



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“ESTUDIO EDAFOLOGICO DE ALGUNAS CHINAMPAS DE XOCHIMILCO, D. F.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

LAURA MORENO IBARRA

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. AMADA LAURA REYES ORTIGOZA



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM

2005



FACULTAD DE CIENCIAS SECCION ESCOLAR

m346357



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
AVENIDA DE  
MEXICO

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"Estudio Edafológico de algunas chinampas de Xochimilco, D. F."

realizado por Laura Moreno Ibarra

con número de cuenta 08522910-7 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza  
Propietario

Propietario M. en C. María del Socorro Galicia Palacios

Propietario Dr. Jorge Enrique Gama Castro

Suplente M. en C. Iván Emmanuel Reyes Solís

Suplente Biól. Claudia Vallejo Albarrán

Consejo Departamental de Biología FACULTAD DE CIENCIAS

  
M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

## DEDICATORIA

*A mi Padre y por el recuerdo de mi madre, con amor y respeto...*

Gracias por creer en mí.

*A mi esposo Sergio, con todo mi amor:*

Por ser y estar siempre conmigo,  
Por su paciencia y desvelos durante todo este tiempo,  
Por su ayuda en la realización de este trabajo,  
Por la atención, el apoyo, el cuidado y sobre todo el amor brindado a nuestros hijos.

*A mis hijos Edgar y Axel, con todo mi amor:*

Por su comprensión y como ejemplo de superación, responsabilidad, trabajo y dedicación.

*A mis hermanos Ramiro, Gricela, Marisela, Sergio y Lucía, con todo cariño:*

Que desde lejos y cerca me han brindado todo su apoyo, alentándome y estando al pendiente de forma muy especial de mis hijos.  
Queriendo compartir esta satisfacción con cada uno de ustedes y deseando seguir siempre unidos.

*A todos mis sobrinos, amorosamente:*

Para que en su formación sigan adelante con todo entusiasmo y dedicación.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento por siempre a las personas que laboran en el Laboratorio de Edafología de la Fac. de Ciencias de la UNAM, por todo el apoyo y las facilidades que me brindaron para la realización de este trabajo. En especial a la Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza por aceptar dirigirme, por su constante atención, confianza y aliento durante todo este tiempo. Muchas gracias.

Agradezco a la M. en C. María del Socorro Galicia Palacios por darme mucho de su tiempo y por su importante y objetiva crítica a este trabajo.

Agradezco al M. en C. Iván E. Reyes Solís y al Dr. Jorge E. Gama Castro por la revisión y contribución para mejorar mi trabajo.

Un agradecimiento especial para la Biól. Claudia Vallejo Albarrán, por la revisión de este trabajo, por sus valiosas observaciones, comentarios, sugerencias y más aún por influir de manera importante en mi formación académica y profesional.

Gracias a la M. en C. Rosalía Ramos Bello por las facilidades que me brindo tan desinteresadamente.

Gracias por el apoyo a todas mis amigas y compañeras de la Escuela Fernando R. Rodríguez que creyeron y confiaron en mí; y con quienes he compartido la realización de esta tesis.

Sobre todo, gracias a Dios, por darme la fortaleza, por tenerme en todo momento en sus manos y por poner en mi camino a todas las personas que han tenido que ver en mi formación personal y profesional.

## ÍNDICE

	Página
<b>I. RESUMEN</b>	1
ABSTRACT	2
<b>II. INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>III. OBJETIVOS</b>	5
A. Generales	
B. Específicos	
<b>IV. ANTECEDENTES</b>	
1. Origen y desarrollo de las chinampas	6
A. ¿Qué son las chinampas?	6
B. Problemática de las chinampas	7
2. Formación de los suelos salinos y sódicos	8
A. Salinización	8
B. Sodificación	10
-Alteraciones físicas y químicas del suelo sódico	10
3. Clasificación y caracterización de los suelos salinos y/o sódicos	11
A. Suelos salinos	11
B. Suelos sódicos	12
C. Suelos salinos sódicos	13
4. Efecto de las sales sobre los suelos	13
5. Efecto de las sales sobre las plantas	14
6. Toxicidad en las plantas	15
7. Solubilidad de las sales en el suelo	15

	Página
8. Tolerancia de las plantas a las sales	16
9. Rehabilitación de los suelos salino-sódicos	18
<b>V. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	
1. Ubicación Geográfica	21
A. La Cuenca de México	21
2. Localización	22
3. Geología	24
4. Fisiografía	26
5. Hidrología	28
6. Clima	30
7. Vegetación	32
8. Fauna	34
9. Suelos	35
<b>VI. METODOLOGÍA</b>	
1. De Campo	36
2. De Laboratorio	36
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>VIII. CONCLUSIONES</b>	
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA</b>	

## I. RESUMEN

Los suelos de chinampas son un agroecosistema productivo en riesgo de desaparecer debido, al crecimiento urbano de la Ciudad de México, a la sobreexplotación de los mantos acuíferos y a la contaminación por sales y/o sodio, así como, de metales pesados presentes en el agua de riego.

Por ello, en este trabajo fueron analizadas ocho calicatas de suelos de chinampa de Xochimilco, D.F.; a través de análisis físicos y químicos con la finalidad de evaluar el grado de contaminación por sales y/o sodio y proponer posibles alternativas para la rehabilitación agrícola de estos suelos.

De acuerdo a la clasificación de Pizarro (1978) y la USDA (1986), los resultados muestran que se trata de suelos salinos y ligeramente sódicos porque su pH es alcalino, su conductividad eléctrica es mayor de  $4 \text{ dSm}^{-1}$  y el porcentaje de sodio intercambiable es menor del 15%.

Todos los suelos poseen altos contenidos de materia orgánica (del 13 al 32 %) y de CIC ( $45$  a  $83.5 \text{ cmol Kg}^{-1}$ ). Los iones intercambiables dominantes son  $\text{Ca}^{++}$  ( $28$  a  $46.5 \text{ cmol Kg}^{-1}$ ) y  $\text{Mg}^{++}$  ( $29$  a  $52.4 \text{ cmol Kg}^{-1}$ ) y los solubles son el  $\text{Na}^+$  ( $18.2$  a  $86 \text{ cmol L}^{-1}$ ) y  $\text{Mg}^{++}$  ( $6.2$  a  $58.4 \text{ cmol L}^{-1}$ ); y las sales más abundantes los sulfatos ( $12.8$  a  $112.3 \text{ cmol L}^{-1}$ ) y cloruros ( $20.5$  a  $62 \text{ cmol L}^{-1}$ ).

Estos suelos presentan condiciones favorables para la agricultura pero la salinidad y en algunos casos la alcalinidad limitan la productividad de los cultivos, por esto, se sugiere la adición continua de materia orgánica en la superficie de las chinampas, como compostas de estiércoles y vegetación acuática, además de cultivar plantas tolerantes a las sales.

## ABSTRACT

The chinampa land is a productive agro-ecosystem in risk of disappearing due to Mexico City's urban growth, to the over exploitation of the water beds and the pollution by salts and sodium as well as heavy metals present in the water used for agriculture.

For this reason, eight soil *calicates* from Xochimilco's chinampas (in the Mexico City area), were analyzed physical and chemically to evaluate the level of contamination by salts and/or sodium and to propose possible alternatives for the rehabilitation of these agriculture lands.

According to Pizarro (1978) and the USDA (1986), the results indicate that these are saline lands with a tendency to concentrate sodium due to the alkaline pH, the electric conductivity is over  $4 \text{ dSm}^{-1}$  and the exchangeable sodium percentage is less than 15%.

All the analyzed lands have a high content of organic material (from 13 to 32%) and of CIC ( $45$  to  $83.5 \text{ cmol Kg}^{-1}$ ). The dominant exchangeable ions are  $\text{Ca}^{++}$  ( $28$  to  $46.5 \text{ cmol Kg}^{-1}$ ) and  $\text{Mg}^{++}$  ( $29$  a  $52.4 \text{ cmol Kg}^{-1}$ ), the soluble ions are  $\text{Na}^+$  ( $18.2$  to  $86 \text{ cmol L}^{-1}$ ) and  $\text{Mg}^{++}$  ( $6.2$  to  $58.4 \text{ cmol L}^{-1}$ ) and the most abundant salts are the sulphates ( $12.8$  to  $112.3 \text{ cmol L}^{-1}$ ) and the chlorides ( $20.5$  to  $62 \text{ cmol L}^{-1}$ ).

In conclusion, this land have favorable conditions for the agriculture, but the salinity and the alcalinity in some cases, limit the crop's productivity. For such reason, it is suggested the continuous addition of organic matter on the chinampa surface, such as compostes with dung and aquatic vegetation moreover; of cultivate plants tolerant at the salts.

## II. INTRODUCCIÓN

Los suelos de chinampa de la parte sur de la Cuenca de México, son un recurso de alta producción agrícola y con un invaluable valor histórico que habiendo alcanzado su máximo esplendor en la época prehispánica y después de la conquista de los aztecas, enfrentan una problemática compleja.

Esto suelos se han visto profundamente alterados en los últimos años debido al crecimiento urbano que se ha dado desde la década de los cuarenta (Rojas, 1983; Gómez, 1982), provocando un alto grado de contaminación antrópica del suelo, agua y aire; que trae como consecuencia la sobreexplotación de los mantos acuíferos desde principios del siglo XX (Jiménez-Osornio *et al.*, 1990); y un inadecuado suministro y deficiente calidad de las aguas negras tratadas que surten los canales desde 1957.

Lo anterior genera una problemática edáfica con aumento de salinidad y sodicidad, erosión, contaminación del Ecosistema por el uso de plaguicidas, disminución de áreas forestales que controlaban la recarga natural de acuíferos, así como, el abandono de prácticas agrícolas. Estas características han promovido un descenso notable en la productividad de las chinampas, sin embargo; por la infraestructura con la que cuenta Xochimilco puede ser un área de gran producción agrícola.

La rehabilitación de las chinampas contaminadas es compleja debido a limitantes en el drenaje existente por la cercanía del manto freático, por la continua contaminación con desechos animales, así como; por la actividad antrópica (manejo agrícola y adición de materiales orgánicos).

Es necesario implementar medidas que logren la conservación y rehabilitación de la chinampería, ya que; poseen un gran valor desde el punto de vista agrícola, ecológico, histórico, turístico y antropológico.

Por lo anterior, varias instituciones se han interesado en estudiar diferentes aspectos. A nivel internacional la FAO/UNESCO en 1987 decretó la zona chinampera como Patrimonio de la Humanidad. En tanto, que el Gobierno de la República decretó en 1989: "El plan de rescate ecológico de Xochimilco" (González, *et al.* 1990).

En el Laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias de la U.N.A.M., se han realizado investigaciones para conocer y tratar de resolver la problemática de estos suelos, Aguilera y Fuentes (1951) realizaron estudios acerca de la mineralogía de estos suelos; García y Galicia(1988) estudiaron los procesos de humificación de la materia orgánica de los suelos de Mixquic y Tláhuac; Vega estudió los metales pesados y microorganismos en aguas de canales. Ramos (2001) reporta estudios sobre la contaminación de metales pesados en suelos de Xochimilco, San Luis Tlaxialtemalco y Tláhuac, encontrando la siguiente secuencia: Pb>Ni>Zn>Cu>Cr>Cd y en otro estudio reportado también por Ramos, García, Andrade, *et al.*,(2002) de suelos Mixquic, y nuevamente de Xochimilco y San Luis Tlaxialtemalco, los metales pesados encontrados presentaron el siguiente orden de abundancia: Fe>Mn>Cr>Zn>Cu>Pb en concentraciones bajas que, aunado al pH alcalino de

estos suelos; se dedujo que no se tendrán problemas de toxicidad por un incremento en la disponibilidad de los metales, ya que estos iones son casi totalmente adsorbidos, fijados ó precipitados.

En la rehabilitación de estos suelos se ha evaluado el uso de diferentes mejoradores donde varios de ellos incrementan la producción de los cultivos, por ejemplo, Basurto (1985) utilizó yeso en cultivo de *Phaseolus vulgaris*; Fernández (1988) prueba el uso de un mejorador  $FeCl_3$  y láminas de lavado; Bautista (1988) cultivó *Crysantenum morifolium* mediante su fertilización en invernadero. Galicia (1990) evaluó en campo el uso del yeso en el cultivo de *Brassica oleracea* var. *cauliflora* en Tláhuac. Mercado (1993), evaluó el uso  $H_2SO_4$  de láminas de lavado composta y estiércol en el cultivo de *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*, Reyes (1991) utilizó láminas de lavado en el cultivo del rosal. Vallejo (1992) estudio el grado de contaminación de suelos en San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco, Ibáñez (1993) y Valdez (1995) observaron el efecto de algunos mejoradores en suelos salino-sódicos de Xochimilco, Medina (1993), Castillo y Becerril (1993), Vela (1996). Así mismo, se han generado metodologías de laboratorio, invernadero y de campo, empleando mejoradores químicos ( $FeSO_4$ ,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ,  $H_2SO_4$ ,  $CaCl_2$  y  $FeCl_3$ ) con diferentes láminas de lavado, abonos, compostas y mejoradores biológicos a base de electrolitos. Reyes *et. al.*, (1997) y Chávez (2000) realizaron estudios sobre la caracterización física y química de estos suelos en diferentes zonas de Xochimilco y Tláhuac.

En el diagnóstico de estos suelos se han estudiado más de 120 sitios de reconocimiento en los diferentes pueblos chinamperos, Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco, Tláhuac y Mixquic, en los cuales se han observado diferentes grados de contaminación por sales y/o sodio, así como de algunos metales pesados (Aguilera, *et al.*, 1987-1991; Ramos, 2001; Ramos, García, *et. at.*; 2002).

El presente trabajo forma parte de este proyecto de investigación y tiene como objetivo primordial evaluar el grado de contaminación por sales de algunas chinampas de Xochimilco y contribuir al conocimiento edafológico de estos suelos. Esto es básico como parte de una investigación donde los datos diagnósticos sirven para proponer medidas de control o rehabilitación.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. General:**

Contribuir al conocimiento del grado de contaminación salina en suelos de chinampas de Xochimilco, D.F.

#### **B. Específico:**

- Determinar las características físico-químicas y evaluar la concentración de sales y/o sodio en suelos de la Laguna "El Toro" de Xochimilco, D.F.

## IV. ANTECEDENTES

### 1. ORIGEN Y DESARROLLO DE LAS CHINAMPAS

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 de las chinampas de la Cuenca de México no fueron las únicas en América; existen numerosos restos arqueológicos de terrenos agrícolas cuyas características los hacen semejantes a las chinampas. Se encuentran, en diversas partes de México y en países sudamericanos como Surinam, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, localizadas básicamente en Sabanas de tierras bajas tropicales y en los valles de los Altiplanos, en áreas que se anegan por temporadas. (Valdez, 1995).

Según algunos especialistas las chinampas surgieron unos 200 años a.C en forma limitada; otros lo consideran como un fenómeno más tardío, y lo sitúan hacia el año 800 d.C. Lo que es un hecho es que el apogeo de la expansión de las chinampas tuvo lugar entre 1400 y 1600 d.C en el periodo Azteca ( Jiménez-Osornio, *op. cit.*).

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, al sur de la Cuenca de México. Coe (1971), menciona que es probable que la construcción de las chinampas de Xochimilco haya sido realizada por los teotihuacanos ya que la orientación de la red de los canales de Xochimilco tiene mucha similitud con la orientación de las calles de la antigua ciudad de Teotihuacán. Probablemente fueron planeadas y construidas hace aproximadamente 2000 años. Esto queda demostrado al encontrarse fragmentos de cerámica antigua y figurillas de arcilla en las chinampas del lago de Xochimilco, las cuales datan de 600 y 900 años d.C., y que al parecer pertenecieron a la cultura teotihuacana (Vallejo, 1992).

Cualquiera que sea el origen de las chinampas, desde el punto de vista agrícola se trata del agrosistema más diverso y productivo que se conoce hasta la fecha. Fue uno de los métodos más intensivos y productivos que se hayan ideado. Proveyó a los aztecas de tierra para habitar y de alimento (Coe, *op. cit.*).

#### A. ¿Qué son las chinampas?

La palabra chinampa deriva del náhuatl “**chinamitl**”, que significa “cercas o setos de caña entrelazadas” y “**pan**”, que significa “sobre de o encima de”. Las chinampas son parcelas artificiales de forma rectangular, semejantes a islotes largos y angostos, rodeados por canales, construidas en las orillas, pantanos y lagos de poca profundidad de los vasos de agua dulce de la Cuenca de México. Para su construcción el hombre utilizó materiales del propio ecosistema lacustre: gruesas capas de vegetación acuática, lodo, tierra, y estacas vivas de ahuejote (sauce, *Salix bonplandiana*) para las orillas. El suelo resultante es poroso, suave y rico en materia orgánica, este sistema de cultivo puede ser caracterizado como una forma de cultivo de horticultura basado en técnicas e instrumentos manuales, “autosostenible” y “orgánica” (Rojas, 1990).

Desde la antigüedad las chinampas se caracterizan por una elevada producción de gran variedad de especies tanto comestibles como florícolas. En la actualidad existen tres cultivos productivos importantes en la región chinampera: el maíz (*Zea mays*), las hortalizas y las flores; siendo el primero uno de los numerosos cultivos que desde tiempos prehispánicos se sigue cultivando. Las hortalizas ocupan el 70% del total de esta área y se producen principalmente en San Gregorio y Mixquic, mientras que las flores se cultivan principalmente en San Luis Tlaxialtemalco y el maíz, en Xochimilco, Tetelco y Tláhuac. Sin embargo, también existe en este medio la ganadería como una actividad complementaria de estos poblados (Jiménez-Osornio *op.cit.*).

Actualmente se cultivan más de 40 hortalizas tales como: rábano (*Raphanus sativus*), espinaca (*Spinacea oleracea*), acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*), betabel (*Beta vulgaris* var. *crassa*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *cauliflora*), calabacita (*Curcubita pepo*, *Curcubita mixta*), col (*Brassica oleracea* var. *capitata*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), chayote (*Sechium edule*), lechuga (*Lactuca sativa*), nopal (*Opuntia spp.*), romerito (*Suaeda torreyana*), alverjón (*Pisum arvense*), apio (*Apium graveolens*), capulín (*Prunus capuli*), chilacayote (*Curcubita foefolia*), jitomate (*Lycopersicum esculentum*), tomate (*Physalis ixocarpa*), perejil (*Petroselinum crispum*), quelites (*Chenopodium album*), zanahoria (*Daucus carota*), cilantro (*Coriandrum sativum*), chiles (*Capsicum annum*; *Capsicum frutescens*), epazote (*Chenopodium ambrosioides*), frijol delgado (*Phaseolus vulgaris*), entre otras. Entre las plantas se cultivan la mercadela (*Calendula officinalis*), agazania (*Gazania spp.*), petunia (*Petunia hybrida*), clavel (*Dianthus caryophyllus*), dalia (*Dahlia coccinea*; *Dahlia pinnata*; *Dahlia lehmannii*), crisantemo (*Chrysanthemum spp*), nube (*Gypsophyla paniculata*), aretillo (*Fuchsia fulgens*), alhelí (*Matthiola incana*), ruda (*Ruta graveolens*), yerbabuena (*Mentha sativa*), manzanilla (*Matricaria chamomilla*), entre otras; (Novelo *et. al* 1988).

## B. La problemática de las chinampas

La chinampería debe entenderse como uno de los agroecosistemas autosuficientes que han demostrado elevada producción. Por sus características ecológicas y agrícolas se le ha considerado de aprovechamiento íntegro dado que se desarrolló en un medio lacustre. Las aldeas, poblados y ciudades lacustres proliferaron en el área chinampera de los lagos de agua dulce de Chalco, Xochimilco, y Xaltocan durante el periodo mexica. Se calcula que en ese tiempo existieron 9 mil hectáreas de chinampas (12 mil contando canales y lagunas) en Chalco y Xochimilco (Rojas, 1990).

La edificación de obras hidráulicas de control de los niveles, del desagüe y circulación de agua (diques y canales respectivamente) fueron elementos básicos en el funcionamiento óptimo de la agricultura y evitar las inundaciones en tiempos de lluvias, y al mismo tiempo, permitieron conservar el agua durante la temporada de sequía. Estas obras hidráulicas sufrieron graves daños durante la conquista y toma de Tenochtitlán (Jiménez-Osornio, *op.cit.*).

Más tarde, entre 1865 y 1885, en consecuencia con los proyectos estatales de drenaje total de la Cuenca de México que se iniciaron en 1865 con las obras de Huehuetoca; se procedió a la desecación de Chalco y parte de Xochimilco, mediante la excavación de grandes drenes que

se conectaron al canal de Garay en el Lago de Texcoco y luego el canal del Desagüe. Todo lo anterior trajo como consecuencia grandes cambios en el uso del suelo chinampero a principios del siglo XX y ha continuado al querer satisfacer las necesidades urbanas de abastecimiento de agua. Durante el porfiriato se inicia el proyecto para abastecer de agua a la Ciudad de México y se utiliza el agua de los manantiales. En 1957 ante las presiones de los chinamperos, el departamento del D.F. comenzó con la alimentación artificial de los canales, primero con los ríos de Churubusco y San Buenaventura, por el cauce abierto de Canal Nacional, y en 1959, con aguas negras tratadas de la parte de Aculco, Coyoacán. En 1971, la nueva planta del Cerro de la Estrella aportó el agua residual de los canales de Xochimilco, Atlapulco, Tlaxialtemalco y Táhuac a través, de una red subterránea (Rojas 1990).

La problemática de la actividad chinampera se puede resumir como sigue:

Existe baja productividad en las chinampas por escasez de agua y restitución de la misma por aguas negras mal tratadas que han aportado al suelo sales ocasionando problemas de salinidad y sodicidad, así como; por la desecación de manantiales y canales, la urbanización, hundimientos diferenciales del suelo, disminución de la calidad del agua, contaminación de canales con desechos sanitarios y contaminantes generando un exceso de lirio acuático que, a su vez, dificulta el tránsito de canoas a zonas de trabajo (Valdez, 1995).

Todo esto da como resultado, una disminución en la cantidad, calidad y variedad de cultivos producidos en Xochimilco donde el deterioro de las actividades agropecuarias y forestales se relaciona en especial con la contaminación del agua. La situación de la zona chinampera hace evidente la necesidad de desarrollar programas que ayuden a atacar estos problemas de forma eficiente con acciones para el mejor uso y/o rehabilitación del suelo.

## 2. FORMACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS Y SÓDICOS

### A. Salinización

Todos los suelos poseen sales, sin embargo, cuando estas aumentan en concentración y restringen el desarrollo normal de los vegetales, se trata de un suelo salino (Aceves, 1981).

El origen de las sales en los suelos se debe a la meteorización (intemperismo) de los minerales primarios y rocas que constituyen la corteza terrestre y el agua de mar, principalmente en suelos costeros y en aquellos en los que el material parental lo constituyen depósitos marinos pertenecientes a periodos geológicos antiguos (Aceves, *op.cit.*).

Los elementos que participan en las sales de los suelos salinos son: calcio, magnesio sodio, potasio, cloro, azufre, carbono; y con menor frecuencia, el nitrógeno, yodo y boro. Una vez que se han formado las sales, son transportadas por agua hasta el mar o depósitos continentales, y de esta manera, se salinizan (Pizarro, E. 1978).

Las sales minerales solubles más comunes y abundantes en la mayoría de los suelos las constituyen los aniones como, cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ); los cationes: calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ); menos frecuentes son los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), yodato ( $\text{IO}_3^-$ ), borato ( $\text{BO}_3^{-3}$ ), y muy raros  $\text{ClO}_4^-$  y  $\text{CrO}_3^{-3}$ . La presencia de sales eleva la presión osmótica del suelo y en casos extremos dificulta a las plantas la absorción del agua (Allison, 1985; Dixon, 1989).

La acumulación natural de sales minerales solubles en forma cristalina requiere una alta evaporación y baja precipitación. Además su formación y estabilidad dependen de la temperatura y humedad relativa diaria y estacional.

Los cloruros, nitratos, sulfatos y carbonatos de aniones alcalinos y alcalinotérreos son las sales que con más frecuencia se forman como consecuencia de procesos de intemperismo. Las sales más solubles permanecen mayor tiempo en la solución del suelo, éstas son: sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ), sulfato de sodio ( $Na_2SO_4$ ) y el cloruro de sodio ( $NaCl$ ). Las formas cristalinas de estos minerales se encuentran en la superficie del suelo solo en condiciones de extrema sequía (Aceves, *op.cit.*).

Aceves, N.E., 1979, agrupa en varios ciclos a los procesos de formación de los suelos salinos:

- 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, ocurren en 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: se caracterizan por estar conectados con la evaporación de aguas subterráneas profundas que afloran a la superficie a través de fracturas tectónicas y estructuras geológicas destruidas.
- Ciclos antropogénicos: resultan de las actividades del hombre por desconocimiento de los procesos que generan acumulación de sales.

El acarreo y los procesos de acumulación de las sales están íntimamente relacionados con el movimiento del agua y los mantos freáticos elevados. La baja precipitación en zonas áridas y semiáridas favorece la acumulación de sales, ya que es insuficiente para lixiviar y acarrear las sales solubles del suelo, frecuentemente en épocas de lluvia la escasa pero torrencial precipitación puede lixiviar parte de las sales hacia capas más profundas, sin embargo; después de las lluvias, en épocas de sequía la elevada temperatura intensifica la evaporación y transportan nuevamente las sales hacia la superficie del suelo, es por eso, que las zonas más extensas de suelos salinos se sitúan bajo los climas áridos y semiáridos. No obstante, también se localizan en zonas húmedas en donde el suelo ha estado expuesto al agua de mar o donde se le ha dado un mal uso (Aceves, *op. cit.*).

El ensalitramiento de las chinampas de Xochimilco es resultado de un ciclo antropogénico, por el mal uso e inadecuado manejo de las aguas de riego o incontrolada fertilización; pero principalmente, por la falta de un sistema de drenaje que es difícil de construir bajo las características del Ecosistema chinampero, dentro de un lago y con suelos arcillosos poco profundos, (Valdez, 1995; Chávez, 2000).

## B. Sodificación

Las partículas coloidales del suelo adsorben y retienen cationes a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en su superficie, éstos pueden ser reemplazados por otros cationes que se encuentran en la solución del suelo. Esta reacción se llama intercambio de cationes. El sodio, calcio y magnesio son rápidamente intercambiables y cationes como el potasio y el amonio se intercambian con gran dificultad por lo que se dice que se fijan (Allison, 1985).

El calcio y el magnesio son los principales cationes en la solución y complejo de intercambio de suelos normales en regiones áridas. Cuando se acumula un exceso de sales solubles, generalmente es el catión sodio el que predomina. La solución del suelo se concentra como consecuencia de la pérdida de agua en la evaporación y la adsorción por las plantas, es entonces, cuando la solubilidad del sulfato y carbonato de magnesio llega a su límite y precipitan, esto aumenta las proporciones relativas de sodio por lo que una parte del calcio y magnesio intercambiables se reemplaza por sodio, el suelo sufre sodificación y se transforma en un suelo sódico.

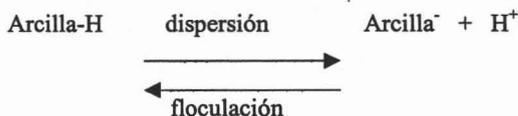
Los suelos sódicos presentan ciertas características físicas y químicas que alteran de manera importante el crecimiento de los cultivos, tales como, baja permeabilidad, drenaje deficiente, estructura desfavorable, pH muy alcalino y baja disponibilidad de nutrimentos.

### - Alteraciones físicas y químicas del suelo sódico

Las alteraciones físicas que originan la elevada proporción de sodio son producto de la dispersión de los coloides, principalmente de arcilla y materia orgánica, que destruye la estructura del suelo, bloquea los espacios porosos por donde se difunden el agua y el aire, por lo que la permeabilidad es alterada y comienzan los problemas de drenaje del suelo (Allison, *op.cit.*).

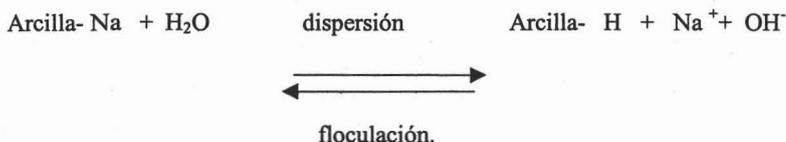
Los coloides en medios ácidos floculan y en condiciones alcalinas se dispersan. La floculación ocurre cuando las cargas de los coloides están neutralizadas, de modo que las partículas se aglomeran unas contra otras y constituyen un cemento que puede unir las partículas más gruesas, como limo o arena.

En cambio cuando las cargas no están neutralizadas se repelen y se produce la dispersión.



En condiciones ácidas los  $\text{H}^+$  saturan las cargas electronegativas de los coloides y los  $\text{H}^+$  en la solución del suelo repelen la carga externa del complejo, lo que ocasiona que los hidrogeniones adsorbidos se neutralicen (floculación). Mientras que si aumentan los  $\text{OH}^-$  en la solución se rompe el equilibrio y ocurre la dispersión, las arcillas quedan con carga negativa y se repelen unas con otras, lo que impide que formen agregados.

Cuando la solución del suelo contiene abundancia de  $\text{Na}^+$ , se produce la dispersión, el equilibrio se desplaza en sentido opuesto, disminuyen los iones  $\text{OH}^-$ , por lo que el pH no supera mucho el valor de 7 (Pizarro, *op cit.*).



Es importante señalar que, estos procesos no describen con precisión las características de salinización y sodificación de los suelos en la zona chinampera. Pues, tanto la formación de los suelos como sus condiciones ambientales difieren de las condiciones aquí descritas. Los suelos de chinampa se crearon de manera artificial por lo cual no tienen un desarrollo edafogénico, por consecuencia; no presentan horizontes de diagnóstico. Razones por las cuales se les ha clasificado como antrosoles (Aguilera, 1985-1993).

### 3. CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS Y/O SÓDICOS

El Departamento de Salinidad de los Estados Unidos (USDA, 1982) reconoce 3 casos de suelos con problemas de sales y/o sodio por las características de la conductividad eléctrica (C.E), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y reacción del suelo (pH).

#### A. Suelos salinos

Son aquellos suelos que poseen un elevado contenido de sales solubles, reflejado en la conductividad eléctrica mayor de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ , un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15 y un pH que va de 7 a menos de 8.5.

Las características químicas de los suelos quedan determinadas por la naturaleza y cantidad de sales presentes.

Los aniones principales son el cloruro, el sulfato y a veces el nitrato. Pueden presentarse también pequeñas cantidades de bicarbonato, los carbonatos solubles no se encuentran (Allison, *op. cit.*). Estos suelos también pueden contener sales de baja solubilidad, como el sulfato de calcio (yeso) y carbonatos de calcio y magnesio (caliza).

Bajo condiciones de escasa humedad, se pueden notar costras blancas en su superficie, por lo que se les ha llamado "álcali blanco". Con un drenaje adecuado, se pueden eliminar por lavado las sales solubles, con lo que el suelo pasa a ser normal.

Pizarro (1978), adoptó como límite para considerar aun suelo salino el valor de  $2 \text{ dS m}^{-1}$  y con base a ello clasifica a los suelos salinos en:

Clase de salinidad	C.E Mmhos/ cm	Descripción
Ligeramente salino	2-4	Rendimiento restringido en cultivos sensibles
Medianamente salinos	4-8	Rendimiento restringido en La mayor parte de los cultivos
Fuertemente salinos	8-16	Rendimiento satisfactorio solo en cultivos tolerantes
Extremadamente salino	> 16	Muy pocos cultivos dan rendimiento Satisfactorio

## B. Suelos sódicos

Son suelos con conductividad eléctrica del extracto de saturación menor de 4 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C y porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15 y el pH generalmente varía entre 8.5 y 10. Son de color oscuro, ya que en los suelos altamente sódicos la materia orgánica dispersa y suelta se deposita en la superficie debido a la evaporación, causando así un ennegrecimiento y dando origen al término “álcali negro”(Allison, 1985).

En estos suelos hay dispersión de arcillas, éstas pueden ser lavadas acumulándose a pocos centímetros de profundidad formando una capa densa y de baja permeabilidad, con estructura prismática o columnar. La reacción del suelo varía en función del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la presencia o ausencia de carbonatos y bicarbonatos, los carbonatos varían de acuerdo al sodio intercambiable y a la capacidad de intercambio catiónico. A pH muy elevado y en presencia de carbonatos, los cationes calcio y magnesio precipitan, por lo que las soluciones de los suelos sódicos contienen pequeñas concentraciones de calcio y magnesio y predomina el sodio (Pizarro, *op.cit.*). El sodio intercambiable puede ionizarse hidróxido de sodio y reaccionar con el anhídrido carbónico produciendo bicarbonatos de sodio, que elevan el pH.

De acuerdo con Pizarro (1978) la clasificación de los suelos sódicos es la siguiente:

Clase	PSI %	Producción de los cultivos %
Ligeramente sódicos	7-15	80-60
Medianamente sódicos	5-20	60-40
Fuertemente sódico	20-30	40-20
Extremadamente sódicos	>30	>20

### C. Suelos salinos-sódicos

Son suelos que tienen una conductividad eléctrica del extracto de saturación mayor de  $4 \text{ dSm}^{-1}$  a  $25^\circ \text{C}$  y el porcentaje de sodio intercambiable es mayor del 15%. La reacción del suelo en la mayoría de los casos es menor de 8.5, raramente es superior a este valor; sin embargo; varía con el grado de salinidad y la presencia de carbonatos ( $\text{CO}_3^{=}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Cuando hay exceso de sales el pH raramente es mayor de 8.5 y las partículas permanecen floculadas. Si el exceso de sales solubles es lavado, las propiedades de estos suelos pueden cambiar, llegando a ser idénticas a las de los suelos sódicos no salinos. A medida que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), que a su vez puede formar carbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  haciéndolo mucho más alcalino, es decir, con un pH mayor de 8.5; las partículas se dispersan y el suelo se vuelve desfavorable para la entrada de agua y para las labores de labranza (Allison, *op.cit.*).

### 4. EFECTO DE LAS SALES SOBRE LOS SUELOS

Los suelos se ven afectados en sus características físicas y químicas por el exceso de sales. En los suelos, el calcio es el catión más abundante en el complejo de cambio por lo que se mantiene su estructura, en tanto, que cuando el sodio adsorbido aumenta, las fuerzas de atracción entre las partículas arcillosas disminuyen mucho y estas tienden a dispersarse; perdiendo el suelo su estructura. Pero si se elimina el sodio de la solución del suelo por medio de lavados o lluvia, aumenta el pH a nivel alcalino al producirse iones  $\text{OH}^-$  y las arcillas se disocian al quedar con cargas negativas, con lo que se favorece la dispersión (Pizarro, *op. cit.*).

Si los suelos contienen carbonato de sodio aumenta la solubilidad de la materia orgánica formando compuestos llamados alcalihumatos, dispersos de color oscuro que se acumulan en la superficie por capilaridad, por lo que se les da el nombre de álcali-negro (Aguilera, 1989; Aceves, 1979; Ortega, 1978).

Otra característica de los suelos que se ve afectada por la alta concentración de sales es la reacción del suelo, pH. Al aumentar la concentración de sales tales como, el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) y cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ); el pH disminuye. En suelos con exceso de sodio intercambiable, el pH puede alcanzar valores de hasta 10.5 ya que, algunas sales como carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ) y carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) se hidrolizan y forman hidróxidos.

## 5. EFECTO DE LAS SALES SOBRE LAS PLANTAS

El efecto más importante de las sales solubles sobre las plantas es el aumento de la presión osmótica, además de que su efecto tóxico puede estar relacionado con la tolerancia de las plantas a los distintos tipos de sales presentando alteraciones en el crecimiento; pueden sufrir achaparramiento, presentar manchas y un color azulado. En general, hay una marcada irregularidad en su vigor vegetativo (Allison, *op.cit.*; Aceves, *op.cit.*).

Otro síntoma de salinidad en las plantas son la presencia de áreas necróticas o quemaduras en las puntas y en los márgenes de las hojas, esto se presenta en frutales, hortalizas y gramíneas (Marschner, 1989; Allison, 1985; Ortega, 1978). Puede haber enrollamiento de las hojas, aunque también este síntoma puede ser causado por mantos freáticos elevados o mal funcionamiento del sistema radicular. Por lo tanto, para diagnosticar los síntomas de salinidad es necesario realizar análisis foliares (Allison, *op.cit.*).

El crecimiento de las plantas está relacionado con su tolerancia a las sales, hay plantas específicamente sensibles a la salinidad durante su germinación, donde la zona radicular hace a la planta extremadamente vulnerable al esfuerzo osmótico (Ortega, 1981). Aceves (1979), planteó 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 inducen la formación de sustancias que le dan rigidez (lignina y pectatos) e impiden el crecimiento. Las plantas tienen menos células y son de tamaño reducido, lo cual trae como consecuencia menores áreas foliares y fotosintetizantes, así como; transpiración, talla y rendimiento de materia seca.

El daño de las sales sobre las plantas se asocia a la baja disponibilidad de agua debido a que las sales del suelo disminuyen la energía libre del agua, éstas aumentan la presión osmótica de la solución del suelo y hacen que la disponibilidad del agua disminuya para las plantas, lo cual, afecta su crecimiento pues el medio tiene una concentración alta de solutos (las sales); por ósmosis tiende a salir agua de las raíces, hay clorosis, marchitamiento y se eleva la presión osmótica del plasma celular.

Las plantas realizan un ajuste osmótico para mantener un gradiente favorable en sus células y extraer agua del suelo, en este esfuerzo la planta consume energía que en condiciones de no salinidad usaría para su crecimiento, pero bajo estas circunstancias las plantas son afectadas en el crecimiento del tejido foliar y presentan un color verde fuerte típico de plantas que realizan un esfuerzo osmótico (Ortega, *op.cit.*).

El exceso de sales provoca efectos tóxicos por cambios en la actividad metabólica con acumulación de sustancias intermedias. Las plantas lograrán tener éxito en suelos salinos si regulan la presión osmótica del agua acumulando sales en sus células y si realizan procesos químicos y fisiológicos que les permitan eliminar las sales directamente (William, 1975 y Flower *et.al.* 1977; citado por Reyes, 1985).

## 6. TOXICIDAD EN LAS PLANTAS

La toxicidad de las sales no es debida al efecto directo de sus iones, sino que éstas inducen alteraciones en el metabolismo y ocasionan acumulación de productos tóxicos; como el algodón que acumula elevadas concentraciones de  $\text{NH}_4$  por alteraciones en el metabolismo del nitrógeno. Otras como el tabaco y el maíz acumulan aminoácidos tóxicos como la leucina, alanina y tirosina (Aceves, *op. cit.*).

Muchas plantas son sensibles a iones específicos presentes en las soluciones del suelo, entre ellos el más común es la toxicidad con boro, las plantas pueden presentar quemaduras, clorosis y necrosis; otras plantas pueden ser muy sensibles al sodio, así un 5% de sodio intercambiable puede retrasar el crecimiento de la planta, llegando a acumularse en sus tejidos. Niveles altos de sodio pueden conducir a deficiencias de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  ya que, se elevan los valores de pH y originan precipitación de estos elementos en forma de carbonatos. La acumulación excesiva de cloruros ocasiona necrosis en las hojas y los tejidos finalmente mueren.

En algunos suelos salinos se puede producir toxicidad por bicarbonatos, lo que provoca una reducción en la asimilación del Fe, como en la planta de frijol que le provoca clorosis por hierro, lo cual es muy común en suelos con pH altos. En los suelos sódicos el pH alto ocasiona deficiencia de micronutrientos, y concentraciones altas de Al soluble, en forma de  $\text{Al}(\text{OH})_4$  (Ortega, *op. cit.*).

El efecto que causan las sales sobre las plantas está en función de su naturaleza y concentración. Las sales que poseen una alta solubilidad son más nocivas ya que generan soluciones del suelo muy concentradas y tienen un efecto más desfavorable sobre los vegetales. La baja solubilidad de las sales origina precipitación rápida en el medio y no da opción a que la solución del suelo este muy concentrada, contrario a lo ocurrido con aquellas de elevada solubilidad que alcanzan concentraciones muy altas antes de precipitar.

## 7. SOLUBILIDAD DE LAS SALES EN EL SUELO

Las sales se han clasificado por su grado de solubilidad y por su correspondiente participación osmótica en la solución del suelo. Así, el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ), carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) son las más solubles y por tanto más nocivas. El  $\text{NaCl}$  y el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a bajas concentraciones del orden de 0.1% y de 0.05 a 0.1%, respectivamente ocasionan serias disminuciones en los rendimientos de los cultivos. Suelos con un 2% a un 5% de cloruro de sodio son prácticamente improductivos.

La solubilidad de las sales depende principalmente de la temperatura de la solución del suelo, como es el caso el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  que a 20° C su solubilidad es de 185 g/L, a 30°C aumenta a casi el doble 373 g/L y a 40°C se maximiza a 430 g/L. Otras como el  $\text{NaCl}$  no varían con la temperatura, el pH, la concentración de otros iones en la solución y la concentración de bióxido de carbono en la solución y en el aire (Dixon, 1984; Allison, *op. cit.*).

## **8. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LAS SALES**

Existen dos alternativas para tener éxito en el desarrollo de los cultivos de los suelos salinos sódicos, o se eliminan las sales y sodio mediante el uso de prácticas para mejorar las propiedades del suelo, o se trata de establecer cultivos que sean capaces de desarrollarse bajo condiciones de salinidad y obtener rendimientos satisfactorios. En condiciones de campo, es posible modificar las prácticas de siembra para reducir al mínimo la tendencia de las sales a acumularse alrededor de la semilla, mejorando así la productividad de los cultivos cuando estos son sensibles a las sales durante la germinación.

Se han realizado muchos estudios sobre la tolerancia de los cultivos a las sales, y ésta se puede evaluar de acuerdo a la capacidad del cultivo para sobrevivir en un suelo salino, el rendimiento del cultivo y el rendimiento relativo del cultivo en suelos salinos en comparación con el que pudiera tener en un suelo no salino bajo condiciones similares. Allison (1982), muestra en la siguiente tabla cultivos como hortalizas, frutales y otros cultivos tolerantes a las sales. Los valores de la conductividad eléctrica (C.E) superior e inferior representan la salinidad a la que disminuyen en un 50% los rendimientos comparado con los rendimientos de suelos normales.

## Tolerancia relativa de los cultivos a las sales (Allison, 1982)

### FRUTALES

**Muy tolerantes**  
Palma datilera

**Medianamente tolerantes**

Granada  
Higuera  
Olivo  
Vid  
Melón

**Poco tolerantes**

Peral  
Manzano  
Naranja  
Toronja  
Ciruelos  
Almendro  
Albaricoque  
Melocotón  
Fresa  
Limonero  
Aguacate

### HORTALIZAS

**CE=12 dS m<sup>-1</sup>**

Remolacha  
Espárragos  
Espinacas

**CE= 10 dS m<sup>-1</sup>**

Jitomate  
Col  
Pimiento  
Coliflor  
Lechuga  
Maíz dulce  
Papas  
Zanahoria  
Cebolla  
Chícharo  
Calabaza  
Pepino

**CE= 4 dS m<sup>-1</sup>**

Rábano  
Apio  
Ejotes

**CE= 10 dS m<sup>-1</sup>**

**CE= 4 dS m<sup>-1</sup>**

**CE= 3 dS m<sup>-1</sup>**

### OTROS CULTIVOS

**CE= 16 dS m<sup>-1</sup>**

Cebada  
Remolacha azucarera  
Algodón

**CE= 10 dS m<sup>-1</sup>**

Centeno  
Trigo  
Avena  
Sorgo  
Maíz  
Linaza  
Girasol  
Higuerilla

**CE=4 dS m<sup>-1</sup>**

Alubias

**CE= 10 dS m<sup>-1</sup>**

**CE= 6 dS m<sup>-1</sup>**

### PLANTAS FORRAJERAS

**CE= 18 dS m<sup>-1</sup>**

Zacate salado  
Cebadilla criolla  
Centeno silvestre  
Cebada(para heno)

**CE= 12 dS m<sup>-1</sup>**

Trébol blanco  
Alfalfa  
Dactilo  
Avena (par heno)

**CE= 4 dS m<sup>-1</sup>**

Trébol blanco holandés  
Trébol rojo

**CE= 12 dS m<sup>-1</sup>**

**CE= 4 dS m<sup>-1</sup>**

**CE=2 dS m<sup>-1</sup>**

## 9. REHABILITACIÓN DE LOS SUELOS SALINO-SÓDICOS

Para poder obtener una máxima productividad en los cultivos de los suelos salinos y/o sódicos es necesario rehabilitarlos, eliminando el exceso de sales solubles y de sodio intercambiable, además de una fertilización adecuada.

El procedimiento suficiente en los suelos salinos es la aplicación de láminas de lavado, que consiste en hacer pasar cierta cantidad de agua que lixivien o eliminen (de la zona radicular) las sales existentes, ya que éstas se encuentran en la solución del suelo y son fácilmente arrastradas (Allison, *op. cit.*; Aceves, *op. cit.*; Pizarro, *op. cit.*; Withers, *et. al*, 1986). Las láminas de lavado deben ser previamente calculadas con el fin de que el volumen de agua sea suficiente para eliminar el exceso de sales de la superficie para un buen desarrollo de las plantas, pero no en exceso, ya que resultaría entonces innecesario el gasto y mal uso del agua, sobre todo en zonas donde el agua es un factor limitante.

El éxito del lavado depende del drenaje y permeabilidad del suelo, el lavado eficiente de un suelo salino es posible sólo si este es regularmente permeable al agua. La condición física del suelo, la naturaleza del subsuelo y la altura de la capa freática son factores que se deben tomar en cuenta.

En cambio, cuando se trata de suelos sódicos no son suficientes las láminas de lavado ya que, como se encuentra el sodio retenido en el complejo de cambio mediante enlaces químicos y el lavado no es suficiente para romper esos enlaces, lo que se requiere es el empleo de mejoradores químicos que desplacen al sodio del complejo de cambio y lo dejen en disposición de ser lavado.

En suelos salino-sódicos, si no se induce al desplazamiento del  $\text{Na}^+$  intercambiable por otro catión y se realizan lavados de suelo, se corre el riesgo de empeorar las condiciones desfavorables y originar problemas más graves, como su transformación en un suelo sódico.

Entre los suelos con problemas de sales y sodio, los suelos sódicos son los más difíciles de mejorar o rehabilitar, lo cual depende de su textura. Ortega (1978) menciona que los suelos ligeros con baja capacidad de intercambio catiónico total y alta permeabilidad son más fáciles de mejorar que suelos pesados con alta capacidad de intercambio y baja permeabilidad.

Se han reconocido varias técnicas que pueden usarse para mejorar las propiedades del suelo que afectan a la eficiencia del lavado o de las mejoras químicas, éstas pueden ser de tipo químico, biológicas y físicas (Valdez, *op.cit.*):

Las **técnicas químicas** corresponden a los mejoradores químicos, los cuales son sustancias que se agregan al suelo y que proveerán a éste de calcio soluble para propiciar la sustitución del sodio por el calcio en el complejo de intercambio.

Los mejoradores químicos empleados son:

- 1) Los que aporta sales solubles de calcio: yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).
- 2) Ácidos o formadores de ácidos: azufre S, ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), sulfato de hierro ( $\text{FeSO}_4$ ), sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) y polisulfuro de calcio ( $\text{CaS}_x$ ).
- 3) Los que aportan sales de calcio de baja solubilidad: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ).
- 4) Los residuos industriales: espumas de azucarerías, cales residuales del acetileno

El mejorador químico que se utilice va a depender de las características físicas y químicas del suelo, particularmente del contenido de carbonatos de calcio y el pH, así como de la velocidad deseada de la recuperación y del costo del mejorador.

En suelos que contienen carbonatos de calcio, se pueden emplear las sales solubles de calcio, las sustancias formadoras de ácidos y los ácidos.

En los suelos que no contienen carbonatos de calcio no es recomendable usar ácidos, o sustancias formadoras de ácidos, porque en el complejo de cambio se fija hidrógeno lo que originaría una baja en el pH causando otros problemas, como la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

En los suelos que no contienen carbonatos y cuyo pH es menor de 7.5 se pueden usar sales de calcio, caliza y roca caliza molida (ya que contiene calcita y dolomita). En suelos que no contienen carbonatos de calcio y cuyo pH es mayor de 7.5 no se puede usar caliza molida (calcita y dolomita) ya que la caliza tiene muy baja solubilidad en valores de pH mayores de 7.5.

Las **técnicas físicas** pueden ser de dos tipos: mecánicas y eléctricas, las primeras corresponden a labores agrícolas como arar profundamente la tierra, lo que provoca mezclar las capas de baja permeabilidad con otras más permeables originando un suelo más homogéneo, la aplicación de arena en suelos de textura fina con baja permeabilidad para su mejoramiento y buena penetración de las raíces, y por último la inversión de los perfiles que consiste en enterrar una capa de suelo con características no deseables, sustituyéndolo por material que originalmente se encontraba a más profundidad y con mejores características (Pizarro, *op. cit.*; citado por Valdez, 1995).

Las técnicas eléctricas consisten en hacer pasar una corriente directa a un volumen dado de suelo y así extraer 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 y las características de las sales en solución, esta técnica es costosa y por tanto poco usada en la recuperación de suelos agrícolas (Pizarro, *op. cit.*; citado por Valdez, 1995).

Por último, se pueden emplear las **técnicas biológicas** que consisten en aplicar abonos orgánicos ya que, los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica, hay liberación de sustancias orgánicas como polisacáridos que se incorporan al suelo

incrementando su permeabilidad, así como; la liberación del CO<sub>2</sub> que con el agua forma ácido carbónico lo cual puede facilitar la solubilidad de las sales de calcio precipitadas en el suelo. Por esta razón, para la rehabilitación de los suelos salinos se puede usar estiércol o compostas. Por otro lado, 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 y si se emplean cultivos con elevada evapotranspiración provocarán el descenso de la capa freática, facilitando el lavado de las sales (Pizarro, *op.cit.* citado por Valdez, 1995).

## V. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

#### A. La Cuenca de México

La Cuenca de México está formada por rocas volcánicas de 30, 20 y 15 millones de años, que se hundieron y formaron la parte central de la Cuenca que fue rellenada posteriormente con depósitos lacustres. Al sur esta formada por rocas volcánicas más jóvenes, como la Sierra Chichinautzin que tienen menos de 700 mil años. Una de las ideas que se tiene sobre la formación del sur de la Cuenca de México es que su drenaje fue cerrado por la erupción de lavas de los volcanes de la Sierra Chichinautzin especialmente del Xitle, las salidas de agua que antes bajaban hacia el sur en la Cuenca del Balsas se cerraron y se formó una cuenca endorreica (Martin del Pozo, 1985, citado por Vallejo, 1992).

Durante muchos años al no existir una salida natural de desagüe se originó un gran lago en el centro del Valle de México, llamado por los aztecas "Lago de la Luna". Posteriormente debido a alteraciones en el régimen pluviométrico se dio una disminución del nivel del Lago dando origen a tres subcuencas: al norte, la de Zumpango, Xaltocan y San Cristobal; al centro, la de México-Texcoco y hacia el sur la de Chalco - Xochimilco (Martin del Pozo, 1985; citado por Vallejo, 1992).

La Cuenca de México se encuentra en el extremo sur del Altiplano, sobre el paralelo 19° de latitud norte, que coincide con la situación del Eje Neovolcánico. Tiene una longitud mayor de 120 Km y menor de 80 y 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 precisamente un valle porque no tiene una línea de drenaje general que la modele. Tiene una altura de 2,250 msnm en la parte plana. Al norte limita con la Sierra de Pachuca, con una altura de 3,000 msnm; al noreste con las sierras de Chichucuatlán y del Tepozán, que se derivan de la Sierra Madre Oriental; al este y al sureste con la Sierra Nevada (donde destacan cumbres como el Iztaccihúatl con 5,286 msnm y el Popocatepetl de 5472 msnm), al sur con la Sierra de Chichinautzin (la cumbre más alta el Pico del Águila o el Ajusco, 3,950 msnm); al suroeste con la Sierra de las Cruces; al oeste con las Sierras de Monte Alto y Monte Bajo; y al noreste con la Sierra de Tezontlalpan o Tolcayuca a la vez que se conecta con la de Pachuca La Cuenca de México comprende entonces el 14% del Distrito Federal, el 50% Estado de México, el 20% del Estado de Hidalgo, el 9% del Estado de Tlaxcala y el 1% del Estado de Puebla (Álvarez, 1985).

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. Encierra a la ciudad más poblada del mundo: la ciudad de México y a la zona metropolitana que incluye varios municipios del estado de México. El Distrito Federal se divide en 16 delegaciones que son: 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.

## 2. LOCALIZACIÓN

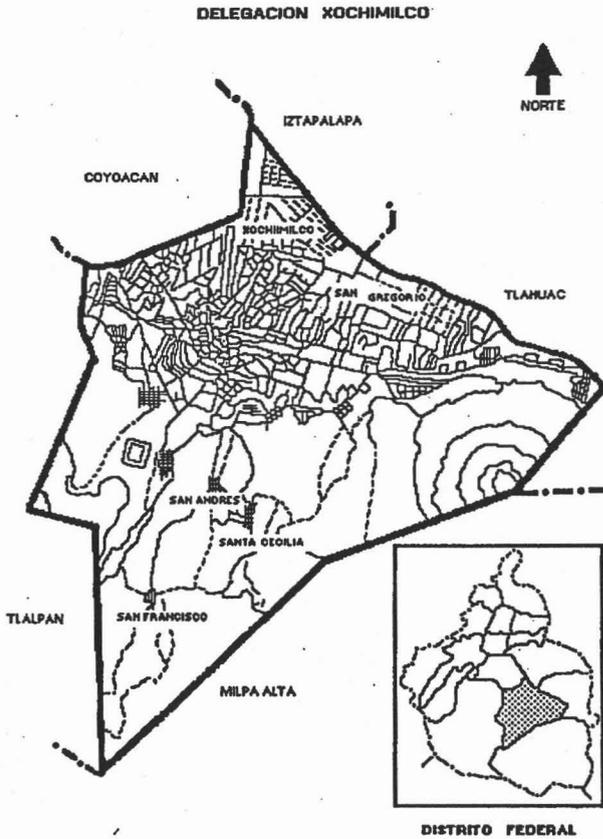
El área de estudio se localiza al norte de la Delegación Xochimilco, en la zona chinampera de la “Laguna El Toro”, que se conecta hacia el norte con el Canal Toltenco y al noreste con la pista Olímpica de Canotaje “Virgilio Uribe”(Mapa 1).



Mapa1. Localización de la chinampa de estudio en la delegación Xochimilco.

La delegación Xochimilco está situada al sureste del Distrito Federal, entre los meridianos  $88^{\circ} 09' 04''$  y  $99^{\circ} 00' 02''$  de longitud oeste y los paralelos  $19^{\circ} 17' 35''$  y  $19^{\circ} 08' 57''$  de latitud norte. A una altitud aproximada de 2240 msnm y con una extensión territorial de  $125.6 \text{ Km}^2$ . Limita al norte con las delegaciones Iztapalapa y Coyoacán, al oeste con Tlalpan, al este con Tláhuac y al sur con Milpa Alta (Mapa 2).

La Delegación Xochimilco está formada por la cabecera delegacional que se extiende hacia la parte este, sur y oeste y catorce pueblos que son: San Andrés Ahuayuca, San Francisco Tlalnepantla, San Gregorio Atlapulco, San Lorenzo Atemoaya, San Lucas Xochimanca, San Luis Tlaxialtemalco, San Mateo Xalpa, Santa Cecilia Tepetlapa, Santa Cruz Acapixca, Santiago Tepelcatlapa, Tepepan, Tullyehualco y Xochitepec (Álvarez, *op.cit.*).



Mapa 2. La delegación Xochimilco y su ubicación geográfica en el Distrito Federal.  
 Coordenadas: 88° 09' 04" y 99° 00' 02" longitud oeste  
 19° 17' 35" y 19° 08' 57" latitud norte

### 3. GEOLOGÍA

El origen geológico de la Cuenca de México (Cuenca de Xochimilco) queda enmarcada 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).

Las formaciones del Terciario corresponden a las del Medio y las del Superior. Las formaciones del Terciario Medio están representadas por la Sierra de Xochitepec, en el oeste de Xochimilco, encontrándose basaltos, andesitas basálticas, andesitas con anfíbolos y piroxenos; estas formaciones se encuentran al suroeste de la delegación Xochimilco. Las formaciones del Terciario Superior están representadas por la Sierra de Catarina y la Sierra de Guadalupe, encontrándose grandes acumulaciones de material piroclástico, como arenas y cenizas; estas formaciones se encuentran al noreste de la delegación Xochimilco.

Las formaciones del Cuaternario corresponden a las del Superior, iniciándose en el Plioceno y alcanzando su máximo en el Pleistoceno, formando depósitos de material basáltico, arenas y cenizas provenientes del último ciclo del vulcanismo, que duró 600 mil años. Está representada por la Sierra Chichinautzin en la parte sur de la delegación Xochimilco (Mooser, 1961). (Figura 1).

La zona lacustre Xochimilco-Chalco tiene influencia al noroeste con la Sierra de las Cruces, al sur con la Sierra Chichinautzin y al este con la Sierra Nevada. La Sierra de las Cruces separa la Cuenca de México de la de Toluca y la Sierra Chichinautzin separa al Valle de Morelos. En la parte sur, al pie del Ajusco; se localiza el volcán Xitle, cuya erupción (probablemente la más reciente del Valle de México) data de hace 2,422 años. (Mooser, *et al.*, 1958).

### GEOLOGIA DE LA CUENCA DE MEXICO

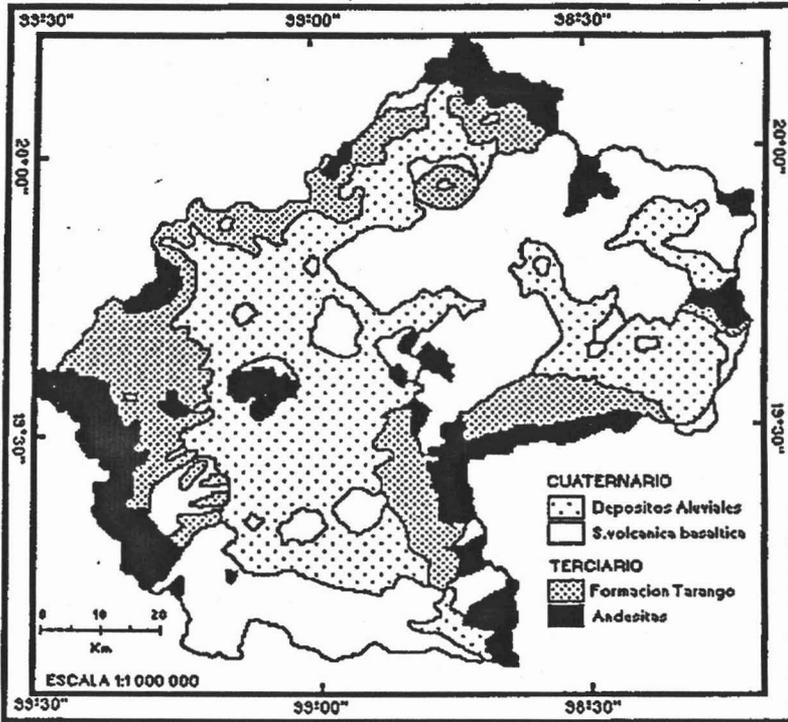


Figura 1. Geología presente en la cuenca de México. En Xochimilco se reconoce el Cuaternario principalmente, en la provincia del Eje Neovolcánico (Mooser, 1961).

#### 4. FISIOGRAFÍA

La Delegación Xochimilco se encuentra dentro de la zona fisiográfica Planicie Meridional de la Cuenca de México a una altitud de 2,240 msnm. Al norte limita con la Sierra de Guadalupe y la Sierra de Patlachique, al sur con la Sierra de Chichinautzin y la Sierra Cautzin, al este con la Sierra Nevada y al oeste con la Sierra de las Cruces (Mendoza, 1961; citado por Vallejo, 1992). (Figura 2).

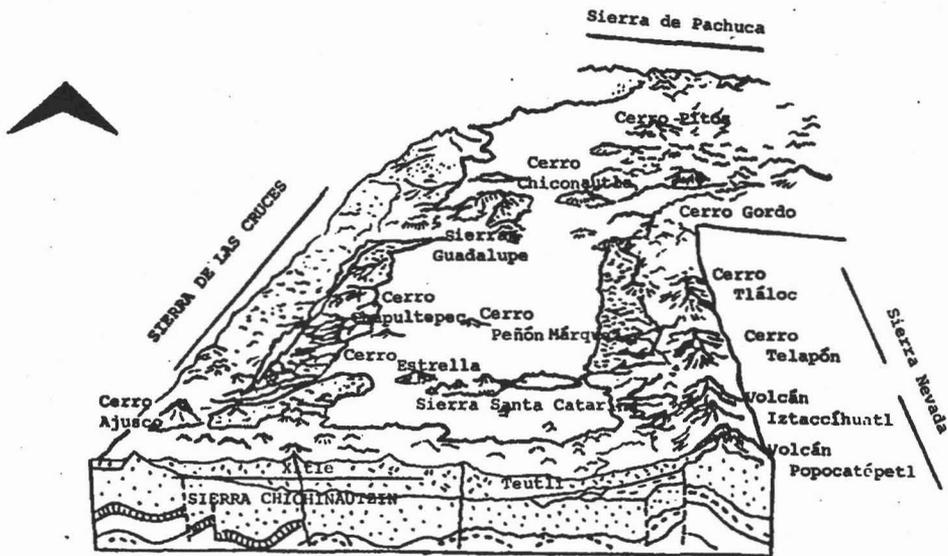


Figura 2. Elevaciones importantes de la cuenca de México.

La orografía de la zona de Xochimilco está comprendida por varios cerros como son: Teutli con una altura de 2,712 msnm, Tlamacaxco (2,660 msnm), Teoca (2,650 msnm), Tochuca (2,550 msnm), Tzompole (2,250 msnm) y Tlamapa (2,250 msnm), los cuales se localizan al sur de la delegación en la zona media boreal de la Sierra del Ajusco (3,930 msnm). Hacia el oeste se localizan de Tehuanpaltepec (2,841 msnm), La Cantera (2,805 msnm), Tetequilo (2,600 msnm) y Xochitepec (2,495 msnm), La Noria (2,250 msnm), Xilotepec (2,300 msnm) y Moyotepec (2,263 msnm) (Mendoza, 1961).

La orografía de la Delegación Xochimilco la constituye una serie de accidentes geográficos que constituyen la faja que rodea la parte sur del área donde se encuentra el Cautzin hasta la Sierra del Ajusco, donde se localizan pequeñas cañadas y barrancas de poca profundidad

cuyos acarreos fluviales descienden a las partes bajas de la planicie y constituyen la llanura aluvial o lacustre, donde se extienden las chinampas (Acevedo, 1972).

La superficie que corresponde a la Delegación Xochimilco presenta una ligera inclinación de sur a norte originada por las estribaciones de la Sierra Chichinautzin con quien limita en la zona sur. El aspecto topográfico y orográfico de Xochimilco es muy importante, ya que, contribuye a formar parte del factor principal que da base a su agricultura, ganadería e industrias que son el medio de la zona (Acevedo, *op. cit.*).

## 5. HIDROLOGÍA

Del gran lago que caracterizó la Cuenca de México, actualmente sólo quedan algunos pequeños lagos aislados ya prácticamente desecados como, Xaltocan, San Cristobal, Chalco y Zumpango. El lago de Texcoco y Xochimilco se encuentran en serios problemas de contaminación y desecación a pesar de los muchos ríos que fluyen en la Cuenca (Figura 3).

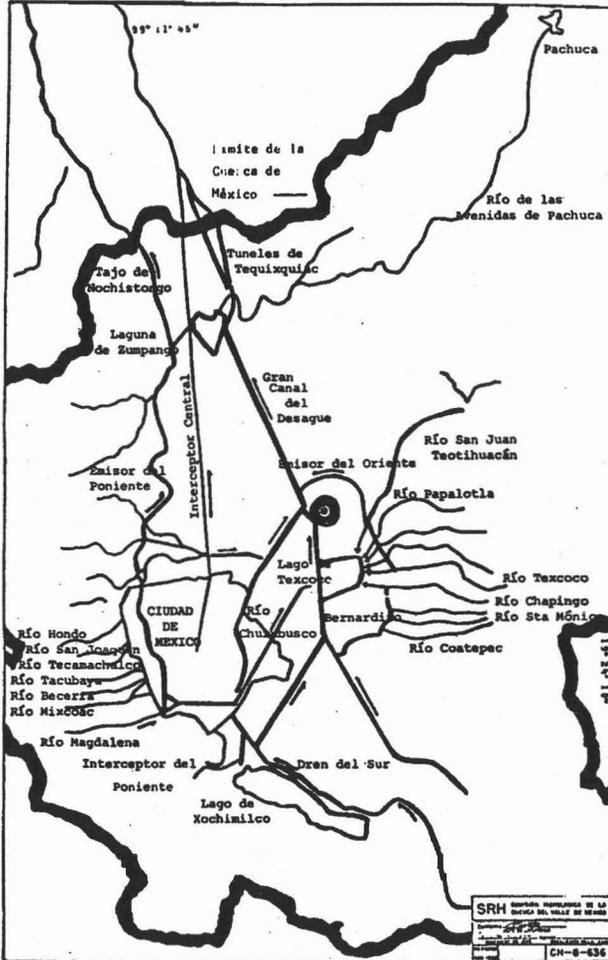


Figura 3. Ríos y Plan de Control-Drenaje de la Cuenca de México.

El exlago de Xochimilco en la actualidad lo constituyen una serie de canales de 184 Km aproximadamente que rodean las chinampas. Entre los principales canales están el de Chalco, Cuemanco, Nacional, Caltongo, San Cristóbal, El Bordo, Apatlaco, Tlicuili y Tlilac; entre otros.

Por la gran cantidad de canales que limitan a las chinampas y los pequeños ríos pluviales que son de temporal, se reconoce la importancia hidrológica de la Delegación Xochimilco, aún cuando casi no cuenta con corrientes de agua. Así también, son importantes sus manantiales de agua potable, que regulaban el nivel del lago de Xochimilco, estos son: los de Nativitas, La Noria o San Juan Tzomonolco, San Luis Tlaxialtemalco, El Niño, Xaltocan, San Gregorio Atlapulco, San Juan Acuezcocomac, Santa Cruz Acapixca y Santiago Tulyehualco, entre otros. Actualmente estos manantiales se han secado y el nivel de agua de los canales ha bajado demasiado debido a la captación de agua que se dio desde 1909, con la construcción del Acueducto Xochimilco-México para abastecer de agua potable a la Ciudad de México. Se construyeron obras de captación de agua mediante pozos profundos y con ello se origina la descompensación del régimen hidrológico del lago que produjo una sequía casi total de los canales de la zona chinampera (Bastida y Maciel, 1986).

Con la finalidad de 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  $400 \text{ m}^3/\text{seg}$  de aguas residuales mal tratadas provenientes de la planta de tratamiento de aguas del Cerro de la Estrella, en Iztapalapa. En 1967 el aporte de aguas residuales se amplió a  $1250 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Desde 1975 la red de canales se ha visto más seriamente afectada por el descenso de agua, los principales manantiales que los abastecían, como el de San Luis Tlaxialtemalco, Santa Cruz Acapixca, Nativitas y la Noria, fueron entubados para la Ciudad de México.

Por otra parte, la construcción de la pista olímpica de canotaje "Virgilio Uribe" en 1967, contribuyó también a la desecación del lago, ya que, se han producido asentamientos en el subsuelo que han propiciado que las aguas del lago se consuman inevitablemente. Además en los últimos años, la perforación de cien pozos a orillas de la zona han provocado la apertura de grietas donde se desplaza el agua y que hace descender el nivel del lago (Bastida y Maciel, *op. cit.*).

## 6. CLIMA

El clima de la Cuenca de México es predominantemente templado con variaciones en humedad, misma que alcanza sus valores máximos en el área rural. En tanto en la zona urbana, el clima seco del nororiente de la Cuenca está extendiéndose hacia esta zona debido a la modificación del paisaje natural. Se distinguen 2 estaciones climáticas bien diferenciadas: la seca de noviembre a abril y la húmeda de mayo a octubre (Jáuregui, 1987). (Figura 4).

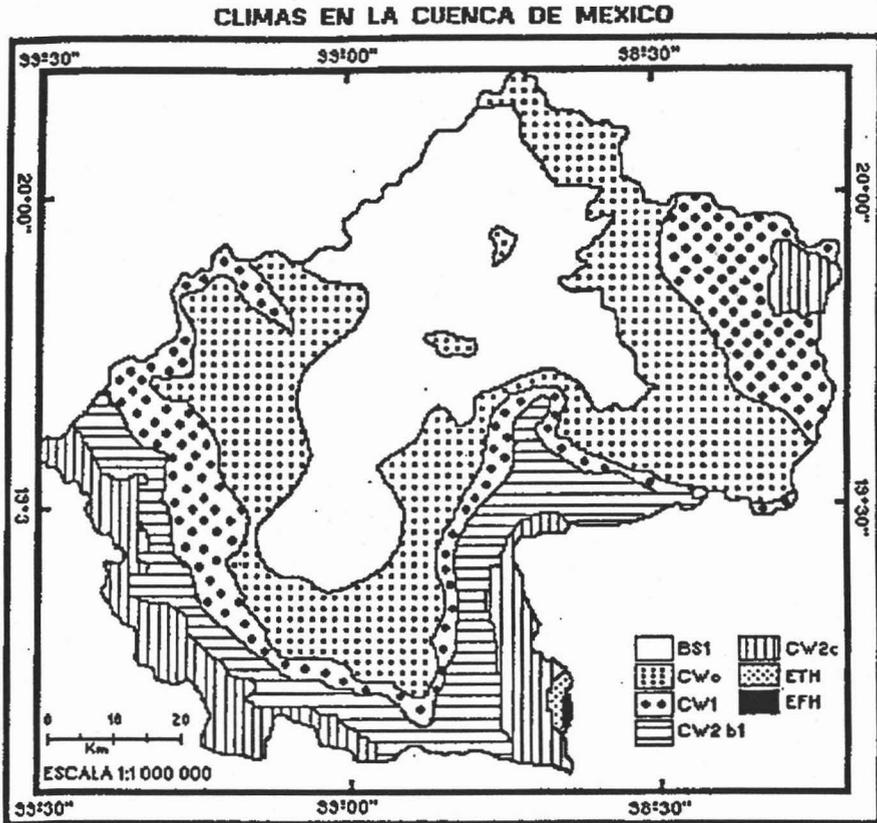


Figura 4. Climas presentes en la cuenca de México. En Xochimilco se tiene un clima C(w), es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano.

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 la de San Gregorio ubicada en las coordenadas 19° 26' latitud norte y 99° 03' longitud oeste.

De acuerdo a las modificaciones que García realizó en 1988, Xochimilco presenta un clima subtipo Cb (ww2) (w) (i') w'' comprendido dentro del clima C(w), es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano. La designación Cb (el más seco de los templados subhúmedos) con temperatura media anual entre 12° y 18°, temperatura del mes más frío entre -3° y 18° C y temperatura del mes más caliente menor a 22° 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. La concentración de las lluvias ocurre de mayo a octubre, con mayor precipitación en junio, julio, agosto y septiembre. Se presenta un déficit hídrico del mes de noviembre al mes de abril, siendo más severo en enero, febrero y marzo (Figura 4).

Se presentan heladas fuertes y muy frecuentes en los meses de diciembre, enero y febrero (entre 50 y 70 al año), aunque se reporta que se presentan desde octubre hasta marzo y terminan con los vientos alisios que llegan del noreste; y que son provocados al parecer por masas 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).

## 7. VEGETACIÓN

En las zonas de mayor altitud de la Delegación Xochimilco, se desarrolla una vegetación de bosque mixto de pinos *Pinus spp.*, cedros *Cupressus spp.*, encinos *Quercus spp.*, tepozanes *Buddleia cordata*, eucaliptos *Eucalyptus spp.* y ahuehuetes *Taxodium mucronatum* (Vallejo, *op.cit.*) (Figura 5).

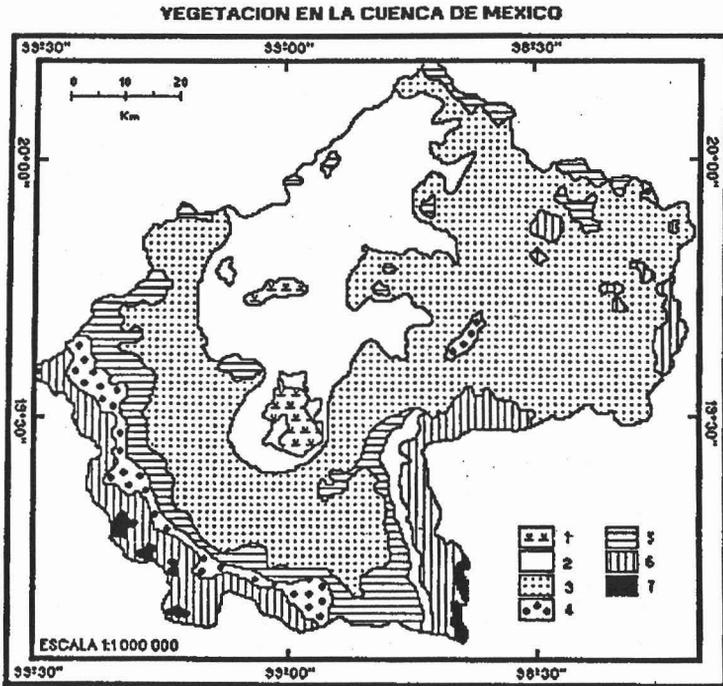


Figura 5. Vegetación de la cuenca de México 1. Asociación de Opuntia y/o matorral salado 2. Arbustos 3. Chaparral y Pastizal 4. Bosque de pino-encino 5. Bosque de pino 6. Bosque de abeto y/o pastizal 7. Pradera.

Se pueden observar en los lomerios, capulines *Prunus capuli*, aguacate *Persea americana*, duraznos *Prunus persica*, pirules *Schinus molle*, así como; cítricos *Citrus spp.*, entre otros.

A las orillas de las chinampas se encuentra el árbol típico chinampero conocido como ahuejote *Salix bonplandiana* y *Salix humboldtiana*. Sobre las chinampas pueden crecer el zacate robusto *Echinochloa spp.*, el zacate pata de gallo *Cynodon dactylon*, el zacate criollo *Hordeum adscendens*, y carrizos *Gynerium sagittatum* y plantas halófitas como, *Distichlis spicata*, *Heliotropium curassavicum*, *Suaeda diffusa* y *Datura stramonium*, entre otras.

Además existe una gran variedad de especies cultivadas como son el maíz *Zea mays*, la acelga *Beta vulgaris* var. *cicla*, el betabel *Beta vulgaris* var. *crassa*, el romero *Suaeda torreyana*, la coliflor *Brassica oleracea* var. *botrytis*, la col *Brassica oleracea* var. *capitata*, el brócoli *Brassica oleracea* var. *cauliflora*, la espinaca *Spinacea oleracea*, la zanahoria *Daucus carota*, el rábano *Raphanus sativus*, el apio *Apium graveolens*, el cilantro *Coriandrum sativum*, la calabaza *Curcubita pepo*, el chilacayote *Curcubita ficifolia*, la lechuga *Lactuca sativa*, el jitomate *Lycopersicum esculentum*, el amaranto *Amaranthus hypocondriacus*, el alhelí *Mathiola incana*, el cempaxochitl *Tagetes erecta*, los quelites *Chenopodium spp.*, el chile *Capsicum annum*, el tomate *Physalis ixocarpa*, la manzanilla *Matricharia chamomilla*, la hierbabuena *Mentha sativa* y el epazote *Chenopodium ambrosoides*; entre otras.

Dentro de la vegetación acuática se encuentran las ninfáceas y lemnáceas que resultan de gran importancia por la fijación de grandes concentraciones de fósforo que ponen a disposición a corto tiempo (Lot y Quiroz, 1979). Otras especies importantes por su población y masa son el lirio acuático *Eichhornia crassipes*, el chilacastle o lentejilla *Lemna gibba* y *Lemna minor*. En menor abundancia se encuentran los tules *Typha dominguensis* y *Typha latifolia* (tule ancho, masa de agua o espadañas), *Scirpus americanus* (tule esquinado o zacatule)(Quiroz, 1981).

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, éstos son, canales de 1 a 2 m de ancho que se localizan entre una chinampa y otra, en donde hay una gran acumulación de grandes cantidades de detritus por lo que el movimiento del agua es casi nulo. Los acalotes, son los canales principales con una anchura aproximada de 20 m ó más y que están sometidos a una constante perturbación debido al frecuente dragado para azolvamiento y control del lirio acuático, se desarrollan gran variedad de hidrófitas libremente flotadoras. En las ciénegas que se localizan en las áreas más bajas del lago, la constante acumulación de plantas acuáticas ocasiona la formación de áreas anegadas. En las lagunas por el constante dragado casi no se alcanzan a desarrollar plantas acuáticas, pero en ocasiones se ha visto en ellas granza, alpatle o corbata *Potamogeton pectinatus* y achorizo *Ceratophyllum demersum* (Novelo y Gallegos 1988, citado por Vallejo, *op.cit.*).

## 8. FAUNA

La cacería, la pesca, la agricultura y la recolección de vegetales acuáticos han sido actividades que se han visto seriamente afectadas por el deterioro ecológico de la zona así como, los efectos directos e indirectos del crecimiento urbano e industrial de los últimos años. Tanto las aves como los peces, fueron la fauna característica y más abundante de los lagos y zonas pantanosas de la Cuenca de México. Los mamíferos también constituyeron un grupo importante, entre estos se encontraban, los zorrillos, las comadreas, el tejón y los cacomixtles (Starker y Leopold, 1982).

Dentro del grupo de las aves, se pueden citar a las especies que visitaban la Cuenca de México, así como las que residen permanentemente en ella, éstas pertenecían a seis familias zoológicas distintas, de tres ordenes diferentes: del orden Anseriformes, familia Anatidae se encuentran los patos, gansos y cisnes; del orden Gruiformes, familia Gruidae se encuentran las grullas, de la familia Rallidae, las gallaretas y gallinas de agua, del orden Charadriiformes, familia Charadriidae se encuentran chichicuilotos y de la familia Scolopacidae se encuentran las zancudas y las agachonas.

Leyva (1985) reporta que en la región chinampera de Xochimilco y Tláhuac, existían 106 especies de aves, de las cuales 28 eran acuáticas y 78 eran aves terrestres. Lo que representa el 1.1% de las especies de aves del mundo, el 10.6% de las de México y el 48.8% de las del Valle de México.

Las especies nativas de peces pertenecen a las familias Atherinidae, como el pez blanco y los charales, Cyprinidae, como los juiles y el pez negruzco y la familia Goodeidae, como el pececillo de vientre grande o pez amarillo. De las especies introducidas se encuentran la lobina negra *Micropterus salmoides*, la carpa *Cyprinus spp* y la carpa dorada *Cavassius auratus*, así también, la trucha y la sardina (Rojas, 1985).

Del grupo de los reptiles se encuentran, la víbora de cascabel, cincuate, chirrioneras, culebras, camaleones, lagartijas grises y de collar llamadas tecuixe. Entre los artrópodos se encuentran gran variedad de cienpies, arácnidos, moscas y mosquitos, chapulines, grillos, gorgojos, abejorros, mariposas, abejas y avispas, entre otros (Santos, 1972; citado por Vallejo, 1992).

## 9. SUELOS

Los suelos de la parte sur de la Delegación Xochimilco son de origen volcánico, colindan con las serranías del Chichinautzin y Ajusco-Cautzin y son tradicionalmente llamadas "tierras altas". Son suelos susceptibles a la erosión que se ve acentuada por la tala inmoderada de los bosques, se caracterizan por ser de textura migajón-arenosa, por presentar colores que van del pardo al negro, con pH ligeramente alcalino, pobres en materia orgánica, sales solubles, N y P; en general son ricos en calcio, magnesio y potasio (Vallejo, *op.cit.*).

Los suelos de las partes bajas de Xochimilco son de origen aluvial-lacustre, los cuales constituyen la llanura lacustre donde se localiza la zona chinampera. Esta llanura se formó por el acarreo y depósito de materiales intemperizados de las partes altas colindantes, que se vio favorecido por la inclinación sur-norte que existe en la zona (Acevedo, 1972 citado por Reyes, *op.cit.*).

Los suelos de la zona chinampera son objeto de estudio dadas sus características tan particulares que presentan, ya que la fertilidad de estos suelos 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 y la rotación de cultivos, en sí; al uso intensivo de mano de obra (Jiménez, *et al.*, 1987). Son suelos que presentan colores que van del pardo claro al negro, su textura es predominantemente arcillosa o franca, el pH es alcalino, son ricos en materia orgánica, N, P y K. También se han detectado altas concentraciones de sales solubles y sodio, por lo que se les ha considerado según la USDA como suelos salinos, y salino-sódicos.

Aguilera (1987), considera a los suelos de chinampa como Antroposoles, debido al manejo continuo por parte del hombre. De acuerdo al Sistema FAO modificado por DETENAL, los clasifican como Gleysol Eutrico por sus propiedades gleyicas. También se les ha denominado como Solonchak, Solonetz e Histosol; a pesar de que son suelos de origen antrópico.

Reyes y García (2004) ubicaron a los suelos de Chinampa dentro de la Unidad Taxonómica de los Antrosoles según ISSS-ISRIC-FAO (1998) con horizontes horticos, terricos y álbicos; ya que son suelos modificados por actividades humanas con horizontes originales irreconocibles o enterrados por remoción, disturbio, cortes, rellenos y adición de materiales orgánicos o riego.

## VI. METODOLOGÍA

### 1. DE CAMPO

Se colectó muestras de suelo de 8 calicatas al azar de la zona chinampera de la Laguna del Toro, Xochimilco.

Las muestras fueron tomadas cada 10 cm de profundidad, para tener mayor fineza en el estudio, hasta encontrar la capa freática. Cada muestra tenía un volumen aproximado de 2 Kg de suelo que fue colocado en bolsas de poliuretano debidamente etiquetadas. La profundidad de las calicatas fue variable (de 30 a 140 cm), lo que hizo un total de 69 muestras colectadas.

Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron empleando una malla del número 10 (2 mm). Una vez tamizadas el material fue llevado al Laboratorio de Investigación de Edafología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, para iniciar la etapa de análisis físico-químicos del suelo.

### 2. DE LABORATORIO

A las diferentes muestras de suelo se les realizaron las siguientes determinaciones físico-químicas:

#### a) Análisis físicos

- Color en seco y en húmedo por Tablas de Comparación Munsell (1954)
- Densidad Aparente por el método de la Probeta (Baver, 1956)
- Densidad Real por el método del Picnómetro (Baver, 1956)
- Determinación de Porcentaje de Porosidad
- Textura por el método del Hidrómetro de Bouyoucos (1951)

#### b) Análisis químicos

- Potencial de hidrógeno (pH) o Reacción del suelo por el método del potenciómetro. Determinación en agua destilada y solución salina (KCl 1N, pH 7) en relación 1:5 y 1:10 (Jackson, 1982).
- 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 pH 7) y valoración por el método del Versenato (EDTA 0.02N) (Cheng y Bray, 1951).
- Sodio y Potasio Intercambiables por el método de extracción con acetato de amonio (1N pH 7) y flamometría (Jackson, 1970).
- Capacidad de Intercambio Catiónico por el método de centrifugación, saturando con  $\text{CaCl}_2$  (1N, pH 7), lavando con alcohol etílico al 96% y eluyendo con NaCl (1N, pH 7)
- La valoración se realizó con Versenato (EDTA 0.02 N) y Negro de Ericromo "T" (ISRIC, 1992).
- 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 (Allison, 1949).
- Potencial de Hidrógeno (pH) del extracto de la solución del suelo, se utiliza un potenciómetro (Corning, modelo 7).
- Calcio y Magnesio Solubles por el método volumétrico, titulación por el método del Versenato (EDTA 0.02 N) (Cheng y Bray, 1951).
- Sodio y Potasio solubles por flamometría (Jackson, 1970).
- Cloruros por el método de Mohr (1949). Se utilizó nitrato de plata (0.01 N) e indicador dicromato de potasio (5%).
- Sulfatos por gravimetría en forma de sulfato de bario (Bower y Huss, 1948).
- Carbonatos y Bicarbonatos por el método volumétrico (Reitemeir, 1943). Se utilizó HCl (0.01N), Fenoftaleína y Anaranjado de metilo.
- Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI). Relación Capacidad de Intercambio Catiónico y Sodio Intercambiable.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El color del suelo en seco es gris 10YR 5/1 y 10YR 6/1 en las calicatas 1-2-5; gris oscuro 10YR 4/1 en las calicatas 6-7-8, y gris muy oscuro 10YR 3/1 en las calicatas 3 y 4. En húmedo es de color gris muy oscuro 10YR 3/1 y negro 10YR 2/1 al aumentar la profundidad en las calicatas 1-3-4-5; gris muy oscuro en todas las muestras de las calicatas 2 y 7; y negro 10YR 2/1 en la calicata 6; esto es debido; a las labores de depositación irregular de los materiales orgánicos como abonos verdes (lirio), estiércoles y agualodo que se extrae del fondo de los canales, ya que, estos suelos son de naturaleza orgánica por su manejo antrópico (Cuadros 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15). Los altos contenidos de materia orgánica de aproximadamente el 30% (según reporta Richie, 1972 citado por Bigham, *et. al.*, 1993), pigmentan al suelo con tonalidades oscuras por la acumulación de ácidos húmicos al tener baja reflectancia, de aproximadamente el 2%, esto se refleja muy bien en las calicatas 6 y 8 (Cuadros 11 y 15). Otros materiales que pudieron contribuir a las tonalidades oscuras del suelo son el material ígneo basáltico, los óxidos de hierro y las sales acumuladas que se encuentren presentes, ya que estos suelos se formaron de cenizas volcánicas y material piroclástico, así como; de feldespatos y componentes ferromagnesianos (García, *et. al.*, 1994).

Las texturas se clasificaron como migajón arcillosa y franca (al aumentar la profundidad), en las calicatas 1-2-3-4 y 5, y migajón limosa las calicatas 6,7 y 8, a consecuencia; de la frecuente adición de agualodo o material que se extrae del fondo de los canales, ya que es una actividad que se desarrolla tradicionalmente (Gráficas 1,8,15,22,29,36,43 y 50). Otra razón es, que estos suelos son producto de acarreo de sedimentos. lodos y aguas, material piroclástico, arenas intermedias y de arcillas altamente hidratadas de relación 2:1 de tipo motmorillonita, que se expanden al humedecerse y se contraen al secarse (Aguilera y Fuentes, 1951). Las texturas francas son favorables por que promueven una óptima permeabilidad e infiltración para el desarrollo de los cultivos, sin embargo las texturas con tendencia arcillosa favorecen la compactación y promueven problemas de acumulación de sales e impiden un buen drenaje favoreciendo la inundación, la acumulación de sales en la superficie e impide el lavado de sales al utilizar alguna metodología de rehabilitación.

Las densidades aparentes (D.A) son bajas de entre 0.44 y 0.57 Mg m<sup>-3</sup> como consecuencia de una alta porosidad de 47.4 a 76 %, encontrándose los valores más altos en las profundidades con baja densidad aparente, lo cual se puede explicar por el alto contenido de material silíceo (60 a 80%) y diatomeas que promueven una alta porosidad en varias capas profundas o intermedias de los suelos chinamperos y que coinciden con un color más claro, como en la calicata 4 (de 110 a 120 cm de profundidad), y en la calicata 5 (de 10-20 cm, 30-80 cm y 100-110 cm de profundidad) cómo lo señaló en otros trabajos Reyes en 1997 y Reyes y García, en 2004. Este alto porcentaje de porosidad favorece el crecimiento de las plantas, pues facilita el enraizamiento, asegura la conservación del agua y favorece el intercambio entre la planta y el suelo, permitiendo la difusión del aire y del agua (Ramos, *et. al.*, 2001). Las densidades aparentes en estos suelos corresponden a densidades aparentes calculadas para suelos orgánicos que están dentro de un rango de 0.4 y 0.6 Mg m<sup>-3</sup>, con gran cantidad de espacio poroso, el cual disminuye al aumentar la densidad de estos suelos (Foth, *op. cit*) (Cuadros 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15).

Las densidades reales (D.R) son también bajas, de 1.2 a 1.9 Mg m<sup>-3</sup>, en relación a la de los suelos minerales (2.6 y 2.7 Mg m<sup>-3</sup>), debido al alto contenido de materia orgánica, ya que ocupa mucho volumen y su peso es menor que el material mineral o fracción sólida y también; por la textura media presente en estos suelos, la cual tiene un alto porcentaje de espacio poroso ( Gráficas 2,9,16,23,30,37,44 y 51).

El pH con H<sub>2</sub>O en relación 1:5 y 1:10 en todas las calicatas es de 8.5 y con KCl es menor, de 7.6, en relación 1:5 y 1:10. El pH alcalino de la superficie tiene que ver con la evaporación porque ahí se acumulan las sales que no alcanzan a ser lavadas por la lluvia y/o por el agua de los canales que se adiciona al momento del riego de las chinampas y, por efecto de la capilaridad ascienden hasta la superficie donde frecuentemente afloran formando costras de color pardo o blancas, esto se corroboró con la determinación de C.E que es mayor de 4 dSm<sup>-1</sup> (Gráficas 3, 10,17,24,31,38,45 y 52).

Los valores de pH que se registraron con KCl son menores a los de agua destilada en las mismas relaciones, ya que, se está midiendo el pH (potencial) del sitio de intercambio y el ión K<sup>+</sup> tiende a desplazar a los cationes adsorbidos entre ellos al ión H<sup>+</sup>, se forma un ácido fuerte (HCl) y se hace más ácida la solución del suelo (Porta, 1994) (Cuadros 1,3,5,7,9,11,13 y 15).

La concentración de M.O es alta en todas las calicatas, del 13 al 32%, esto es debido, a la depositación de abonos orgánicos y poca transformación por las condiciones anaeróbicas que existen en los suelos por el exceso de agua. Esta propiedad química hace que el suelo sea potencialmente fértil, ya que le aporta gran cantidad de nutrimentos, así como, una alta capacidad de intercambio catiónico y un incremento de la porosidad (Gráficas 5,12,19,25,32,39,46 y 53).

Las variaciones en los contenidos de M.O que se encontraron en las diferentes calicatas, son producto del manejo de cada chinampa como la adición de lodos del fondo de los canales, y restos de la cosecha anterior y estiércoles que se utilizan como abono. Y como lo han citado García, *et. al.*, 1994, Reyes, 1997, Mercado, 1998 y Reyes y García, 2004, la materia orgánica de las chinampas es transformada a humus tipo Mor y Anmor o Mull, dependiendo de la salinidad y condiciones medioambientales; lo que modifica la disponibilidad de nutrientes para las plantas y las reservas de carbono para los microorganismos.

La capacidad de intercambio catiónico es alta varía entre 45 y 83.5 cmol(+) kg<sup>-1</sup>, debido principalmente a la alta concentración de M.O, y montmorillonita presente en estos suelos (Aguilera y Fuentes, 1951)(Gráficas 4,11,18,26,33,40,47 y 54). La M.O posee cargas negativas en su superficie debido a los radicales libres que presenta como, R-OH, R-COO<sup>-</sup>, R-NH<sub>2</sub>, fenoles y su fracción coloidal (humus) puede retener iones de manera que evita su lixiviación (CIC).

Ahora bien, en los casos en donde se registra alta capacidad de intercambio catiónico y bajos contenido de materia orgánica (como en algunas profundidades de la calicata 2 y 4) (Cuadros 3 y 7), se atribuyen a la probable evolución del humus que puede variar de un sitio a otro debido a las distintas fuentes de materia orgánica y al manejo de las chinampas, pues podrían aportar al suelo diferentes grupos funcionales con diferentes capacidades de ionización y esto junto con el pH del suelo modifica muchas reacciones como, la adsorción de cationes. (Tan, 1975, citado por Chávez 2000).

Los cationes intercambiables como el  $\text{Ca}^{++}$  presentan en promedio concentraciones de 29 a 42  $\text{cmol Kg}^{-1}$ , el  $\text{Mg}^{++}$  de 29 a 52  $\text{cmol Kg}^{-1}$ , el  $\text{Na}^{+}$  de 1.5 a 5.6  $\text{cmol Kg}^{-1}$  y el  $\text{K}^{+}$  de 0.5 a 2.9  $\text{cmol Kg}^{-1}$ , por lo que predomina el  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Mg}^{++}$  intercambiables en todas las calicatas (Cuadros 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15).

Los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  se producen por el intemperismo del material geológico presente en esta zona, los cuales se asocian a arcillas y materia orgánica humificada, así como a la selectividad de adsorción de los diferentes cationes y el grado de hidratación de cada catión por lo que su reemplazo es menor que en átomos de mayor radio atómico (Foth, *op. cit.* citado por Chávez, 2000)(Gráficas 4,11,18,26,33,40,47 y 54).

Las concentraciones de  $\text{K}^{+}$  intercambiable que se encuentran en estos suelos podría estar asociado a la presencia de minerales silicatados de tipo 2:1, como la montmorillonita reportada en estos suelos por Fuentes y Aguilera (1951), Reyes (1997) y García *et al.*, (1994), además de ser menor la abundancia de este catión en la corteza terrestre que la de calcio y magnesio (apenas del 2.5%), y porque el potasio tiene un coeficiente de energía menor que el sodio, por lo al quedar en solución se acumula por evaporación en las capas superficiales y, se ve sometido a la lixiviación, como se demuestra con los resultados (de las pastas de saturación) de las calicatas analizadas (Cuadros 2, 4, 6, 8, 10, 12,14 y 16). La compactación y la gran cantidad de humedad también provocan que la concentración de calcio y magnesio sea mayor que la del potasio, porque este último tiene un grado de hidratación menor (Ortiz y Ortiz, 1990 citado por Chávez, 2000).

El PSI en todas las calicatas es menor del 15%, por lo que estos suelos no tienen problemas de sodicidad, manteniéndose la estructura del suelo y la permeabilidad del aire y agua. Sin embargo, el manejo continuo del suelo impiden la formación de estructura y la permeabilidad del aire y del agua son afectados por los altos contenidos de arcilla y el exceso de humedad (Gráficas 5,12,19,25,32,39,46 y 53).

La suma de iones intercambiables y solubles es mayor que la capacidad de intercambio catiónico, a pesar de que la neutralidad eléctrica dicta que las cargas de los cationes intercambiables deben ser iguales a la suma de las cargas negativas del suelo a un pH determinado, sin embargo; en la metodología usada es difícil distinguir entre los cationes intercambiables y los cationes solubles presentes en la solución del suelo. Esto es probablemente, porque las concentraciones de aniones y cationes se distribuyen en forma de una doble capa difusa donde los iones en la fase líquida del suelo disminuyen continuamente de una alta concentración en las superficies cercanas a las partículas a una concentración baja en la solución del suelo, entonces la presencia de coloides (materia orgánica con diferentes grados de evolución y las arcillas) afectan la distribución de iones solubles e intercambiables en la solución de estos suelos (Ortega, 1987).

Además, la CIC se altera por altas concentraciones de sales como, sulfatos o cloruros de magnesio y sodio o carbonatos de calcio y magnesio; y los resultados muestran (Cuadros 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16) a estos suelos con altas concentraciones de dichas sales por esto es probable que los valores de la CIC se modifiquen cuándo los cationes adsorbidos por el complejo de intercambio son tomados de la solución del suelo, de acuerdo a su selectividad donde influyen el radio atómico, el grado de hidratación de cada átomo, así como, la concentración de cada ión en la solución del suelo, y el tipo de sustitución de los iones. Al

augmentar la concentración o la valencia de los iones el grosor de la doble capa difusa disminuye y los cationes quedan en la solución del suelo. (Porta, *op. cit.*).

La capacidad de intercambio catiónico del suelo es el mejor índice para evaluar la fertilidad, los suelos con una saturación elevada de calcio se encuentran en el estado físico y nutricional más satisfactorio. En condiciones neutras o casi neutras (pH 6.5 a 7.5) el calcio constituye cerca del 80%, el magnesio del 10 al 15% y el porcentaje restante es sodio y potasio principalmente (Thamhane, 1986).

En un suelo fértil las bases intercambiables se encuentran en el siguiente orden relativo:  $Ca > Mg > Na > K$ , algunas veces el potasio (0.5 a 8%) intercambiable excede el contenido de sodio (2 al 12%) (Thompson, 1982).

Al comparar la distribución y los porcentajes adecuados de iones intercambiables de un suelo fértil para el crecimiento de las plantas, los resultados de las chinampas, muestran que el magnesio se encuentra en mayor proporción en todas las calicatas, excepto en la 7, (Cuadros 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15), lo cual se atribuyó al material geológico circundante a la zona chinampera constituido principalmente de andesitas, basaltos, dacitas, lutitas y riolitas ricos en minerales ferromagnesianos, además; de que el magnesio se encuentra en diversos tejidos vegetales con clorofila, por tanto, en las chinampas también pudo originarse de material orgánico proveniente de residuos de cosecha así como, de capas de lirio acuático que se entierran en el suelo.

La distribución del calcio, el sodio y el potasio se relaciona con el pH alcalino de estos suelos y están en menores proporciones que el magnesio; este último se encuentra aproximadamente en un 48.7%, el calcio en un 44.3%, el sodio en un 4.5% y el potasio en un 2.4%. Si se comparan estos porcentajes con los reportados en suelos fértiles (por Thompson, 1982 y Thamhane, 1986), se invierte la distribución entre el calcio y el magnesio y aún más los porcentajes encontrados difieren, pero no así, en el caso del sodio y el potasio, ya que los contenidos en estos suelos si corresponden a los necesarios (según estos autores) para suelos fértiles. Este pequeño desbalance de calcio puede afectar la productividad y el crecimiento vegetal, pues este nutriente hace a las plantas más selectivas en su absorción, constituye la pared celular y fomenta el desarrollo rápido de la raíz, el magnesio es el componente principal de la clorofila y además ayuda a la planta a absorber fósforo y otros nutrimentos. Es importante señalar que el potasio participa en el metabolismo de carbohidratos, la síntesis de proteínas, la regulación de micronutrientes, la activación de enzimas y la apertura de estomas, fotosíntesis y respiración por tanto, en el desarrollo y ciclo de los cultivos (Tisdale, 1987).

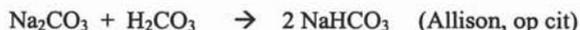
El pH del extracto de las pastas de saturación es bastante alto en todas las calicatas, varía de 8.0 a 9.3 en la capa arable y la conductividad eléctrica (C.E) es mayor de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  excepto en la calicata 7, esto se debe principalmente al alto contenido de sulfatos, cloruros y bicarbonatos, que al unirse con el  $Na^+$ ,  $Mg^{++}$  y  $Ca^{++}$  forman las sales  $NaSO_4$ ,  $MgSO_4$  y  $CaSO_4$ ,  $NaCl$ ,  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $NaHCO_3$ ,  $Mg(HCO_3)_2$  y  $Ca(HCO_3)_2$  que aumentan el pH y la C.E. ( Cuadros 2,4,6,8,10,12,14,y,16 ).

Al comparar los contenidos de bicarbonatos y carbonatos se observó que estos últimos fueron menores en todas las calicatas (Cuadros 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16) y se relacionaron con una mayor alcalinidad en el suelo y con bajas solubilidades de las sales, así por ejemplo,

el carbonato de sodio tiene una solubilidad de 68 g/L a 0°C y de 429 g/L a 50°C (Allison, 1982)

En relación a la alcalinidad y la toxicidad en las plantas, la presencia de carbonatos es más nociva que la de bicarbonatos y, en consecuencia, en los suelos chinamperos estudiados esta respuesta fue favorable (Cuadros 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, y 16).

El bicarbonato de sodio es menos alcalino que el carbonato de sodio ya que el ácido carbónico  $\text{H}_2\text{CO}_3$  neutraliza el efecto por la reacción:



Debido a los contenidos de magnesio intercambiable (Cuadros 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15) es importante señalar que el carbonato de magnesio es mucho más soluble que el carbonato de calcio (0.1031 g/L), sin embargo; su formación es difícil por la absorción del Mg en el complejo de intercambio del suelo.

En suelos con pH alcalino disminuyen la permeabilidad y la aireación y se crean condiciones reductoras (Villafañe, 1998 citado por Ramos, *et.al.*, 2001).

En cuanto a la concentración de cationes y aniones solubles, el  $\text{Na}^+$  es el dominante (varía de 18.2 a 86  $\text{cmol L}^{-1}$ ) y en general, se observa que la concentración de éste disminuye conforme aumenta la profundidad; le sigue el  $\text{Mg}^{++}$  (con valores de 6.2 a 58.4  $\text{cmol L}^{-1}$ )  $> \text{Ca}^{++}$  (con valores de 5.3 a 16.6  $\text{cmol L}^{-1}$ )  $> \text{K}^+$  (con valores de 0.15 a 49  $\text{cmol L}^{-1}$ ) y  $\text{SO}_4^{--}$  (con valores 12.8 a 109  $\text{cmol L}^{-1}$ )  $> \text{Cl}^-$  (con valores de 20.5 a 62  $\text{cmol L}^{-1}$ )  $> \text{HCO}_3^-$  (con valores de 6.0 a 37.5  $\text{cmol L}^{-1}$ )  $> \text{CO}_3^{--}$  (con valores de 3.0 a 7.3  $\text{cmol L}^{-1}$ ) (Gráficas 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56).

Las sales en altas concentraciones ejercen efecto osmótico sobre las plantas, y disminuyen su capacidad de absorción de agua. Las variaciones en las concentraciones de sales que presentan algunas calicatas podría estar asociada a la concentración y composición iónica de las aguas disponibles, el régimen de lluvias y el manejo de las aguas de mala calidad que en esta zona de chinampas se utilizan para regar y a la alta evapotranspiración, principalmente en los meses de marzo a mayo.

La solubilidad de las sales afecta la toxicidad en las plantas. Las más nocivas como los sulfatos y cloruros tienen elevadas solubilidades, así el sulfato de magnesio tiene solubilidad de 262 g/L y el cloruro de magnesio de 353 g/L (Allison, op.cit). Por tanto; los altos contenidos de sulfatos y cloruros en las calicatas de las chinampas (Cuadros 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16) muestran claramente graves problemas de toxicidad para el desarrollo y productividad de las plantas ya que la presencia de estas sales en los suelos daña los tejidos vegetales y trae alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo. Sin embargo, en muchos casos los altos contenidos de materia orgánica amortiguan los efectos nocivos de estas sales y conservan una buena productividad en los cultivos.

La mayor concentración de sodio soluble, con respecto a la del calcio, magnesio y potasio solubles contrario a lo que sucede con los cationes intercambiables (Cuadros 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16), se atribuyó al grado de hidratación que alcanza este catión, pues su menor radio atómico permite una hidratación mayor facilitando su extracción de la solución del suelo (Foth, *op. cit.*).

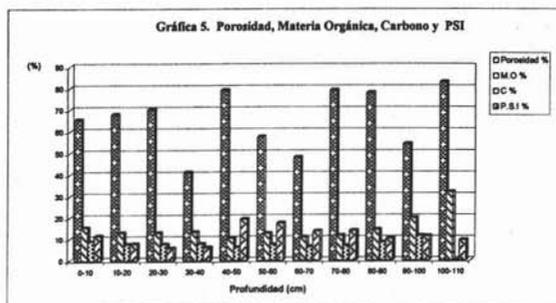
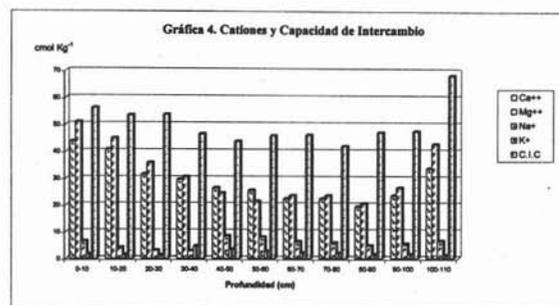
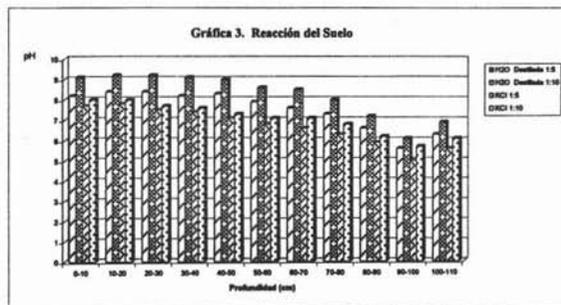
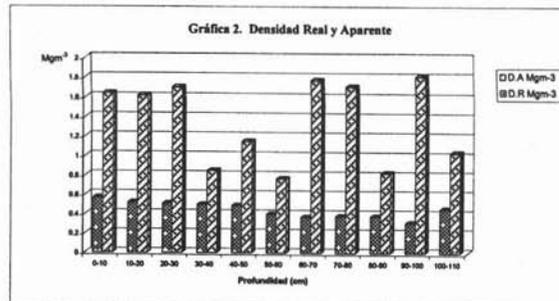
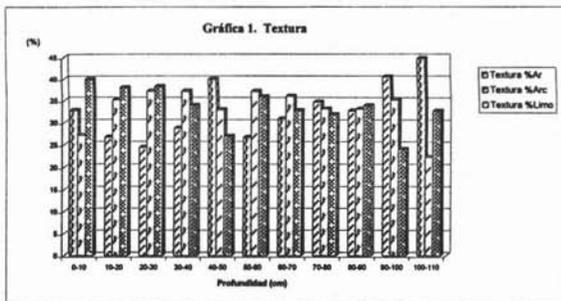
Por otra parte se puede inferir que el mal drenaje y poca permeabilidad impiden la acumulación de sales a mayor profundidad, por esto las concentraciones de los aniones y el pH disminuyen al aumentar la profundidad, la posible formación de sales como cloruro o sulfato de sodio o magnesio pueden alterar la reacción del suelo, lo que explica los valores de pH observados en la superficie (Cuadros 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16).

Con base en los valores de pH mayor de 8.5 y la C.E mayor de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  y el PSI menor del 15%, el suelos en todas las calicatas son salinas, según la USDA, 1982.

CUADRO 1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 1. XOCHIMILCO, D.F.

Profundidad cm	Color		Textura			D.A	D.R	Porosidad	pH				M.O	C	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.I.C	P.S.I
	Seco	Húmedo	%Ar	%Limo	%Arc	Mgm <sup>-3</sup>	Mgm <sup>-3</sup>	%	H <sub>2</sub> O Destilada		KCl		%	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>					%	
									1:5	1:10	1:5	1:10								
0-10	10YR 8/1 Gris	10YR 3/1 Gris muy osc.	32.8	40.0	27.2	0.57	1.84	65.5	8.2	9.1	7.7	8.0	15.3	8.9	43.8	51.0	6.5	1.6	56.2	11.5
10-20	10YR 5/1 Gris	10YR 3/1 Gris muy osc.	26.8	Migajón Arcilloso 38.0	35.2	0.52	1.82	67.9	8.4	9.2	7.8	8.0	12.9	7.5	40.8	44.9	4.1	1.5	53.5	7.7
20-30	10YR 5/1 Gris	10YR 3/1 Gris muy osc.	24.5	Migajón Arcilloso 38.3	37.2	0.51	1.7	70.2	8.4	9.2	7.5	7.7	12.9	7.5	31.6	35.8	3.0	1.3	53.7	5.6
30-40	10YR 6/1 Gris	10YR 3/1 Gris muy osc.	28.8	Migajón Arcilloso 34.0	37.2	0.5	0.85	41.2	8.2	9.1	7.4	7.6	13.3	7.7	29.6	30.6	2.8	4.6	46.5	6.0
40-50	10YR 5/1 Gris	10YR 3/1 Gris muy osc.	40.0	Migajón Arcilloso 27.0	33.0	0.49	1.15	57.5	8.3	9.0	7.1	7.3	10.4	6.0	26.5	24.5	8.4	3.4	43.8	19.3
50-60	10YR 5/1 Gris	10YR 3/1 Gris muy osc.	26.8	Migajón Arcilloso 38.0	37.2	0.4	0.77	48.1	7.9	8.6	6.8	7.1	12.6	7.3	25.5	21.4	8.0	2.6	45.9	17.5
60-70	10YR 6/1 Gris	10YR 3/1 Gris muy osc.	31.0	Migajón Arcilloso 32.8	36.1	0.37	1.77	79.1	7.6	8.5	6.6	7.1	10.8	6.2	22.4	23.5	6.3	2.0	46.1	13.6
70-80	10YR 8/1 Gris	10YR 2/1 Negro	34.8	Migajón Arcilloso 32.0	33.2	0.38	1.71	77.9	7.3	8.0	6.3	6.8	11.6	6.7	22.4	23.5	5.8	1.9	42.0	13.9
80-90	10YR 5/1 Gris	10YR 3/1 Gris muy osc.	32.8	Migajón Arcilloso 34.0	33.2	0.38	0.83	54.2	6.6	7.2	5.9	6.2	14.3	8.3	19.4	20.5	4.7	1.5	47.1	10.1
90-100	10YR 8/1 Gris	10YR 2/1 Negro	40.5	Migajón Arcilloso 24.1	35.3	0.31	1.81	82.9	5.6	6.1	5.0	5.7	19.8	11.4	23.5	26.5	5.4	1.5	47.5	11.3
100-110	10YR 4/1 Gris-oscuro	10YR 2/1 Negro	44.7	Migajón Arcilloso 32.8	22.3	0.46	1.04	55.7	6.3	6.9	5.6	6.1	31.7	18.4	33.7	42.8	6.5	1.1	68.3	9.5

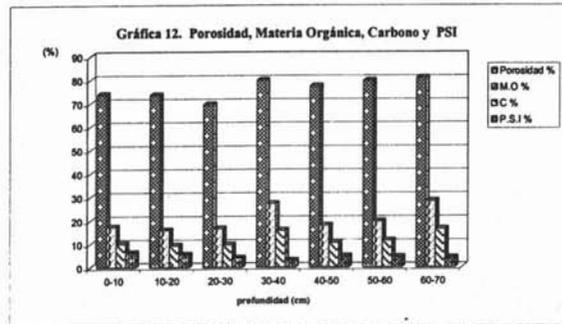
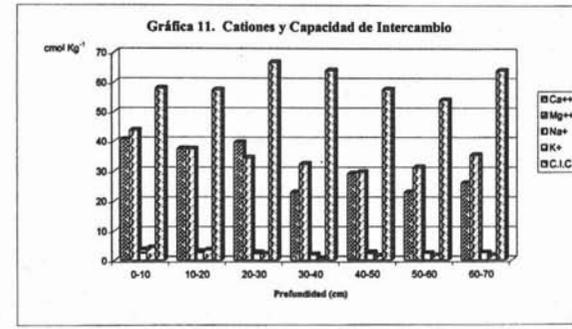
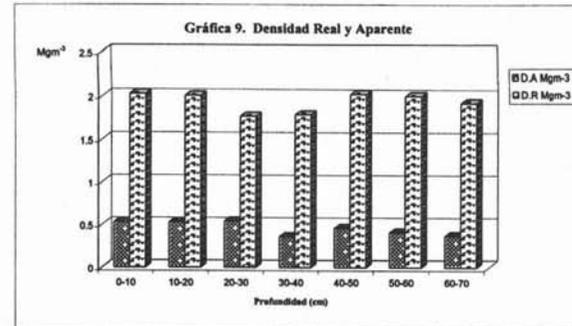
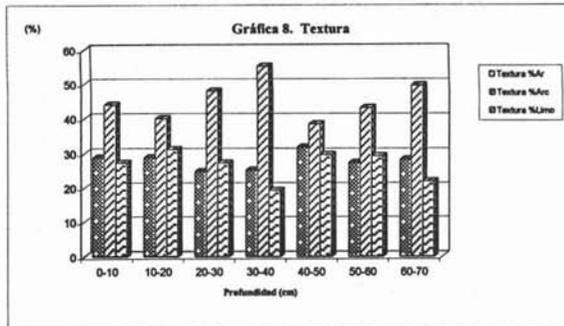
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 1. XOCHIMILCO, D.F.



CUADRO 3. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 2. XOCHIMILCO, D.F.

Profundidad cm	Color		Textura			D.A	D.R	Porosidad	pH				M.O	C	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.I.C	P.S.I
	Seco	Húmedo	%Ar	%Limo	%Arc	Mgm <sup>-3</sup>	Mgm <sup>-3</sup>	%	H <sub>2</sub> O Destilada		KCl		%	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>						%
									1:5	1:10	1:5	1:10								
0-10	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	28.8	44.0 Migajón Arcilloso	27.2	0.53	2.03	73.8	8.1	8.3	7.8	8.0	17.3	10.0	40.6	43.7	3.6	4.3	57.9	6.3
10-20	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	28.8	40.0 Migajón Arcilloso	31.2	0.53	2.01	73.6	8.4	8.7	7.9	8.2	15.9	9.2	37.5	37.4	3.1	3.5	57.3	5.4
20-30	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	24.8	48.0 Migajón Arcilloso	27.2	0.54	1.77	69.4	8.3	8.5	7.7	8.0	16.6	9.6	39.6	34.4	2.6	2.2	66.6	4.0
30-40	10 YR 6/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	25.1	55.2 Migajón Limoso	19.6	0.36	1.79	79.8	6.7	7.0	6.3	6.5	27.1	15.7	22.9	32.3	1.8	0.6	64.0	2.9
40-50	10 YR 6/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	31.8	38.5 Migajón Arcilloso	29.6	0.46	2.03	77.3	7.4	7.5	6.8	7.0	18.0	10.4	29.1	29.6	2.6	1.4	57.5	4.6
50-60	10 YR 6/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	27.4	43.2 Migajón Arcilloso	29.3	0.41	2.01	79.6	7.1	7.3	6.6	6.9	19.7	11.4	22.9	31.2	2.3	1.5	53.9	4.3
60-70	10 YR 6/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	28.3	49.6 Franco	21.9	0.37	1.93	80.8	6.9	7.1	6.4	6.6	28.2	16.3	26.0	35.4	2.5	1.5	64.0	3.9

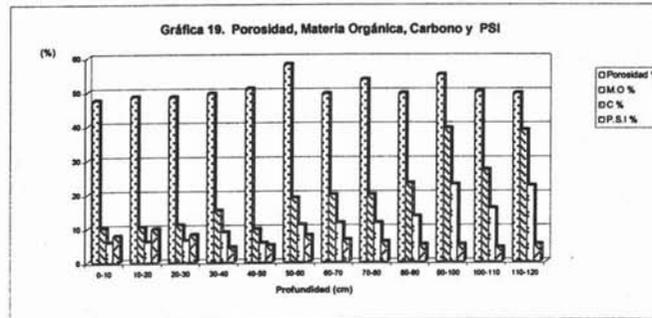
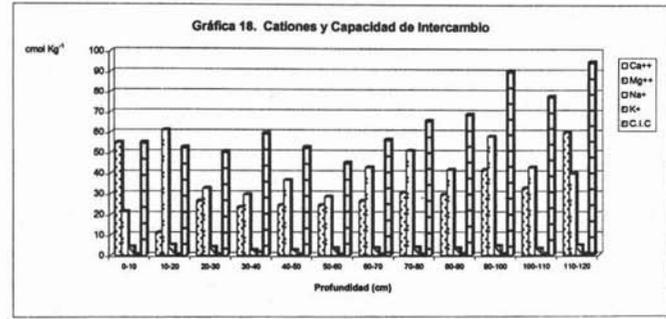
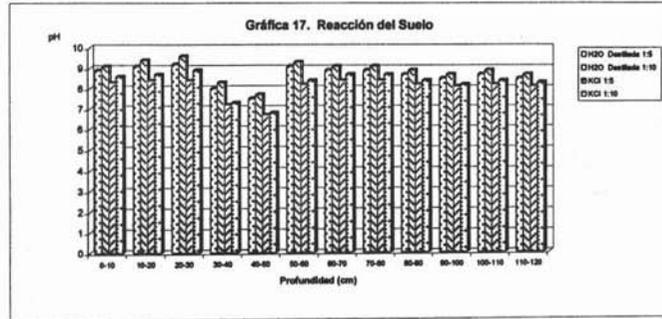
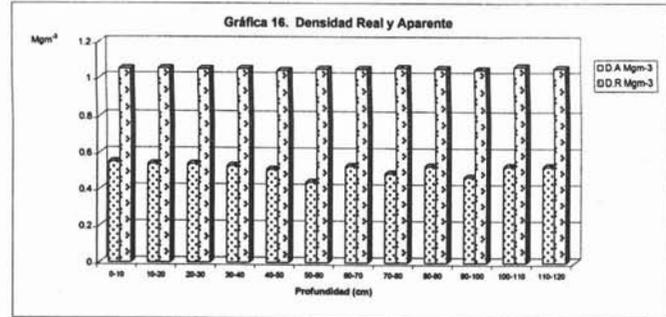
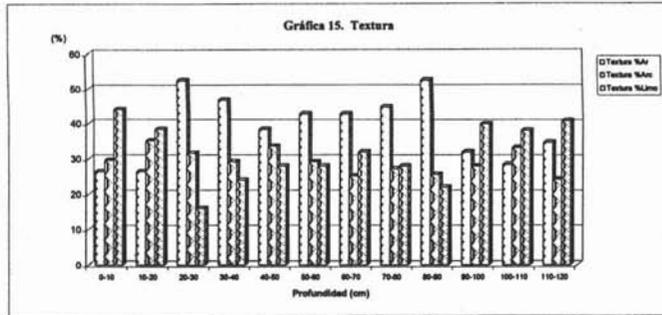
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 2. XOCHIMILCO, D.F.



CUADRO 5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 3. XOCHIMILCO, D.F.

Profundidad cm	Color		Textura			D.A	D.R	Porosidad	pH				M.O	C	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.I.C	P.S.I
	Seco	Húmedo	%Ar	%Limo	%Arc	Mgm <sup>-3</sup>	Mgm <sup>-3</sup>		%	H <sub>2</sub> O Destilada		KCl		%	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>					%
								1:5		1:10	1:5	1:10								
0-10	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	26.4	44.0 Migajón Arcilloso	39.6	0.55	1.05	47.6	8.9	9.1	8.3	8.6	10.1	5.8	55.1	21.4	4.4	0.6	55.2	7.8
10-20	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	26.4	38.4 Migajón Arcilloso	35.2	0.54	1.05	48.6	9.1	9.4	8.4	8.7	10.4	6.0	11.2	61.2	5.2	0.5	52.9	9.8
20-30	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	52.4	16.0 Migajón Arcilloso Arenoso	31.6	0.54	1.04	48.5	9.2	9.6	8.4	8.9	11.0	6.3	26.5	32.7	4.1	0.4	50.7	8.1
30-40	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	46.8	24.0 Migajón Arcilloso	29.2	0.53	1.05	49.5	8.0	8.3	7.2	7.3	15.3	8.8	23.5	29.6	2.6	1.5	59.8	4.3
40-50	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	38.4	28.0 Migajón Arcilloso	33.6	0.51	1.04	50.9	7.5	7.7	6.7	6.8	9.7	5.6	24.5	36.7	2.6	0.2	52.9	4.9
50-60	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	42.8	28.0 Migajón Arcilloso	29.2	0.44	1.04	58.0	9.1	9.3	8.2	8.4	18.9	10.9	24.5	28.6	3.6	0.2	45.3	7.8
60-70	10 YR 6/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	42.8	32.0 Franco	25.2	0.53	1.04	49.4	8.9	9.1	8.4	8.7	19.8	11.5	26.5	42.9	3.7	0.3	56.7	6.5
70-80	10 YR 3/1 Gris muy osc.	10 YR 2/1 Negro	44.8	28.0 Migajón Arcilloso	27.2	0.49	1.05	53.5	8.9	9.1	8.4	8.7	19.8	11.5	30.6	51.1	3.9	0.4	66.1	5.9
80-90	10 YR 3/1 Gris muy osc.	10 YR 2/1 Negro	52.4	22.0 Migajón Arcilloso Arenoso	25.6	0.53	1.05	49.5	8.7	8.9	8.2	8.4	23.1	13.4	29.6	41.8	3.4	0.5	69.3	5.0
90-100	10 YR 3/1 Gris muy osc.	10 YR 2/1 Negro	32.0	40.0 Migajón Arcilloso	28.0	0.47	1.04	54.9	8.5	8.7	8.1	8.2	39.2	22.7	41.8	58.2	4.5	0.6	90.7	5.0
100-110	10 YR 3/1 Gris muy osc.	10 YR 2/1 Negro	28.5	38.2 Migajón Arcilloso	33.3	0.53	1.06	50.0	8.7	8.9	8.2	8.4	27.1	15.7	32.7	42.9	3.3	0.6	78.2	4.1
110-120	10 YR 6/1 Gris muy osc.	10 YR 2/1 Negro	34.8	40.9 Franco	24.2	0.53	1.05	49.5	8.5	8.7	8.1	8.3	38.6	22.4	60.2	39.8	4.9	0.7	95.2	5.1

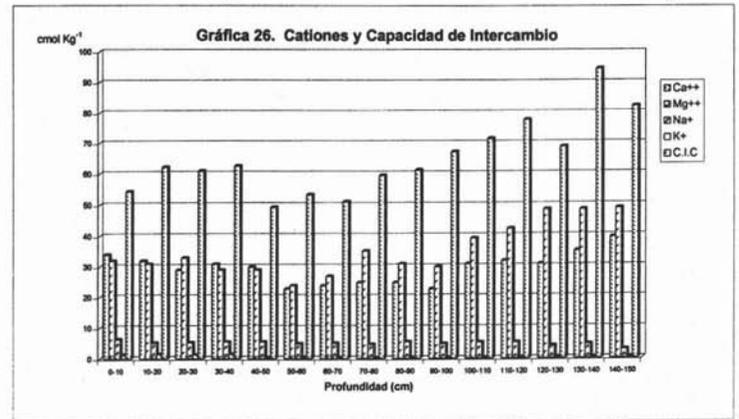
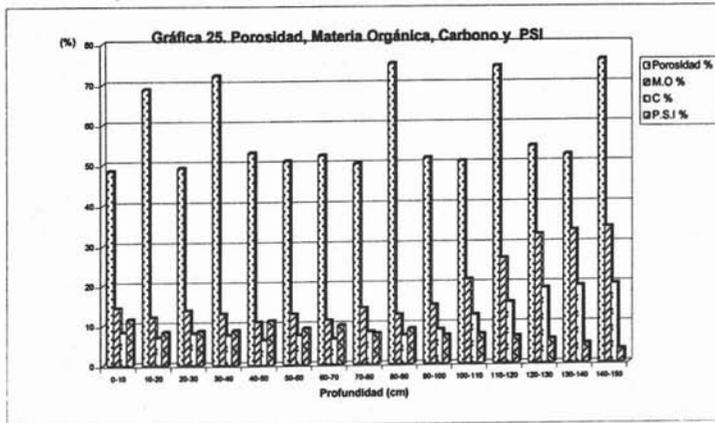
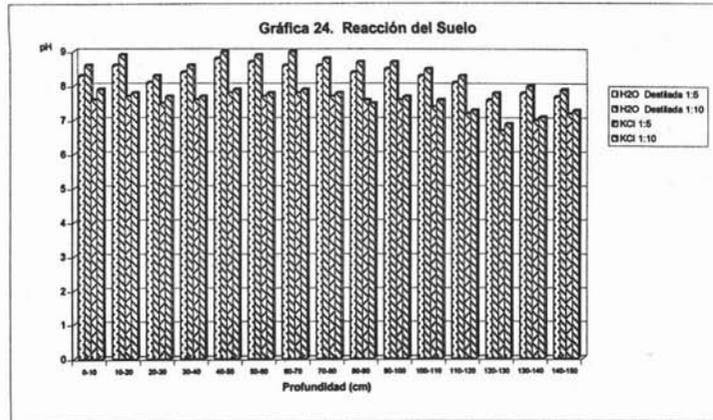
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 3. XOCHIMILCO, D.F.



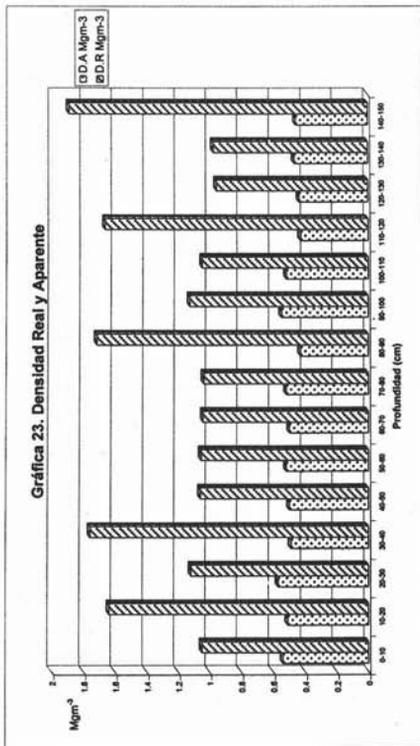
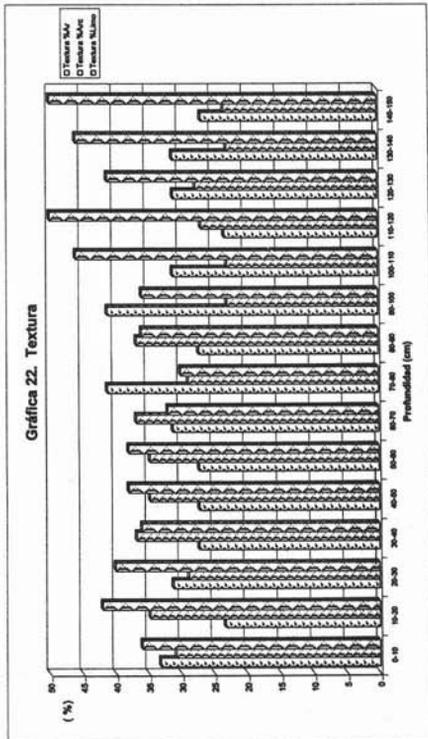
CUADRO 7. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 4. XOCHIMILCO, D.F.

Profundidad cm	Color		Textura			D.A	D.R	Porosidad	pH				M.O	C	Ca**	Mg**	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.I.C	P.S.I
	Seco	Húmedo	%Ar	%Limo	%Arc	Mgm <sup>-3</sup>	Mgm <sup>-3</sup>	%	H <sub>2</sub> O Destilada		KCl		%							
									1:5	1:10	1:5	1:10								
0-10	10 YR 8/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	33.2	36.0 Migajón Arcilloso	30.0	0.54	1.04	48.4	8.3	8.6	7.6	7.9	14.3	8.3	34.0	31.9	6.3	1.3	54.3	11.6
10-20	10 YR 8/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	23.2	42.0 Migajón Arcilloso	34.8	0.51	1.64	68.9	8.6	8.9	7.7	7.8	12.0	6.9	31.9	30.9	5.1	1.4	62.2	8.3
20-30	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	31.2	40.0 Migajón Arcilloso	28.8	0.57	1.12	49.1	8.1	8.3	7.5	7.7	13.6	7.9	28.9	32.9	5.2	1.2	61.0	8.5
30-40	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	27.2	36.0 Migajón Arcilloso	36.8	0.49	1.76	72.1	8.4	8.6	7.6	7.7	12.8	7.4	30.9	28.9	5.4	1.4	62.6	8.7
40-50	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	27.2	38.0 Migajón Arcilloso	34.8	0.50	1.06	52.8	8.8	9.0	7.8	7.9	10.7	6.2	29.9	28.9	5.4	0.3	49.3	11.0
50-60	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	27.2	38.0 Migajón Arcilloso	34.8	0.52	1.05	50.7	8.7	8.9	7.7	7.8	12.6	7.3	22.7	23.7	4.8	0.5	53.3	9.0
60-70	10 YR 8/1 Gris	10 YR 2/1 Negro	31.2	32.0 Migajón Arcilloso	36.8	0.50	1.04	52.1	8.6	9.0	7.8	7.9	11.0	6.4	23.7	26.8	5.0	0.1	51.1	9.7
70-80	10 YR 5/1 Gris	10 YR 2/1 Negro	41.2	30.0 Migajón Arcilloso	28.8	0.52	1.04	50.0	8.6	8.8	7.7	7.8	14.0	8.1	24.7	35.1	4.5	0.1	59.4	7.7
80-90	10 YR 5/1 Gris	10 YR 2/1 Negro	27.2	36.0 Migajón Arcilloso	36.8	0.43	1.72	75.0	8.4	8.7	7.6	7.5	12.3	7.1	24.7	30.9	5.4	0.1	61.2	8.8
90-100	10 YR 5/1 Gris	10 YR 2/1 Negro	41.2	36.0 Franco	22.8	0.55	1.13	51.3	8.5	8.7	7.6	7.7	14.6	8.5	22.7	29.9	4.7	0.1	67.1	7.1
100-110	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 3/1 Gris muy osc.	31.2	48.0 Franco	22.8	0.52	1.05	50.4	8.3	8.5	7.4	7.6	20.9	12.1	30.9	39.2	5.2	0.1	71.5	7.3
110-120	10 YR 8/1 Gris	10 YR 2/1 Negro	23.2	50.0 Migajón Arcilloso	26.8	0.43	1.67	74.2	8.1	8.3	7.2	7.3	26.2	15.2	31.9	42.3	5.2	0.1	77.7	6.7
120-130	10 YR 4/1 Gris osc.	10 YR 2/1 Negro	31.1	41.2 Migajón Arcilloso	27.6	0.44	0.96	54.1	7.6	7.8	6.7	6.9	32.2	18.6	30.9	48.5	4.1	0.3	68.8	6.0
130-140	10 YR 3/1 Gris muy osc.	10 YR 2/1 Negro	31.2	46.0 Migajón Arcilloso	22.8	0.47	0.98	52.0	7.8	8.0	7.0	7.1	33.2	19.2	35.1	48.5	4.5	0.2	94.5	4.8
140-150	10 YR 3/1 Gris muy osc.	10 YR 2/1 Negro	26.8	50.0 Franco	23.2	0.46	1.90	75.7	7.7	7.9	7.2	7.3	33.9	19.7	39.5	48.9	2.7	0.3	82.2	3.3

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 4. XOCHIMILCO, D.F.



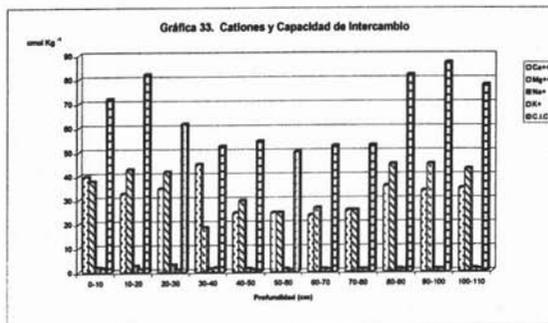
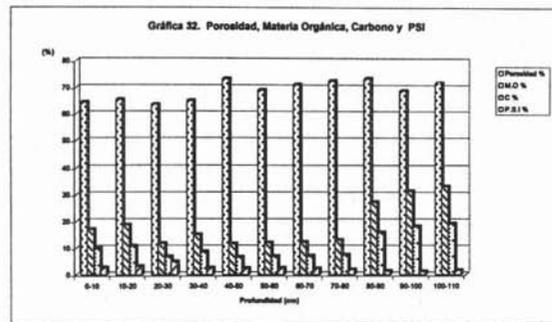
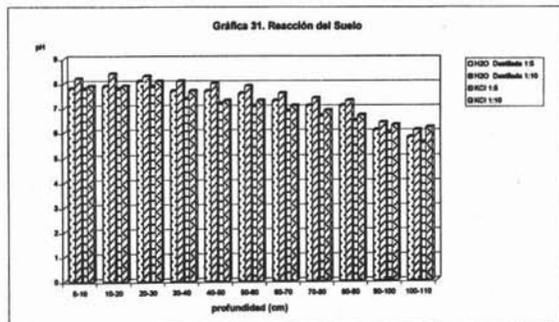
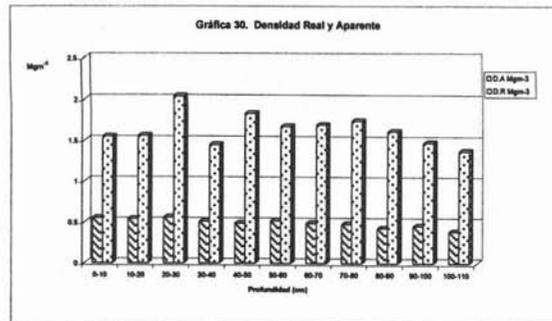
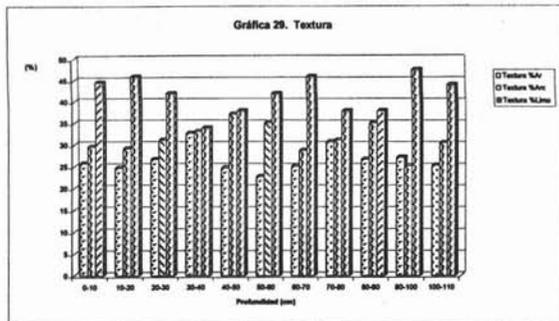
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 4, XOCHIMILCO, D.F.



CUADRO 9. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 5. XOCHIMILCO, D.F.

Profundidad cm	Color		Textura			D.A	D.R	Porosidad	pH				M.O	C	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.I.C	P.S.I
	Seco	Húmedo	%Ar	%Limo	%Arc	Mgm <sup>-3</sup>	Mgm <sup>-3</sup>	%	H <sub>2</sub> O Destilada		KCl		%	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>					%	
									1:5	1:10	1:5	1:10								
0-10	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 3/1 Gris muy osc.	26	44.6 Migajón Arcilloso	29.6	0.55	1.55	64.5	7.8	8.2	7.8	7.9	17.0	9.9	39.8	37.8	1.9	1.6	71.9	2.7
10-20	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	25	46.0 Migajón Arcilloso	29.2	0.54	1.56	65.5	7.9	8.4	7.8	7.9	18.7	10.8	32.6	42.8	2.6	1.1	82.0	3.1
20-30	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 3/1 Gris muy osc.	27	42.0 Migajón Arcilloso	31.2	0.56	2.04	63.7	8.1	8.3	7.9	8.1	11.8	6.8	34.7	41.8	3.0	0.7	61.6	4.9
30-40	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	33	34.0 Migajón Arcilloso	33.2	0.51	1.45	65.1	7.7	8.1	7.4	7.7	15	8.7	44.9	18.4	1.3	1.6	52.4	2.6
40-50	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	25	38.0 Migajón Arcilloso	37.2	0.49	1.84	73.4	7.7	8.0	7.2	7.3	11.6	6.7	24.5	29.6	1.3	0.7	54.5	2.3
50-60	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy osc.	23	42.0 Migajón Arcilloso	35.2	0.52	1.68	69.1	7.6	7.9	7.1	7.3	11.9	6.9	24.5	24.5	1.2	0.7	49.9	2.4
60-70	10 YR 5/1 Gris	10 YR 2/1 Negro	25	46.0 Migajón Arcilloso	28.8	0.49	1.7	71.2	7.3	7.6	6.9	7.1	12.3	7.1	23.5	26.5	1.2	0.8	52.5	2.3
70-80	10 YR 6/1 Gris	10 YR 2/1 Negro	31	38.0 Migajón Arcilloso	31.2	0.48	1.75	72.6	7.1	7.4	6.7	6.9	12.9	7.5	25.5	25.5	1.0	0.9	52.7	1.9
80-90	10 YR 3/1 Gris muy osc.	10 YR 2/1 Negro	27	38.0 Migajón Arcilloso	35.2	0.43	1.62	73.5	7.1	7.3	6.5	6.7	27.3	15.8	35.7	44.9	1.1	0.8	81.8	1.4
90-100	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	27	47.5 Franco	25.2	0.46	1.48	69.0	6.1	6.4	6.0	6.3	31.4	18.2	33.7	44.9	1.0	0.8	86.9	1.1
100-110	10 YR 6/1 Gris	10 YR 2/1 Negro	25	44.0 Migajón Arcilloso	30.6	0.39	1.38	71.8	5.8	6.1	5.6	6.2	33.1	19.2	34.7	42.8	1.3	0.8	77.6	1.6

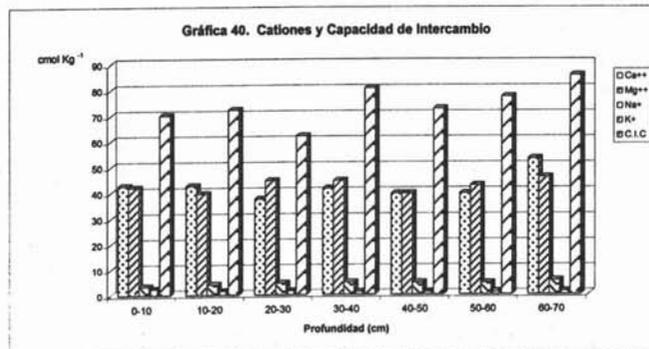
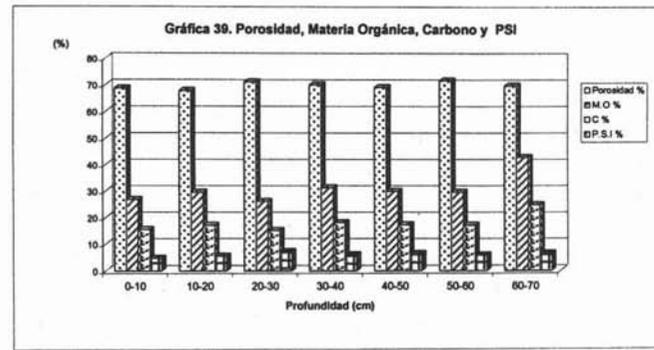
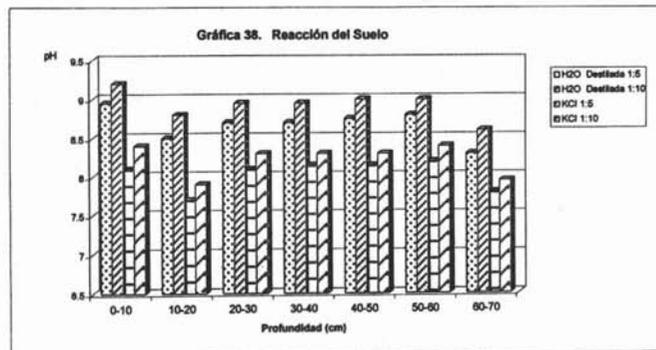
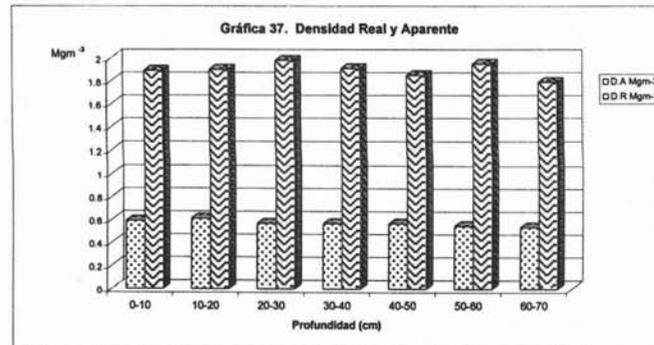
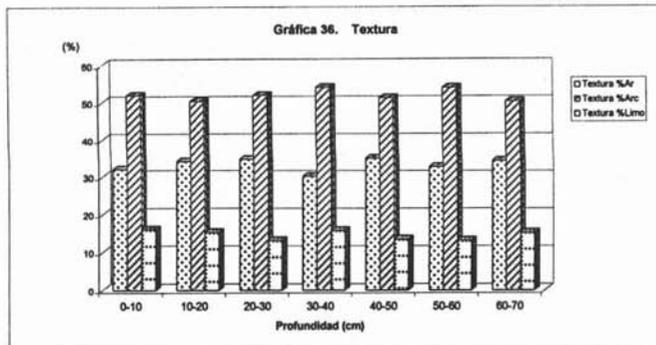
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 5. XOCHIMILCO, D.F.



CUADRO 11. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 6. XOCHIMILCO, D.F.

Profundidad cm	Color		Textura			D.A	D.R	Porosidad	pH				M.O	C	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.I.C	P.S.I
	Seco	Húmedo	%Ar	%Limo	%Arc	Mgm <sup>-3</sup>	Mgm <sup>-3</sup>	%	H <sub>2</sub> O Destilada		KCl		%	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>						
									1:5	1:10	1:5	1:10								
0-10	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	32.0	52.0	16.0	0.59	1.89	68.7	8.9	9.2	8.1	8.4	26.8	15.5	42.7	42.0	3.3	2.4	70.1	4.7
10-20	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	34.2	50.4 Franco Migajón	15.3	0.61	1.90	67.8	8.5	8.8	7.7	7.9	29.5	17.1	42.7	39.6	4.0	1.5	72.3	5.5
20-30	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	34.8	52.0 Limoso Migajón	13.2	0.57	1.98	71.2	8.7	8.9	8.1	8.3	26.1	15.1	37.5	44.7	4.5	1.5	62.0	7.2
30-40	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	30.2	54.1 Limoso Migajón	15.8	0.57	1.91	70.1	8.7	8.9	8.1	8.3	31.2	18.1	41.6	44.7	4.8	1.1	80.8	6.0
40-50	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	35.1	51.3 Limoso Migajón	13.5	0.57	1.85	69.1	8.7	9.0	8.1	8.3	29.9	17.3	39.6	39.6	4.6	1.0	72.7	6.4
50-60	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	32.8	54.0 Limoso Migajón	13.2	0.55	1.95	71.7	8.8	9.0	8.2	8.4	29.5	17.1	39.6	42.7	4.5	1.0	77.3	5.8
60-70	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	34.4	50.3 Limoso Migajón	15.3	0.54	1.79	69.8	8.3	8.6	7.8	7.9	42.8	24.8	53.1	45.8	5.5	1.2	85.6	6.4

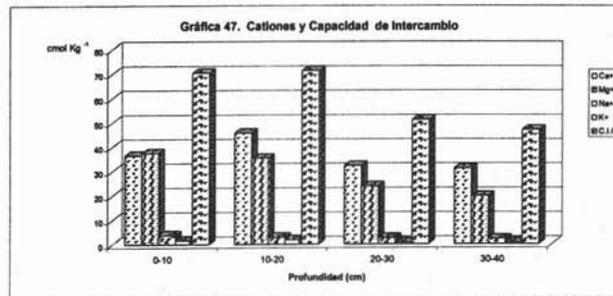
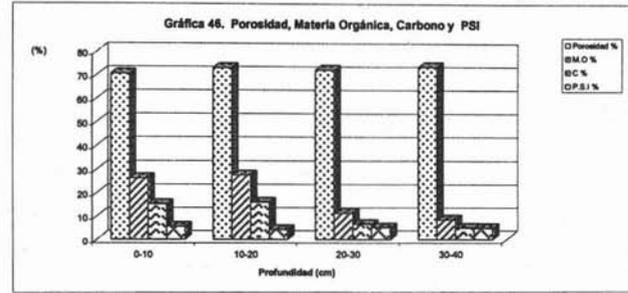
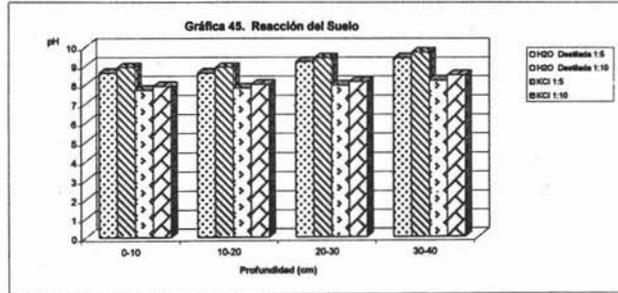
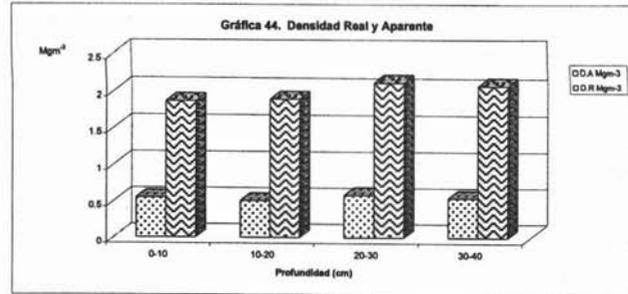
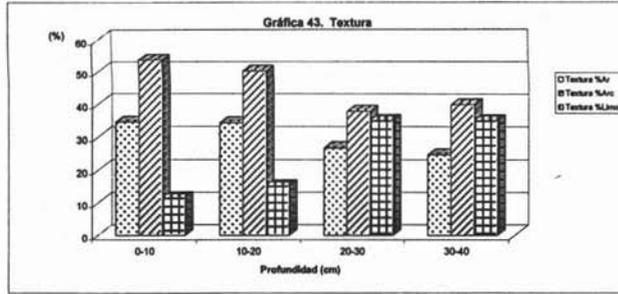
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 6. XOCHIMILCO, D.F.



CUADRO 13. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 7. XOCHIMILCO, D.F.

Profundidad cm	Color		Textura			D.A	D.R	Porosidad	pH				M.O	C	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.I.C	P.S.I
	Seco	Húmedo	%Ar	%Limo	%Arc	Mgm <sup>-3</sup>	Mgm <sup>-3</sup>	%	H <sub>2</sub> O Destilada		KCl		%	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>					%	
									1:5	1:10	1:5	1:10								
0-10	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 3/1 Gris muy oscuro	34.6	53.8	11.6	0.55	1.87	70.5	8.6	8.9	7.7	7.9	26.1	15.1	36.5	37.5	3.8	1.6	70.5	5.4
10-20	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 3/1 Gris muy oscuro	34.4	50.3	15.3	0.51	1.90	73.1	8.6	8.9	7.8	8.0	27.5	15.9	45.8	35.4	2.9	1.8	71.4	4.1
20-30	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy oscuro	26.8	38.0	35.2	0.59	2.13	72.3	9.2	9.4	7.9	8.1	11.2	6.5	32.3	23.9	2.8	0.7	51.2	5.0
30-40	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 3/1 Gris muy oscuro	24.8	40.0	35.2	0.55	2.09	73.6	9.4	9.7	8.2	8.5	8.4	4.9	31.2	19.8	2.2	0.7	47.0	4.7

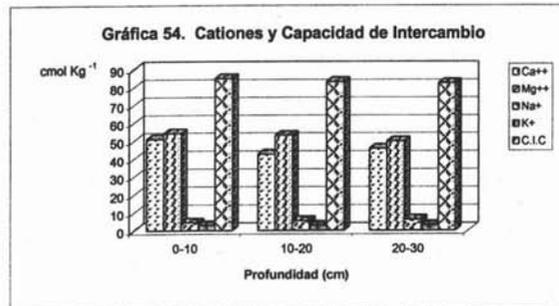
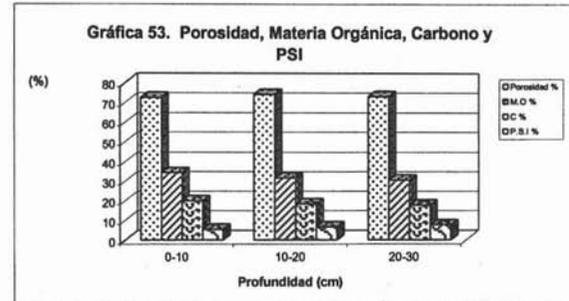
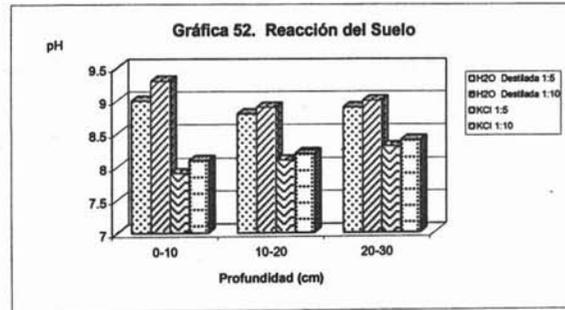
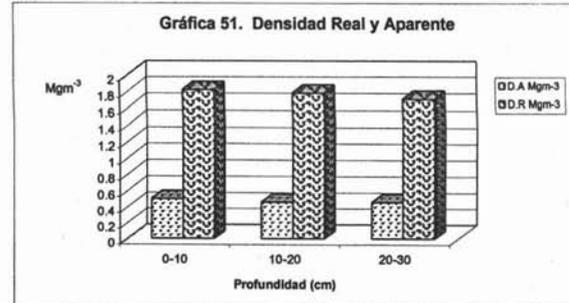
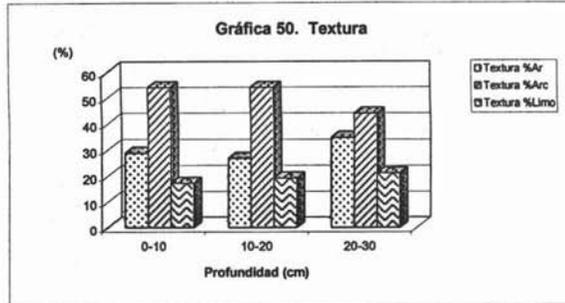
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 7. XOCHIMILCO, D.F.



CUADRO 15. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 8. XOCHIMILCO, D.F.

Profundidad cm	Color		Textura			D.A	D.R	Porosidad	pH				M.O	C	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	C.I.C	P.S.I
	Seco	Húmedo	%Ar	%Limo	%Arc	Mgm <sup>-3</sup>	Mgm <sup>-3</sup>	%	H <sub>2</sub> O Destilada		KCl		%	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>						
									1:5	1:10	1:5	1:10								
0-10	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	28.8	54.0 Migajón Limoso	17.2	0.50	1.82	72.5	9.0	9.3	7.9	8.1	34.3	19.9	51.0	54.2	4.5	2.8	85.0	5.3
10-20	10 YR 4/1 Gris oscuro	10 YR 2/1 Negro	26.8	54.0 Migajón Limoso	19.2	0.46	1.78	74.1	8.8	8.9	8.1	8.2	31.6	18.3	42.7	53.1	5.5	2.8	83.2	6.6
20-30	10YR 4/1 Gris oscuro	10YR 2/1 Negro	34.8	44.0 Franco	21.2	0.46	1.71	73.0	8.9	9.0	8.3	8.4	30.5	17.7	45.8	49.9	6.2	3.1	82.4	7.5

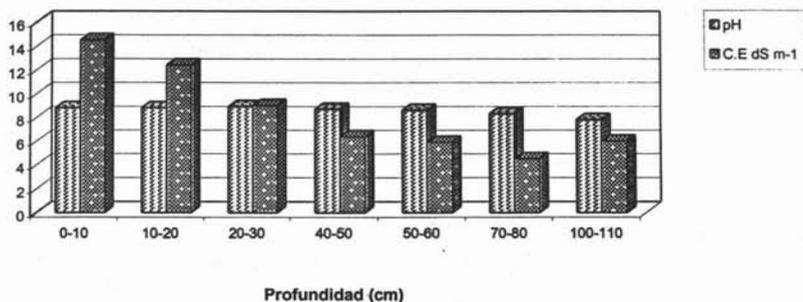
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALICATA 8. XOCHIMILCO, D.F.



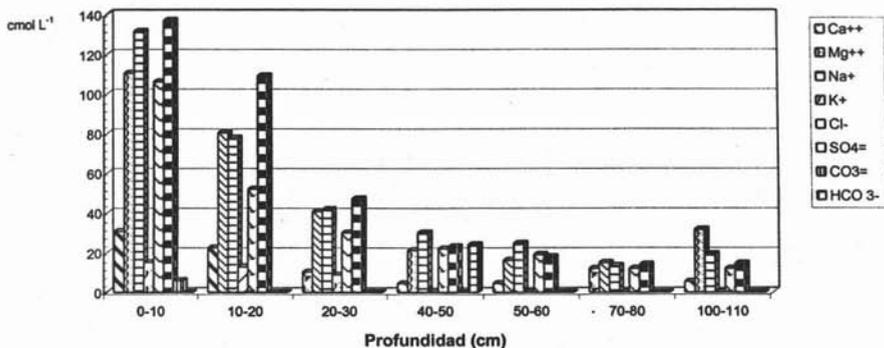
**CUADRO 2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LA CALICATA 1. XOCHIMILCO, D.F.**

Prof. cm	pH	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		dS m <sup>-1</sup>	cmol L <sup>-1</sup>							
0-10	8.8	14.5	30.8	110.4	131.6	15.1	106.0	137.0	6.0	52.0
10-20	8.8	12.4	22.5	80.4	77.8	12.9	52.0	109.0	8.0	42.0
20-30	8.9	9.0	10.4	40.8	41.8	8.9	30.0	47.1	4.0	34.0
40-50	8.7	6.4	4.6	21.2	30.0	0.4	22.0	23.1	3.0	24.0
50-60	8.6	5.9	4.6	16.2	24.6	0.2	19.0	17.9	1.0	26.0
70-80	8.3	4.5	12.1	14.9	13.4	0.1	12.0	14.5	1.0	22.0
100-110	7.8	6.0	5.4	31.6	19.2	0.2	12.0	14.5	0.0	25.0

**Gráfica 6. pH y C.E. Calicata 1**



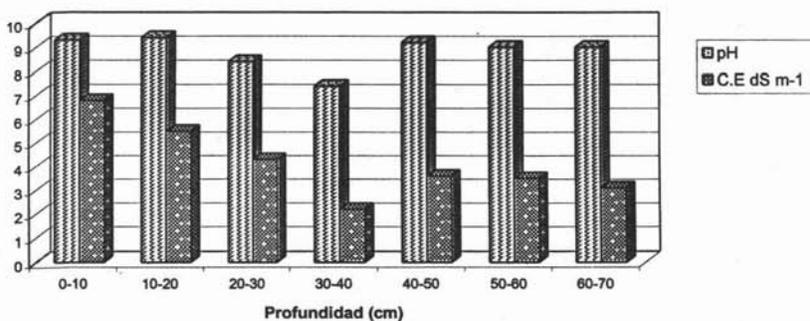
**Gráfica 7. Iones Solubles. Calicata 1**



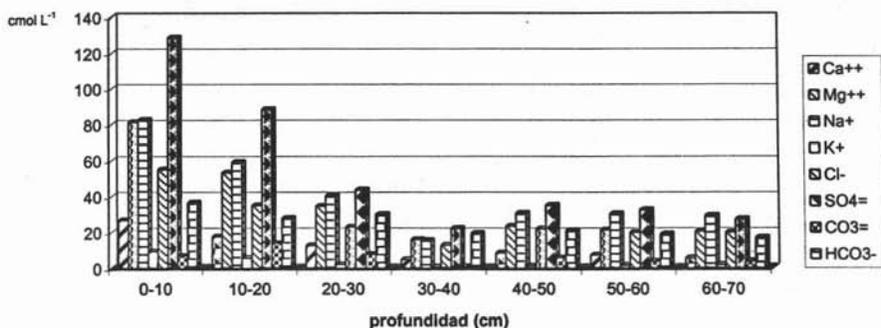
**CUADRO 4. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LA CALICATA 2. XOCHIMILCO, D.F.**

Prof. cm	pH	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		dS m <sup>-1</sup>	cmol L <sup>-1</sup>							
0-10	9.3	6.8	26.8	81.2	82.6	9.5	55.0	128.5	7.0	36.5
10-20	9.4	5.5	17.7	53.2	59.1	5.7	35.0	88.2	14.0	28.0
20-30	8.4	4.3	12.8	34.6	40.4	2.1	23.0	43.6	8.0	30.0
30-40	7.4	2.2	4.9	16.1	15.7	0.7	13.0	22.2	1.0	19.5
40-50	9.2	3.6	8.7	23.5	30.7	1.3	22.0	35.1	6.0	21.0
50-60	9.0	3.5	7.4	21.4	30.4	1.7	20.0	32.5	4.0	19.0
60-70	9.0	3.1	5.8	20.6	29.3	1.9	20.0	27.4	4.0	17.0

**Gráfica 13. pH y C.E de la Calicata 2**



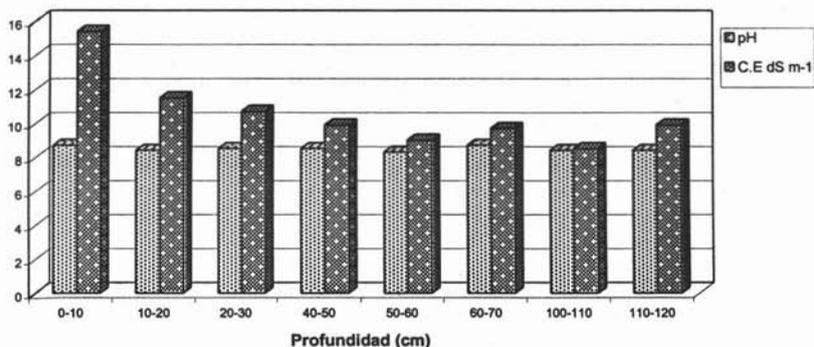
**Gráfica 14. Iones Solubles de la Calicata 2**



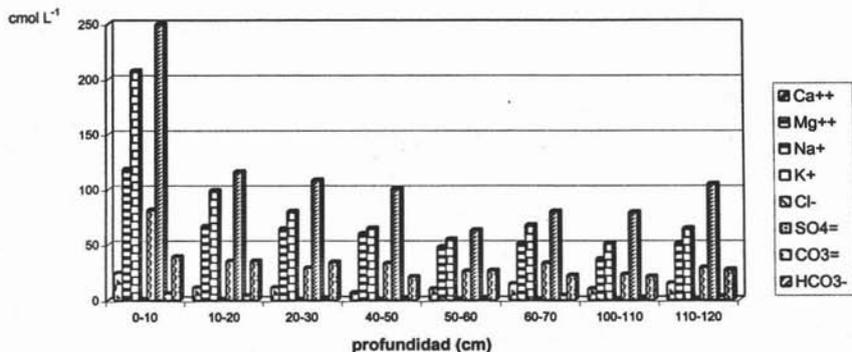
**CUADRO 6. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LA CALICATA 3. XOCHIMILCO, D.F.**

Prof. cm	pH	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		dS m <sup>-1</sup>	cmol L <sup>-1</sup>							
0-10	8.7	15.4	24.6	118.3	207.3	0.05	81.0	249.3	6.0	39.0
10-20	8.4	11.5	11.2	66.7	98.7	0.02	35.0	115.7	4.0	35.0
20-30	8.5	10.7	11.2	64.2	79.8	0.01	29.0	108.0	2.0	34.0
40-50	8.5	9.9	6.7	59.6	64.6	0.02	33.0	100.2	2.0	21.0
50-60	8.3	9.0	10.0	47.9	54.5	0.02	26.0	62.5	2.0	26.5
60-70	8.7	9.7	14.6	51.2	67.3	0.01	33.0	79.7	4.0	22.0
100-110	8.4	8.5	10.0	37.1	51.1	0.02	23.0	78.8	2.0	21.0
110-120	8.4	9.9	15.0	51.2	64.3	0.03	29.0	104.5	3.0	27.0

**Gráfica 20. pH y C.E. Calicata 3**



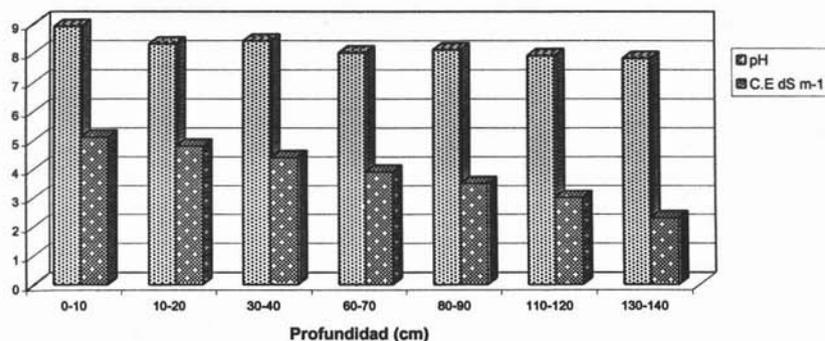
**Gráfica 21. Iones Solubles Calicata 3**



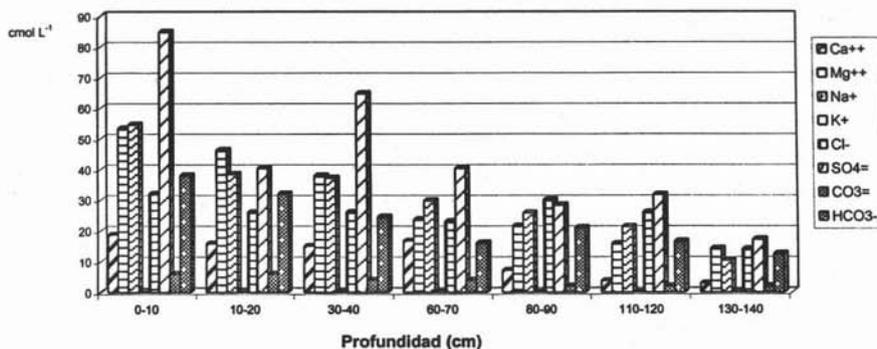
**CUADRO 8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LA CALICATA 4. XOCHIMILCO, D.F.**

Prof. cm	pH	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		dS m <sup>-1</sup>	cmol L <sup>-1</sup>							
0-10	8.9	5.1	18.7	53.3	54.5	0.3	32.0	84.8	6.0	38.0
10-20	8.3	4.8	15.8	46.2	38.4	0.3	26.0	40.3	6.0	32.0
30-40	8.4	4.4	15.0	37.9	37.2	0.3	26.0	64.7	4.0	24.5
60-70	8.0	3.9	16.7	23.7	29.7	0.03	23.0	40.3	4.0	16.0
80-90	8.1	3.5	7.1	21.6	25.8	0.02	30.0	28.3	2.0	21.0
110-120	7.9	3.0	3.7	15.8	21.3	0.02	26.0	31.7	2.0	16.5
130-140	7.8	2.3	2.9	14.2	10.3	0.03	14.0	17.1	2.0	12.5

**Gráfica 27. pH y C.E. Calicata 4**



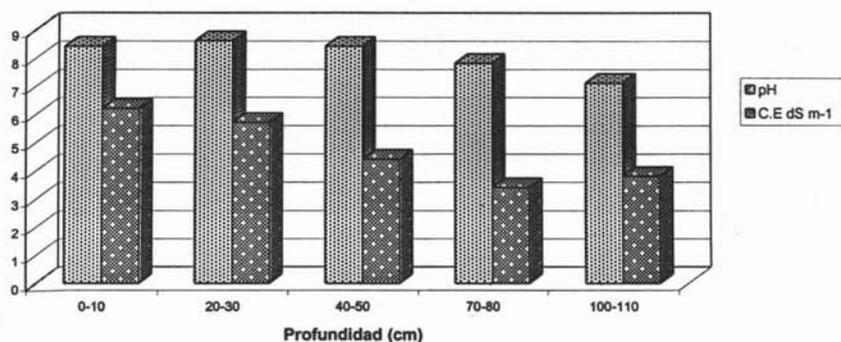
**Gráfica 28. Iones Solubles. Calicata 4**



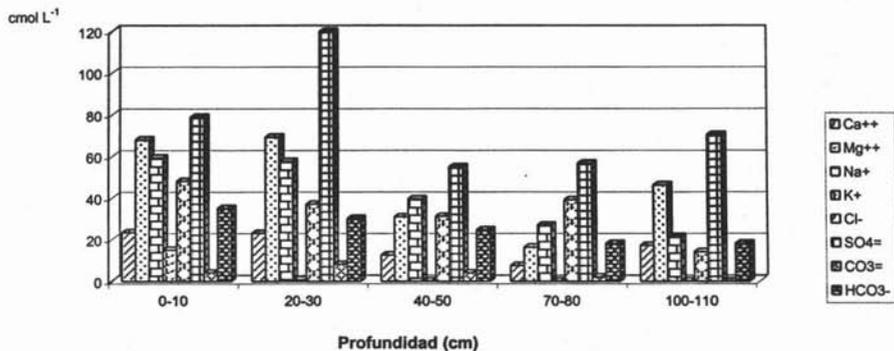
**CUADRO 10. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LA CALICATA 5. XOCHIMILCO, D.F.**

Prof. cm	pH	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		dS m <sup>-1</sup>	cmol L <sup>-1</sup>							
0-10	8.4	6.2	23.3	67.9	59.2	14.8	48.0	78.8	4.0	35.0
20-30	8.6	5.7	22.9	69.2	57.5	0.61	37.0	119.9	8.0	30.0
40-50	8.4	4.4	12.5	30.8	39.5	0.04	31.0	54.8	4.0	24.5
70-80	7.8	3.4	7.5	16.2	26.8	0.05	39.0	56.6	2.0	18.0
100-110	7.1	3.8	17.1	46.2	21.3	0.11	14.0	70.3	0.0	18.0

**Gráfica 34. pH y C.E. Calicata 5**



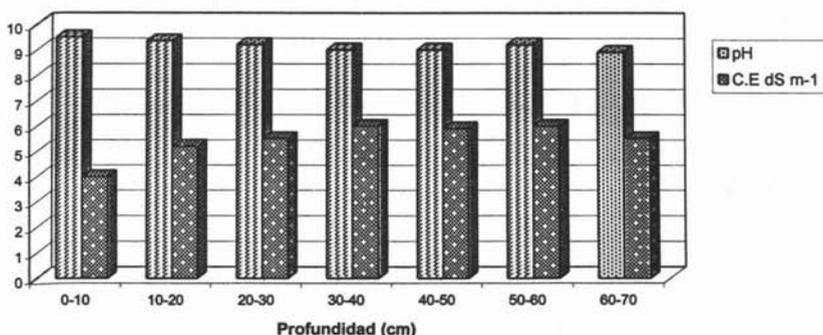
**Gráfica 35. Iones Solubles. Calicata 5**



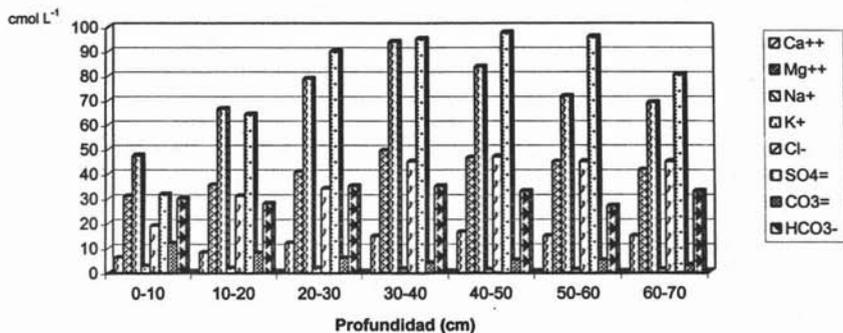
**CUADRO 12. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LA CALICATA 6. XOCHIMILCO, D.F.**

Prof. cm	pH	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		dS m <sup>-1</sup>	cmol L <sup>-1</sup>							
0-10	9.5	4.0	6.1	30.9	47.3	2.6	19.0	31.7	12.0	30.0
10-20	9.3	5.2	8.2	35.5	66.5	1.9	31.0	64.2	8.0	28.0
20-30	9.2	5.5	11.9	40.8	78.8	1.8	34.0	89.9	6.0	35.0
30-40	9.0	6.0	14.8	49.5	93.9	1.5	45.0	95.1	4.0	35.0
40-50	9.0	5.9	16.4	46.5	83.6	1.2	47.0	97.6	5.0	33.0
50-60	9.2	6.0	14.8	44.9	71.7	1.2	45.0	95.9	5.0	27.0
60-70	8.9	5.5	14.8	41.6	69.1	1.2	45.0	80.5	3.0	33.0

**Gráfica 41. pH y C.E. Calicata 6**



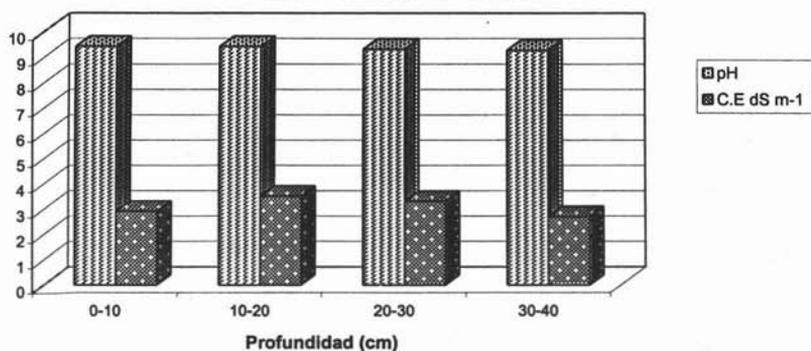
**Gráfica 42. Iones Solubles. Calicata 6**



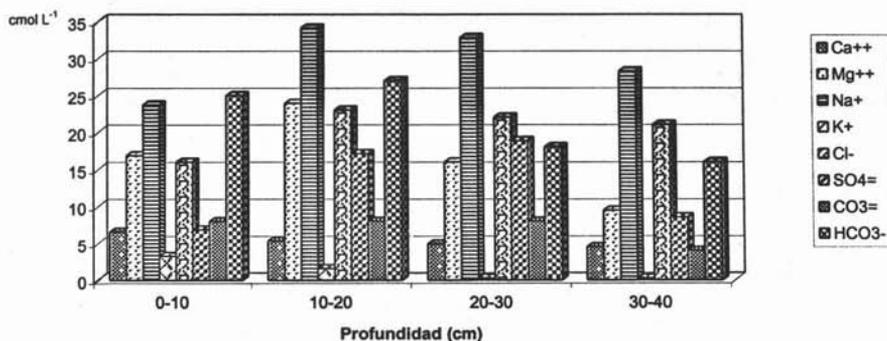
**CUADRO 14. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LA CALICATA 7. XOCHIMILCO, D.F.**

Prof. cm	pH	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		dS m <sup>-1</sup>	cmol L <sup>-1</sup>							
0-10	9.4	2.9	6.6	16.9	23.7	3.26	16.0	6.8	8.0	25.0
10-20	9.4	3.5	5.4	23.9	34.1	1.50	23.0	17.1	8.0	27.0
20-30	9.3	3.3	4.9	16.0	32.8	0.28	22.0	18.8	8.0	18.0
30-40	9.2	2.7	4.5	9.4	28.2	0.25	21.0	8.5	4.0	16.0

**Gráfica 48. pH y C.E. Calicata 7**

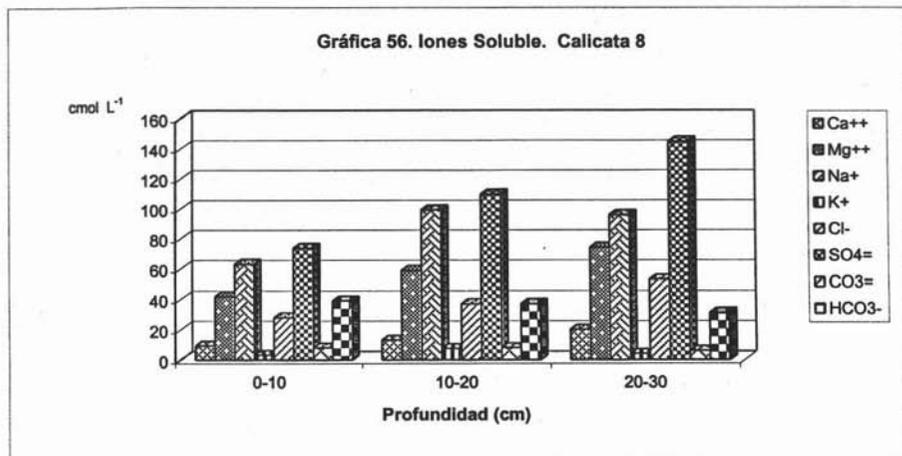
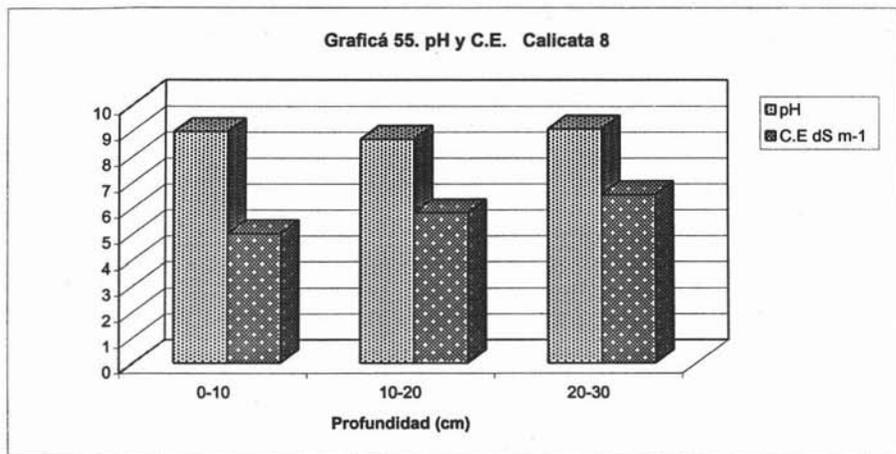


**Gráfica 49. Iones Solubles. Calicata 7**



CUADRO 16. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LA CALICATA 8. XOCHIMILCO, D.F.

Prof. cm	pH	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		dS m <sup>-1</sup>	cmol L <sup>-1</sup>							
0-10	8.9	5.0	9.4	42.0	63.1	3.2	28.0	73.6	8.0	39.0
10-20	8.6	5.8	13.2	58.9	99.1	7.5	37.0	109.6	8.0	37.0
20-30	9.0	6.5	20.2	74.2	95.8	4.0	53.0	144.8	6.0	31.0



### VIII. CONCLUSIONES

1. Todas las chinampas analizadas corresponden a suelos salinos según la USDA (1982), presentan pH mayor de 8.5, C.E mayores a 4 dS m<sup>-1</sup> y PSI menores de 15%.
2. Las calicatas 1 y 3 presentan CE de 14.5 y 15.4 dS m<sup>-1</sup> respectivamente y PSI menores de 15%, por lo que se consideran suelos fuertemente salinos y ligeramente sódicos, según Pizarro (1978).
3. Las calicatas 2,4,5,6 y 8 con CE mayores a 4 dS m<sup>-1</sup> y PSI menores a 15% fueron ubicadas según Pizarro (1978), como suelos medianamente salinos y ligeramente sódicos.
4. La calicata 7 por su CE menor a 4 dS m<sup>-1</sup> y PSI menor a 15% se ubica como un suelo ligeramente salino y ligeramente sódico, según Pizarro (1978).
5. El pH de estos suelos es alcalino y el contenido de materia orgánica oscila entre el 13 y 32%. La CIC registra valores altos (45 a 83.5 cmol Kg<sup>-1</sup>) dependientes de los contenidos de materia orgánica y arcilla, con tendencia a incrementar conforme aumenta la profundidad; excepto en la calicata 7 y 8.
6. Los cationes intercambiables dominantes en el complejo de intercambio son el calcio(28 y 46.5 cmol Kg<sup>-1</sup>) y el magnesio(29 y 52.4 cmol Kg<sup>-1</sup>) mientras que el Na<sup>+</sup> intercambiable (0.5 y 5.4 cmol Kg<sup>-1</sup>) y potasio intercambiable (0.5 y 4.0 cmol Kg<sup>-1</sup>) fueron de menores contenidos.
7. La abundancia de iones solubles mostró la siguiente serie: Na<sup>+</sup> > Mg<sup>++</sup>, >Ca<sup>++</sup> y K<sup>+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-</sup> > Cl<sup>-</sup> >HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, todos con tendencia a disminuir su concentración conforme aumento la profundidad.
8. La fertilidad de los suelos de chinampa genera un alto potencial para la agricultura y el desarrollo vegetal, por las texturas francas, las altas concentraciones de materia orgánica, los porcentajes de porosidad, los niveles de calcio y magnesio y la alta capacidad de intercambio catiónico que poseen, sin embargo; el bajo contenido de potasio, el presentar problemas de salinidad y/o sodicidad aunado en algunos casos a los altos porcentajes de arcilla que impiden una buena permeabilidad e infiltración, afectan el rendimiento de los cultivos.
9. Los altos porcentajes de materia orgánica en los suelos chinamperos actúan como amortiguador del efecto nocivo de las sales y conservan una buena productividad.
10. El manejo antrópico en los suelos chinamperos contribuye a la distribución irregular de los contenidos de nutrientes y sales, así como; de sus propiedades físicas y químicas.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, L.S. 1972. *Monografía histórica de Xochimilco*. D.D.F. México.
- Aceves, N.E. 1979. *El Ensalitramiento de los Suelos Bajo Riego*. Colegio de Posgraduados. UACH. México.
- Aceves, N.L. 1981. *Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación*. UACH. México. 203 pp.
- Aguilera, H.N. 1989. *Tratado de Edafología de México*. Tomo I. Fac. de Ciencias. UNAM. México.
- Aguilera, H.N. et al. 1985-1993. *Rehabilitación de suelos de chinampa y sus relaciones con las plantas cultivadas*. I, II, II, IV y V. Informes Trabajo al CONACYT. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- Aguilera, H.N. y Fuentes, C.E. 1951. *Estudio físico químico y espectroscópico de la fracción arcilla de 2 micrones de suelos de Xochimilco*. Revista Soc. Mex. Historia Natural Tomo XII No. 2: 101 – 118 pp.
- Allison, L.E.; Richards, L.A. et al. 1982. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salino-sódicos*. USDA. Limusa. México. 172 pp.
- Armillas, P. 1971. *Gardens on swamps*. Science. Vol. 17:653-661. USA.
- Bastida, A. y Maciel, I. 1986. *Estudio físico-químico y electromicroscópico de Xochimilco*. Tesis de Maestría en Ciencias. Fac. Filosofía y Letras. UNAM. México.
- Bautista, Z.F. 1988. *Algunos estudios edafológicos en San Gregorio Atlapulco, Xochimilco*, D.F. Tesis de Lic. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- Becerril, R.G. y Díaz, L.I.F. 1993. *Las Chinampas de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco*, D.F. Tesis Lic. Biol. Fac. Ciencias. UNAM. 79 pp.
- Bouyocus, G.W. 1951. *Directions for marking mechanical analysis of soil by hidro meter method*. Soil Sci. 42::25-35 pp.
- Bower, C.A. y Huss, R.B. 1948. *Rapid condumetric method for estimating gypsum in soil*. Soil Sci. 66: 199-204 pp.
- Carta Urbana Delegación Xochimilco. 1986-1987. Dirección General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica. México.

Chávez, C.M.A. 2000. *Caracterización física y química de algunas calicatas de San Nicolás Tetelco en la Delegación de Tláhuac y Xochimilco, D.F.* Tesis de Lic. Fac. Ciencias. UNAM. México.

Cheng, K.L. y Bray, R.N. 1951. *Determination of calcium and magnesium in soil and plant material.* Soil Sci. 72: 449 – 458 pp.

Coe, D.M.1971. *Las Chinampas de México.* (Traducción de José A. Turriza Z.) Dpto. Economía Agrícola. ENA, UACH. México.

Dixon, J.B. and Weed, S.B. 1989. *Minerals in soil environments. Chapter 6. Carbonate, halide and sulfide minerals.* Second Edition. Soil Society of American Book series. Madison. Wisconsin. USA. 279 – 323 pp.

D.D.F. 1989. *Rescate Ecológico de Xochimilco.* Xochimilco. D.D.F. México.

DETENAL. 1978. *Carta Geológica.* E14-A39. Cd. México. Esc. 1:250000

Domínguez, R.V.I. y Aguilera, H.N. 1984. *Metodología de análisis físico-químicos de suelos.* Lab. de Inv. de Edafología. Fac. Ciencias. UNAM. México.

FAO, UNESCO- ISRIC. 1988. *Mapa mundial de suelos.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Fassbender, H-W. 1986. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina.* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. Costa Rica. 385 pp.

Fernández, Q.M.C. 1988. *Manejo y recuperación de suelos salino – sódicos en chinampas de Xochimilco, D.F.* Tesis de Lic. Biol. Fc. Ciencias. UNAM. México.

Foth, H.D. 1978. *Fundamentals of soil science.* John Willey and Son. Inc. University of Michigan State. USA. 30 – 315 pp.

Galicia, P. M.S. 1990. *Efecto de un mejorador mineral en suelos de chinampa de Tláhuac, D.F., cultivando Brassica oleracea variedad cauliflora.* Tesis Maestría en Ciencias. Fac. Ciencias. UNAM. México.

García C.N.E; Galicia S; Aguilera H.N. y Reyes O. L. 1994. *Organic matter and humic substances contents in chinampa soils from Xochimilco- Tláhuac Areas (México).* In: 15 th World Congress of Soil Science. Acapulco. México. Vol. 3: Symposium ID.-12 pp: 368-383.

García, E. 1988. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen.* 2ª. Edic. UNAM. México. 217 pp.

Gómez, P.A. 1982. *Experiencias in Traditional Hydraulic Agriculture Maya Subsistence.* Academic Press. USA.

- González, M.A.; Acosta, S.G.; Duffing, E.; Gómez-Farías, G.V.; Ortiz, M.E.A. 1990. *Plan para la Regeneración Ecológica y el Desarrollo Regional de la Cuenca Hidrológica de Xochimilco*. Grupo de Estudios Ambientales A.C. México.
- Ibañez, H.A. 1993. *Efecto de algunos mejoradores biológicos nuevos en suelos de chinampas de Tláhuac, D.F. con problemas de salinidad y sodicidad en cultivos de Spinacea oleracea variedad híbrido cascade*. Tesis Lic. Biología. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- INEGI. 1986. *Ciudad de México, carta efectos climáticos noviembre a abril, escala 1:250000*. SSP. México.
- ISRIC - FAO. 2002. *Procedures for soil analysis*. 6ª. Ed. Roma, Italia.
- Jackson, L.M. 1972. *Análisis químicos de suelos*. Ed. Omega. Barcelona, España. 662 pp.
- Jiménez-Osornio, J.J; Rojas, R.T; Del Amo, R.S; Gómez Pompa, A. 1990. *Presente, Pasado y Futuro de las chinampas. Sostenibilidad Maya*. Vol. 1. México.
- López, R.E. 1981. *Geología de México*. Tomo II. Inst. de Geol. UNAM. México. 30-34 pp.
- Lot, H. y Quiroz, F.A. 1979. *La Chinampa, un sistema agrícola que utiliza plantas acuáticas*. J. Acuac. Plant. Manage. 173 pp.
- Marschner, H. 1989. *Mineral Nutrition of higher plants*. Academic Preess. London. 510-542 pp.
- Martin del Pozo, A.L. 1985. *La formación geológica en el Valle de México*. Radio UNAM. Dirección General de Proyectos Académicos. México.
- Medina, V.J. 1993. *Estudio edafológico de una chinampa de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, D.F. y de algunos terrenos colindantes con la delegación de Tláhuac*. Tesis. Lic. Biol. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- Mendoza, R.M. 1961. *Informe sobre la geología de la Delegación Xochimilco*. Tesis de Maestría. Fac. Filosofía y Letras. UNAM. México.
- Mercado, S.I. 1993. *Respuesta de un suelo salino sódico de San Luis Tlaxialtemalco, D.F. a la aplicación de mejoradores biológico, químico e hidrotécnico a nivel invernadero*. Tesis de Maestría. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- Mercado, S.I. García, N.E. Aguilera, H.N. 1993. *Caracterización de la fracción orgánica en suelos de chinampa de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco*. Resúmenes del Primer Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco. México, D.F.
- Mooser, F. 1961. *Informe sobre la geología de la Cuenca del Valle de México y Zonas Colindantes*. Sría. Rec. Hidráulicos. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. 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.
- Novelo, R.A. y Gallegos, M.N. 1988. *Estudio de la Flora y Vegetación Acuática relacionada con el sistema de Chinampas en el Sureste del Valle de México*. *Biótica*, 13(2): 121-129 pp. México.
- Ortega, R. 1986. *Las chinampas en Xochimilco, Presente, Pasado y Futuro*. *Biología*. Vol. 15 No. 14 1985-1986.
- Ortega, T.E. 1978. *Química de suelos*. UACH. Patena A.C. México. 152 pp.
- Ortiz, V.B. y Ortiz, S.C. 1990. *Edafología*. Dpto. de suelos. UACH. Tex. Edo. Mex. México. 390 pp.
- Porta, C.J; López, A.M. y Roquero, L. C. 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi Prensa. Madrid. España. 678 pp.
- Pizarro, F. 1978. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Agrícola Española. Madrid.
- Quiroz, F.A. 1981. *Ninfáceas indicadoras del contenido de fósforo asimilable en los sedimentos*. *Biótica*. 6 (1): 99-100.
- Ramos, B.R; Cajuste, L.J.; Flores, R. D.; García, C. N. 2001. " *Metales pesados sales y sodio en suelos de Chinampa en México* ", *Agrociencia* 35, 385-395.
- Ramos, B, R.; García, C. N.E.; Andrade, E.; Solís, C.; Murillo, G.; Rocha, M. 2002. " *Multielemental Analysis By Pixe of Chinampa Soils in Mexico City* " *International Journal of PIXE*, Vol. 12, Nos. 3 and 4.
- Reyes O., A. 1997. *Investigación sobre los coloides organominerales en suelos de Xochimilco y su relación con cultivos florícolas*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Reyes O., A. L., N. Aguilera H y N. García C. 1997. " *Caracterización de complejos arcilla-humus y su efecto en el desarrollo de cultivos florícolas ( Antirrhinum majus L.)* ". *Edafología. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*. 3(1): 161-169.
- Reyes O, A,L; García, C.N. 2002. " *Evolución de las fracciones húmicas de suelos en la zona chinampera de la Ciudad de México* ", *Terra Latinoamericana*: 289-298.
- Rojas,T. 1983. *La Agricultura Chinampera, Compilación Histórica*. UACH. Texcoco, Edo. de México.

- Rojas R. T. 1984. *La tecnología indígena de construcción de chinampas en la Cuenca de México*. México, D.F.
- Rojas, R.T. 1990. *Chinampas: un legado*. México Indígena. 6: 42-45.
- Ruiz, B.A. y Ortega, T.E. 1979. *Prácticas de laboratorio de química de suelos*. Dpto. de suelos. UACH. Tex. Edo. Mex. México. 5-70 pp.
- Tamhane, R.V. 1986. *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales*. Diana. México. 483 pp.
- Tan, K.H. Mundgal, V.G. y Leonard, R.T. 1975. *Absortion of poultry litter extracts by soil and clay*. Env. Sci y Techno. 9: 132-135 pp.
- Tisdale, S.L. 1988. *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Uteha. México. 760 pp.
- Thompson, F.R. 1982. *Los suelos y su fertilidad*. Reverté. España. 649 pp.
- Valdez, M.G. 1995. *Recuperación de un suelo salino- sódico en una chinampa de la Laguna del Toro, Xochimilco, D.F.* Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM México.
- Vallejo, A.C. 1992. *Contaminación en algunas calicatas en San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco*. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- Vela, C.G. 1996. *Alternativas del uso del suelo en la zona lacustre de Tláhuac, D.F.* Tesis de Maestría. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- Villafañe R. 1988. *Diseño Agronómico del Riego*. Dpto. de Ing. Agrícola. Fac. Agronomía. Univ. Central de Venezuela, Maracay. 147 pp.
- Walkey, A. and Black, I.A. 1947. *An examination of the deghareff method for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid tritration method*. Soil Sci. 37: 29 – 38 pp.
- West, R.C. y Armillas. 1950. *Las chinampas de México: Poesía y realidad de los jardines flotantes*. Cuadernos Americanos 50: 165-182.
- Whiters, B. y Vipond, S. 1986. *El riego: diseño y práctica*. Diana. 343 pp.