador.

El análisis estadístico en los datos obtenidos nos indicó cuales propiedades variaron de manera significativa antes y después del tratamiento con el mejorador biológico empleado. La Densidad Aparente (DA) no presentó una variación significativa en las calicatas 1, 2, y 3. En la calicata 4 la F calculada ( $F_c$ ) es ligeramente superior a la F de tablas ( $F_t$ ) (Recordar en el Análisis de Varianza cuando la  $F_c$  es mayor a la  $F_t$  se dice que hay diferencias estadísticamente significativas entre las fuentes de variación, y viceversa, si la  $F_c$  es menor que la  $F_t$ , las diferencias encontradas no se deberán a los tratamientos, sino que están dadas por el azar). En general, la D.A. no sufrió un cambio notable antes y después de la aplicación del mejorador biológico. Si bien es cierto que en algunas muestras aumentó algunas centésimas, en otras hubo un ligero descenso, pero tales cambios no fueron significativos.

A diferencia de la D.A., la Densidad Real (DR) presentó una variación que fue significativa. En la calicata 1 la diferencia entre la  $F_c$  (7.63) y la  $F_t$  (5.99) fue baja, sin embargo, en la 2, 3 y 4 la  $F_c$  fue muy superior a la  $F_t$  (23.7 por 6.61, 49.7 por 5.99 y 45.3 or 5.59, respectivamente). De esta manera, se observó que después del tratamiento hubo un descenso en los valores de D.R., un cambio que para el crecimiento y desarrollo de una planta, no representa ningún problema, y que de alguna manera pudo originarse por la naturaleza biofísicoquímica del mejorador al afectar el peso específico de las partículas del suelo.

El pH del suelo presentó comportamientos interesantes. En la calicata 1 el pH con KCl en relación 1:5 fue diferente estadísticamente después del tratamiento, presentándose un descenso en los valores. También en la calicata 2 en descenso es significativo con KCl en ambas relaciones, lo mismo que en la cuarta calicata donde se manifestó en la realación 1:10. En la calicata 4 también hubo un cambio en el pH utilizando agua destilada, en las relaciones 1:5 y 1:10, sin embargo, éste fue un aumento después del tratamiento con mejorador,

situación contraria cuando se utilizó KCl 1N. Quizá tenga que ver la acción del mejorador al desplazar tardíamente iones  $\text{Na}^+$  a la solución del suelo, que de alguna manera interactúan con las moléculas de agua formando sales que alcalinizan el medio, lo que no sucede con el KCl, sin embargo, son especulaciones que habrá que investigar posteriormente con el estudio del mejorador.

La Textura no presentó diferencias significativas antes y después de la aplicación del mejorador. Las Fc de las tres fracciones son en su mayoría muy inferiores a las Ft respectivas. El limo en la calicata 1 fue la fracción que más diferencias tuvo, aunque sin ser significativas. En este sentido, el mejorador no influye de manera significativa en la textura del suelo, característica que tiene que ver con la disponibilidad de agua para las plantas, el nivel de nutrimentos, la aireación y otros aspectos.

Es interesante observar el comportamiento de la Materia Orgánica (M.O.) con la aplicación del mejorador. Mientras que en la calicata 1, 2 y 4 la tendencia es un aumento de M.O. después del tratamiento (aunque en algunas muestras disminuyó ligeramente), en la calicata 3 sucedió lo contrario: es decir en todas las muestras de suelo disminuyó la M.O. después de la aplicación del mejorador M-GVM. Sin embargo, el análisis de varianza hace notar que este cambio de M.O. en la calicata señalada no es significativo estadísticamente ( $F_c=5.83$  y  $F_t=5.99$ ). Por otro lado, en la calicata 1 y 2 el aumento no fue significativo mientras que en la cuarta calicata las diferencias sí fueron diferentes estadísticamente.

Uno de los efectos esperados con el tratamiento aplicado y con el lavado es la pérdida de bases solubles y aún intercambiables. Sin embargo, el descenso no fue en la misma proporción. El calcio intercambiable disminuyó con el tratamiento, mas solo fue significativo en la calicata 1 y 3, mientras que en la calicata 2 y 4 solo disminuyó ligeramente, aunque en algunas muestras aumentó quizá debido a error metodológico. Observando los resultados y el análisis de las cuatro calicatas, las diferencias presentes entre las calicatas 1-3 y 2-4, están en la Conductividad Eléctrica. Las calicatas 1 y 3 como se recordará, se encuentran situadas a orillas del canal de la chinampa, mientras que la 2 y 4 se encuentran tierra adentro, aproximadamente 20 metros. De tal modo que, el  $\text{Ca}^{++}$  intercambiable solo varió en las calicatas menos salinizadas, en tanto en las que presentan más problemas, el cambio no fue significativo, siendo en última instancia favorable para las características del suelo el que no se pierda  $\text{Ca}^{++}$  intercambiable, que es un elemento considerado como macronutriente para las plantas.

Otro de los cationes afectados por el uso del mejorador fue el Magnesio intercambiable que disminuyó con el tratamiento, sin embargo, solo en la calicata 3 fue significativo el cambio ( $F_c=20.83$  y  $F_t=5.99$ ) y como sucedió con el calcio, aumentó en algunas muestras. Esto también es favorable considerando que el magnesio también es un importante nutriente para la plantas.

Una de las propiedades más importantes para evaluar la eficiencia de un mejorador de suelos cuya función es eliminar el exceso de sodio y sales es precisamente el contenido de sodio intercambiable, cuyo desplazamiento es más difícil que el que se encuentra en forma soluble en forma soluble en la solución del suelo. Cuando se observan los valores de sodio

intercambiable, después del tratamiento en las cuatro calicatas, se nota inmediatamente que hubo un cambio significativo, de tal manera que las Fc son muy superiores a las Ft, sobre todo las de la calicata 2 y 4, por su alto contenido inicial de sodio. El descenso llegó a ser hasta del 87.8% en algunos casos, demostrando la eficiencia del mejorador en el desplazamiento de sodio del complejo de cambio, al aplicarlo solo una vez y con una concentración relativamente baja.

Solo en la calicata 3 se presentó un cambio significativo en el contenido de potasio en forma intercambiable, sin embargo, en las restantes disminuyó muy poco. El potasio también es considerado un nutrimento indispensable para el crecimiento de las plantas, de ahí que es importante que no se pierda en forma tan marcada del suelo aprovechable por los cultivos.

La Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT) sufrió un descenso significativo con el uso del mejorador y las láminas de lavado de tal manera que las Fc de las cuatro calicatas son mayores que sus respectivas Ft. Aún cuando la CICT disminuyó, los valores obtenidos después del tratamiento son todavía considerados altos, para un intercambio iónico óptimo. Es importante considerar que cuando se efectuaba cada uno de los lavados, el extracto obtenido siempre presentaba un color pardo o pardo muy oscuro, lo que quiere decir que con cada lavado el suelo estaba perdiendo fracciones orgánicas coloidales como ácidos fúlvicos o húmicos, cuya naturaleza química hace posible la presencia de sitios de intercambio iónico y que, a final de cuentas, influyó en gran medida al valor de CICT. En consecuencia, al perderse este tipo de fracciones coloidales, se pierden sitios de intercambio iónico y por ende, la CICT disminuyó.

El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) nos dice la proporción de sitios de intercambio iónico que están ocupados por sodio. Como consecuencia del desplazamiento de sodio del complejo de cambio, el PSI disminuyó considerablemente y de manera significativa, siendo las Fc muy superiores a sus Ft respectivas. Antes del tratamiento, los valores del PSI eran superiores al 15% en su mayoría, que es el límite señalado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para ser considerado como un suelo sódico. Con el mejorador, los valores se abatieron muy por debajo del valor indicado, reflejando de esta manera la eficiencia del mejorador utilizado.

Cuando se utiliza un mejorador de suelos salino-sódico, se hace necesaria la aplicación de agua para que elimine el exceso de sales de la solución del suelo así como el sodio que ha sido liberado al medio por la acción del mejorador. Esta práctica hace posible que la Conductividad Eléctrica (CE) del extracto obtenido mediante la pasta de saturación disminuya con cada lámina de agua aplicada. La CE mayor de 4 mmhos/cm se considera para un suelo salino, y las calicatas 2 y 4 se encontraban en esa situación antes del tratamiento, así como algunas muestras de la calicata 1 y 3. Con tratamiento, el descenso de la CE fue significativo en todas las calicatas, de tal forma que las Fc fueron superiores a las Ft.

El pH del extracto de la pasta de saturación también presentó un cambio que resultó significativo en la mayoría de las calicatas, a excepción de la calicata 2, sin embargo, el

cambio se manifestó en un ascenso de pH con el uso del mejorador y las láminas de lavado. Este aumento de pH aún tiene que ser corroborado con experimentos posteriores para sacar conclusiones que expliquen satisfactoriamente este aspecto. Es probable que el efecto del mejorador se traduzca en la formación de sales alcalinizantes como  $\text{NaHCO}_3$  o  $\text{NaCO}_3$  por la liberación de sodio a la solución del suelo y con ello producir valores más altos de pH que los iniciales y que, con la aplicación de más láminas de lavado al suelo, disminuya el pH.

Los iones presentes en el suelo en forma soluble son más fáciles que se pierdan por lixiviación que las que se encuentran en el complejo de cambio, de ahí que cuando se hace el análisis de cationes como el  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  después de haber sido sometido a una serie de lavados con agua, la cantidad de los cationes en forma soluble disminuye en mayor proporción que los cationes intercambiables, como sucedió en el experimento.

El Calcio soluble disminuyó significativamente con el tratamiento aplicado. Las Fc de las calicatas son notablemente superiores a sus respectivas Ft, aunque en menor proporción en la calicata 3.

El Magnesio soluble también cambió considerablemente en las calicatas 1, 2, y 4. En la tercera calicata el descenso no fue significativo, influido por tres muestras en las que hubo un ligero aumento de  $\text{Mg}^{++}$  soluble.

El Sodio por ser uno de los elementos más móviles por su naturaleza fisicoquímica, en las cuatro calicatas se abatió considerablemente y de manera significativa. Esto es importante porque mucho del sodio eliminado con el agua de lavado, se encontraba en el complejo de cambio antes de ser desplazado con el mejorador, de ahí la necesidad de aplicar láminas de agua después del empleo de un mejorador de suelos salino-sódicos.

El Potasio soluble también descendió de manera significativa en las calicatas 1, 2, y 3, mientras que en la cuarta calicata la Fc apenas es inferior a la Ft (5.19 por 5.59), aunque también hubo un descenso en los valores después del tratamiento.

Los aniones como los Sulfatos, Cloruros, Carbonatos y Bicarbonatos, disminuyeron significativamente con el tratamiento y principalmente por el efecto de las láminas de lavado. Los Sulfatos descendieron más notablemente en la calicata 2 y 4, aunque en todas fue significativo el cambio. El descenso en los cloruros se hizo más evidente en la cuarta calicata, mientras que los carbonatos prácticamente desaparecieron con el tratamiento. Finalmente los bicarbonatos disminuyeron proporcionalmente en las cuatro calicatas.

Es importante señalar que las observaciones que se hacen no son de ninguna manera definitivas, ya que se trata de un estudio de un mejorador de suelos, nuevo en su género cuya naturaleza química solo está limitada al investigador que lo presenta por razones de seguridad y cuya patente está en trámite. Por ello, posteriores investigaciones proporcionarán conclusiones más firmes sobre las características del mejorador, que aún se encuentra en etapa de experimentación.

## VIII. CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados de los análisis físicos y químicos en el suelo antes y después del tratamiento con el mejorador M-GVM, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

De acuerdo a la clasificación de suelos con problemas de sales y/o sodio, establecida por el Departamento de Suelos de los Estados Unidos (USDA, 1982), las dos calicatas ubicadas hacia dentro de la chinampa (20 m. aproximadamente), que son la calicata 2 y 4, son suelos salinos-sódicos, ya que en todas las muestras la CE es mayor de 4 mmhos/cm y el PSI arriba de 15% .

Considerando la clasificación de suelos salinos de Pizarro (1978), basada en la CE, la calicata 1 y 3 son ligeramente salinos, mientras que la segunda y cuarta calicata son medianamente salinos a fuertemente salinos.

Las sales solubles mas abundantes antes de que el suelo fuera tratado con el mejorador son los sulfatos, le continúan los cloruros y en menor concentración los carbonatos y bicarbonatos. Los cationes mas abundantes fueron el sodio y el magnesio, por lo que se deduce la presencia de concentraciones altas de sulfato de sodio, sulfato de magnesio, cloruro de sodio y cloruro de magnesio, sales que afectan en gran medida al crecimiento de los cultivos.

Las calicatas 2 y 4, ubicadas a una distancia mayor del canal Toltenco (aproximadamente 35.0 m.), presentaban un grado mas alto de salinidad y sodicidad que las calicatas 1 y 3 que se ubicaron cerca del canal (aproximadamente 10.0 m.).

La aplicación del mejorador biológico M-GVM fue favorable para las propiedades fisicoquímicas del suelo analizadas como la materia orgánica, sodio intercambiable, PSI, CE, cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. Sobre todo, el efecto del mejorador en su función de desplazamiento de sodio del complejo de cambio fue significativamente favorable, lo que se refleja en el PSI.

El mejorador de suelos M-GVM , cuya eficacia se ha evidenciado, tiene la ventaja de ser de naturaleza puramente biológica, es biodegradable y además no involucra ningún tipo de residuos al utilizarlo para mejorar un suelo. Por otro lado, es de fácil manejo y sin ningún tipo de riesgo, ya que no es corrosivo ni irritante a pesar de su naturaleza fisicoquímica, además, el costo del mejorador M-GVM es inferior al de los otros mejoradores que se manejan usualmente (Aguilera, H.N, 1995). Por lo anteriormente señalado, el mejorador utilizado, aún en etapa experimental, puede ser viable para su uso posterior a nivel comercial para rehabilitar suelos con problemas de salinidad y sodicidad, con el apoyo de posteriores investigaciones.

## IX. RECOMENDACIONES

La zona chinampera, se encuentra en serio peligro de desaparecer, siendo una de las causas principales el problema de salinidad y sodicidad, de ahí la necesidad de utilizar mejoradores minerales, orgánicos o como una probable mejor alternativa mejoradores biológicos, que desplacen al sodio y a las sales del suelo para aumentar la calidad agrícola de las chinampas, así como la aplicación de láminas de lavado.

De manera general, se hace recomendable seguir llevando a cabo mas investigaciones que ayuden a aumentar el conocimiento acerca de mejoradores que ayuden a combatir el exceso de sales y sodio del suelo, sobre todo aquellas que impulsen el empleo de mejoradores que no originen efectos residuales a mediano y largo plazo en el suelo, que contribuyan a aumentar aún más el grado de contaminación. Así mismo, mejorar la calidad del agua que es utilizada para riego en las chinampas, es un factor importante para impulsar la capacidad agrícola de estos suelos.

Antes de aplicar un mejorador de cualquier tipo al suelo, o de efectuar cualquier labor para su rehabilitación, se recomienda primero conocer las propiedades fisicoquímicas del mismo para diagnosticar el grado de salinización y sodificación, que es variable en los suelos chinamperos. Esto es con el fin de establecer el mejorador adecuado a utilizar, así como su aplicación y cantidad del mismo.

Otro aspecto que conviene estudiar es la influencia del nivel freático en la zona lacustre ya que influye en la acción del mejorador biológico, puesto que el drenaje presente es deficiente lo que nos hace pensar en el tiempo en el que las sales y sodio suban de nuevo a las capas superficiales, haciendo necesario nuevas mejoras.

Sería interesante seguir experimentando con el mejorador M-GVM en el laboratorio, con mas muestras de suelo considerando grupos testigos y mas repeticiones; aplicando diferentes concentraciones de mejorador por tratamiento; llevando a cabo análisis de laboratorio complementarios como la determinación de fósforo, nitrógeno, etc., esto con el fin de obtener mayor información con una metodología mas variada.

Es indispensable entonces, seguir adelante los estudios experimentales con el mejorador, no sólo a nivel de laboratorio y de invernadero, sino también de campo, para conocer su comportamiento biofisicoquímico en el suelo no sólo durante su aplicación y durante el cultivo, sino a través del tiempo, es decir, cuánto dura su efecto y para determinar hasta que punto se hace necesaria otra aplicación.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- Aceves, N.E. 1979. El Ensalitramiento de los Suelos Bajo Riego. Colegio de Posgraduados, UACH. México.
- Aguilera, H.N. 1989. Tratado de Edafología de México. Tomo I. UNAM. México.
- Aguilera, H.N. et al. 1987-1991. Rehabilitación de suelos de Chinampa y sus relaciones con las plantas cultivadas. I, II, III, IV y V Informes de Trabajo al CONACYT. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Aguilera, H.N. y Fuentes, C.E. 1951. Estudio físico-químico y electronmicroscópico de la fracción arcilla de dos micrones de algunos suelos de Xochimilco. Rev. de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Tomo XII. No. 4.
- Armillas, P. 1971. Gardens on swamps. Science. Vol.17:653-661. USA.
- Bastida, A. y Maciel, I. 1986. Estudio físico y económico-social de Xochimilco. Tesis de Maestría en Ciencia. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.
- Bernstein, L. 1961. Osmotic adjustment of plant to saline media. I. Steady state. American Journal of Botany. Vol. 48, No. 10. pp 909-918.
- Coe, D.M. 1964. The Chinampas of Mexico. Scientific American. 260: 90-96, 211: 90-98. United States of America.
- Departamento de Agricultura de E.U.A. 1990. Clave para la Taxonomía de Suelos. Traducción de Carlos A. Ortiz-Solorio. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México.
- D.D.F. 1989. Rescate Ecológico de Xochimilco. Xochimilco D.D.F. México.
- FAO, UNESCO. 1989. Mapa mundial de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Geografía, Instituto de. 1982. Geographical Topics of México City and its Environs. Latin American Regional Conference. IGU, Brazil. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Gómez, P.A. y Venegas F.R. 1976. La Chinampa Tropical. INIREB informa. Comunicado No.5. México.



- Gómez, P.A. et al. 1982.. Experiences in Traditional Hydraulic Agriculture. Maya Subsistence. Academic Press. USA.
- Gómez, P.A. and Osornio J.J. 1989. Some Reflections on Intensive Traditional Agriculture. Food and Farm. S.E.A. University of California Riverside. USA.
- González, M.A. et al. 1990. Plan para la Regeneración Ecológica y el Desarrollo Regional de la Cuenca Hidrológica de Xochimilco. Grupo de Estudios Ambientales A.C. México.
- INEGI. 1986. Ciudad de México, carta efectos climáticos noviembre a abril, escala 1:250 000. SSP. México.
- Jackson, L.M. 1982. Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona, España.
- Jauregui, E. 1987. Climas. En: Atlas de la Ciudad de México. COLMEX. D.D.F. y Plaza y Valdés Editores (PVE). México.
- Jiménez, O.J.J. 1989. Human Role in Shaping of the Flora in Wetland Community, The Chinampa. International Conference on Wetlands. The people's Role in a Wetland Management. Leiden, The Netherlands. 5-8.
- Jiménez, O.J.J. et al. 1990. Pasado, presente y futuro de las Chinampas. Repunte de Sustentabilidad Maya.
- López, R.G.F. 1988. Sistema Agrícola de Chinampas.
- Lot, H. y Quiroz, F.A. 1979. La Chinampa, un sistema agrícola que utiliza plantas acuáticas. J. Acuatic. Plant. Manage. 17.3 pp
- Mendoza, R.M. 1961. Estudio Geográfico de la Delegación Xochimilco. Tesis de Maestría en Ciencias. Fac. Filosofía y Letras. UNAM. México.
- Mooser, F. 1961. Informe sobre la Geología de la Cuenca del Valle de México y sus zonas colindantes. SRH. CHCVM. México.
- Mooser, F. 1987. Geología. Atlas de la Ciudad de México. COLMEX. D.D.F. y P.V.E. México.
- Munsell Color Company. 1975. Munsell Soil Color Chart. Baltimore. Maryland. USA.
- Ortega, T.E. 1978. Química de Suelos. Omega. Barcelona.

- Pérez-Espinosa, J.G. 1985. La pesca en el medio lacustre y chinampero de San Luis Tlaxiátemalco. Serie: Los Pescadores de México. Vol. 7. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Cuadernos de la Casa Chata. México.
- Pizarro, E. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Agrícola Española S.A. Madrid, España.
- Quiroz, F.A. 1981. Ninfáceas indicadoras del contenido de fósforo asimilable en los sedimentos. *Biótica*. 6 (1) : 99-100.
- Rojas, R.T. 1982. Evolución histórica del repertorio de plantas cultivadas en las chinampas de la Cuenca de México. *Drained Field Agriculture*. Hammond y R.T. Smith. pp 203-251.
- Rojas, R.T. 1983. La Agricultura Chinampera. *Compilación Histórica*. Universidad Autónoma de Chapingo. Colección Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía. No. 7. México.
- Rojas, R.T. 1985. La Cosecha del Agua. Pesca, caza de aves y recolección de otros productos biológicos acuáticos de la Cuenca de México. Serie: Los Pescadores de México. Vol. 7. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Cuadernos de la Casa Chata. México.
- Sánchez, S.L. 1989. Algunos Estudios Edafológicos en San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, D.F. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Sandoval, Ch.G. 1979. Contribución al Estudio de las Cinampas. Departamento de Fitotecnia. UACH. México.
- Santamaría, M. 1912. Las Chinampas del Distrito Federal. *La Agricultura Chinampera. Compilación Histórica*. Teresa Rojas Rabiela, UACH. México. pp 41-70.
- Starker, L. 1982. Fauna Silvestre de México. Instituto de Recursos Naturales Renovables. México.
- Vallejo, A.C. 1992. Contaminación en algunas calicatas en San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxiátemalco. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- West, R.C. y Armillas, P. 1950. Las Chinampas de México. Poesía y realidad de los jardines flotantes. *La Agricultura Chinampera. Compilación Histórica*. Teresa Rojas Rabiela. UACH. México pp 99-114.