

00369



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS  
DE SUELOS DE CHINAMPA DEL AREA DE SAN LUIS  
TLAXIALTEMALCO-XOCHIMILCO UTILIZANDO SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS (EDAFOLOGÍA)**

**P R E S E N T A**

**JUDITH MEDINA VELA**

**Directora de Tesis: M en C. Rosa!ía Ramos Bello**

**MÉXICO, D.F**

**OCTUBRE, 2004**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## DEDICATORIA

A mi madre Sara Vela Hernández; mis hijos: Diego Alexis, Talhía, Arturo;  
Mi madrina María Estrada Franco (✝) Gracias por su apoyo incondicional.

A Norma Reyes Madrid; Araceli Jiménez Ramírez; Socorro Saggiante Cadena; María del Socorro Galicia Palacios; Minerva Martínez Soriano; Fernando Ulises Salinas Velázquez; Víctor Manuel Barbosa Martínez; Marta Elena Ponce Gómez; Haydeé Valderrama Hernández y Ana Pasapera, por la sincera amistad que me han obsequiado.

A LJMPY

Al Pueblo trabajador  
A quien le debo mi formación académica.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José Medina Ortega

FECHA: 01 - Octubre - 2004

FIRMA: José Medina Ortega  
x11

## AGRADECIMIENTOS

Al M. en C. Nicolás Aguilera Herrera (✝) por permitirme formar parte del grupo de tesis del Laboratorio de Edafología "Nicolás Aguilera Herrera".

A la M. en C. Rosalía Ramos Bello; al aceptar ser la directora de mi tesis y apoyarme para poder continuar esta investigación.

A las M. en C. María del Socorro Galicia Palacios y Gloria Alfaro Sánchez por su guía, consejos, paciencia y su capacidad de transmitirme sus conocimientos en este difícil mundo de la Edafología.

Al Dr. Pavel Vladimirovich Krasilnikov por aceptar ser parte mi comité tutorial y sus acertados comentarios.

Al Dr. Julio Campo Alves por haber sido mi sinodal.

Al M. en C. Fernando Ulises Salinas Velázquez por compartir su sabiduría y conocimientos conmigo.

A la Dra. Laura Reyes Ortigoza por ser una excelente compañera y estar aconsejándome siempre que lo necesite.

Al Biólogo Daniel Gasca Flores porque sin él hubiese sido imposible el muestreo de suelos.

A la Bióloga Ana Pasapera por su gran apoyo en lo referente a los diversos trámites que he tenido que realizar. Ángel Ruíz Núñez y Ana Pasapera Ruíz gracias por aceptar ser mis amigos.

Al Sr. Antonio Suárez Romero y la Srita. Georgina Ramírez Flores, miembros de la Sección Escolar de Postgrado de la Facultad de Ciencias por su paciencia, apoyo y orientación en todos los trámites que he realizado.

A todos mis compañeros del Laboratorio de Edafología "Nicolás Aguilera Herrera", por todo lo que vivimos, compartimos y aprendimos unos de otros.

A las C. Catalina Sánchez Martínez y Blanca Estela Cabrera Juárez por enseñarme y adentrarme en el mundo de los Sistemas de Información Geográfica. Al Act. Juan Carlos Galeana Padilla por su apoyo incondicional y compartir sus conocimientos estadísticos. Al Lic. Eduardo Leopoldo Montero Cantú por enseñarme todos los secretos del Office. Al C. Alejandro Villegas Méndez por el uso, manejo y explotación del GPS. Al C. Juan Manuel Morales Díaz por mostrarme los secretos de la informática. Al C. Dagoberto García Aragón por adentrarme en el concepto y manejo de las bases de datos. A la C. Gabriela Villegas Camacho por ser una excelente compañera. A la C. Julieta Delgadillo Estrada por animarme a continuar esta investigación. A todos los compañeros de la Dirección General de Planeación, Programación y Presupuesto, en especial al Lic. Christopher Vázquez Gallo; Lic. María Elena Soto Hernández; Geog. Clara Tobón Hernández; la C. María Teresa Ramírez Meza; C. Guadalupe Guerrero Cruz y C. Josefina Chacon Cruz.

A todos mis profesores que tuve a lo largo de esta larga carrera que hice de obstáculos y resistencia, la cual comencé a los 6 años, en especial a la Profa. María de los Dolores Martínez Benavides que gracias a ella estudie Biología.

A todos los obreros y campesinos del país sin cuyo esfuerzo no habría UNAM, ni investigación.

## Contenido

Índice de figuras	i
Índice de mapas	ii
Índice de cuadros	ii
Resumen	iii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Definición de suelo, tierra y tierra campesina	2
1.2.1 Suelo	2
1.2.2 Definición del concepto tierra	2
1.2.3 Tierra campesina	3
1.3 Origen y desarrollo del uso de la tierra	4
1.4 Clasificación y ordenación	4
1.5 El sistema cartográfico de suelos	4
1.6 Usos del levantamiento de suelos	5
1.7 Clasificación campesina de suelos	6
1.8 Evaluación de tierras: Clasificación por capacidad de uso de la tierra	7
1.9 Orígenes y causas de las sales en los suelos	11
1.10 Procesos edafogénicos	12
1.11 Características de los suelos salinos y sódicos	13
1.11.1 Suelos salinos	14
1.11.2 Suelos sódicos	14
1.11.3 Suelos salino-sódicos	15
1.12 Factores que modifican el efecto del sodio intercambiable en los suelos	15
1.13 Efectos de las sales y el sodio sobre el suelo y las plantas	17
1.13.1 Efectos sobre el suelo	17
1.13.2 Efectos sobre las plantas	17
1.14 Uso o recuperación de suelos salinos y alcalinos	18
1.14.1 Prácticas fundamentales	18
1.14.2 Técnicas auxiliares	20
1.14.3 Técnicas biológicas	21
<b>2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
2.1 Objetivos	22
2.2 Hipótesis	22
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	
3.1 Localización	23
3.2 San Luís Tlaxialtemalco	24
3.3 Características socio-económicas	24
3.4 Características del agua de canal	25
3.5 Geología	26
3.6 Orografía	28
3.7 Hidrografía	29
3.8 Clima	31
3.9 Suelos	34
3.10 Fauna	36
3.11 Flora	37
3.12 Cultivos	38

4. METODOLOGÍA	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1 Resultado y discusión generales	42
5.2 Resultados y discusión de la evaluación agrológica de los sitios reportados para la zona chinampera de San Luís Tlaxialtemalco	73
5.3 Resultados y discusión de la Clasificación de Tierras Campesinas de los sitios reportados para la zona chinampera de San Luís Tlaxialtemalco	78
5.4 Resultados y discusión de la Fotointerpretación de la zona chinampera de San Luís Tlaxialtemalco	81
5.5 Estrategias generales para la rehabilitación y conservación de los suelos de la zona de estudio	87
6. CONCLUSIÓN	88
7. BIBLIOGRAFÍA	90
Apéndice	96

## Índice de figuras

Número	Nombre	Página
Fig. 1.	Ubicación del área de estudio	23
Fig. 2.	Corte transversal de la Cuenca de México mostrando las relaciones y secuencia de las rocas del subsuelo y superficiales del mesozoico al reciente	27
Fig. 3.	Orografía del área de Xochimilco	28
Fig. 4.	Secuencia del desarrollo de los lagos en la Cuenca de México	30
Fig. 5.	Climograma Estación 09-058 "Xochimilco "	31
Fig. 6.	Balance hídrico por el método de Thornthwaite (1948) para la estación Xochimilco (09-058)	33
Fig. 7.	Resumen anual del balance hídrico para la estación Xochimilco (09-058)	33
Fig. 8.	Principales ordenes de suelos en la Cuenca de México	35
Fig. 9.	Densidad aparente	57
Fig. 10.	Densidad real	57
Fig. 11.	Porosidad total	57
Fig. 12.	Porcentaje de arena	58
Fig. 13.	Porcentaje de limo	58
Fig. 14.	Porcentaje de arcilla	58
Fig. 15.	Porcentaje de humedad	59
Fig. 16.	Velocidad de infiltración	59
Fig. 17.	pH 1:5 H <sub>2</sub> O	59
Fig. 18.	pH 1:10 H <sub>2</sub> O	61
Fig. 19.	pH 1:5 KCl	61
Fig. 20.	pH 1:10 KCl	61
Fig. 21.	Materia orgánica	62
Fig. 22.	Carbono	62
Fig. 23.	Calcio intercambiable	63
Fig. 24.	Magnesio intercambiable	63
Fig. 25.	Sodio intercambiable	63
Fig. 26.	Potasio Intercambiable	64
Fig. 27.	Capacidad de Intercambio Catiónico	64
Fig. 28.	Porcentaje de Sodio Intercambiable	64
Fig. 29.	pH del extracto de saturación	66
Fig. 30.	Conductividad Eléctrica	66
Fig. 31.	Calcio soluble	66
Fig. 32.	Magnesio soluble	67
Fig. 33.	Sodio soluble	67
Fig. 34.	Potasio soluble	67
Fig. 35.	Cloruro soluble	68
Fig. 36.	Carbonato soluble	68
Fig. 37.	Bicarbonato soluble	68
Fig. 38.	Sulfato soluble	69
Fig. 39.	Fotografía aérea blanco y negro, escala 1:29,000 fecha 20 de octubre de 1996	83
Fig. 40.	Identificación de los rasgos más relevantes en la fotografía aérea	83

## Índice de mapas

Número	Nombre	Página
Mapa 1.	Sitios de Muestreo	43
Mapa 2.	Clasificación por Capacidad de Uso	77
Mapa 3.	Clasificación de Tierras Campesinas	80
Mapa 4.	Porcentaje de Sodio Intercambiable	84
Mapa 5.	Conductividad Eléctrica	85
Mapa 6.	Conductividad Eléctrica y Porcentaje de Sodio Intercambiable	86

## Índice de cuadros

Número	Nombre	Página
Cuadro 1.	Superficies de las áreas mínimas cartografiables de acuerdo con la escala	5
Cuadro 2.	Diferencias de escalas entre fotografías aéreas y el mapa de publicación	6
Cuadro 3.	Clasificación por capacidad de usos: Factores y parámetros para clasificar tierras	9
Cuadro 4.	Efecto de la salinidad sobre la producción de cultivos	14
Cuadro 5.	Clasificación de suelos sódicos según el PSI	15
Cuadro 6.	Cultivos afectados por alto PSI	15
Cuadro 7.	Estación 09-058 "Xochimilco"	31
Cuadro 8.	Ficha Hídrica para la Estación Xochimilco (09-058)	32
Cuadro 9.	Hortalizas que se cultivan en la zona chinampera de San Luís Tlaxialtemalco directamente en el suelo	38
Cuadro 10.	Plantas de ornato que se cultivan en la zona chinampera de San Luís Tlaxialtemalco en maceta y protegidas en invernadero	39
Cuadro 11.	Análisis físicos de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco	56
Cuadro 12.	Análisis químicos de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco	60
Cuadro 13.	Análisis químico del extracto de la pasta de saturación de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco	65
Cuadro 14.	Matriz de correlación múltiple 1	70
Cuadro 15.	Matriz de correlación múltiple 2	71
Cuadro 16.	Matriz de correlación múltiple 3	72
Cuadro 17.	Clasificación por capacidad de uso; factores y parámetros para clasificar tierras	74
Cuadro 18.	Clasificación de tierras campesinas en la zona chinampera de San Luís Tlaxialtemalco	78
Cuadro 19.	Clasificación de tierras campesinas, capacidad de uso, clasificación USDA y Base Referencia.	78
Cuadro 20.	Procesos antropedogénicos	97
Cuadro 21.	Algunos materiales de suelo antropogeomórficos	100
Cuadro 22.	Eras geológicas.	102
Cuadro 23.	Superficies de las áreas mínimas cartografiables de acuerdo con la escala	103
Cuadro 24.	Escala material cartográfico y unidades cartográficas para los diferentes tipos de levantamientos de suelos	103
Cuadro 25.	Contenido de materia orgánica	104

## RESUMEN

El surgimiento del sistema de chinampas en el lago de Xochimilco – Chalco no fue una casualidad; fue una necesidad, de los primeros habitantes que llegaron a la Cuenca de México, iniciándose así la forma de agricultura más eficiente, estable y autosuficiente que se conoce. Con base a estudios antropológicos llevados a cabo en Xochimilco, este sistema de cultivo tiene una antigüedad aproximada de 2,000 años, que alcanzó su máxima productividad durante la época prehispánica y colonial. Alrededor de 1913 se inicia la desecación del lago con el acarreo de las aguas de los manantiales hacia la Ciudad de México; mediante el acueducto México – Xochimilco. A fin de conservar un nivel de agua aceptable tanto para la navegación como para el mantenimiento de la humedad de los terrenos agrícolas. El departamento del Distrito Federal inicia en 1957 la introducción de aguas negras al Río Churubusco, debido a lo cual aumento la salinidad y sodicidad en el suelo, motivo por el cual se han abandonado gradualmente las prácticas agrícolas tradicionales, además que se ha extendido la traza urbana a la zona chinampera y a aumentado la tala inmoderada de los bosques aledaños.

En México, a la fecha no ha sido posible realizar la planificación del uso del suelo en el medio rural con la rapidez y veracidad que se requiere, debido no solo a la carencia de recursos económicos y personal preparado; sino también, porque no se han aplicado las metodologías de trabajo que permitan conocer de manera real y a detalle las clases de suelos presentes en esas zonas.

Tratando de aportar posibles soluciones al problema de la planificación del uso del suelo en el medio rural con la rapidez y veracidad que se requiere los objetivos de esta tesis son:

1.) Caracterizar las propiedades físicas y químicas de suelos de chinampa. 2.) Clasificar los suelos de chinampa con base al Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América (USDA). 3.) Clasificar y cartografiar la zona chinampera con base al método de Clasificación de Tierras Campesinas. 4.) Evaluar los suelos de chinampa con base al método de Clasificación por capacidad de uso; factores y parámetros para clasificar tierras 5.) Clasificar los suelos de chinampa con la Base Referencial Mundial de Recurso Suelo. Se analizaron en el laboratorio muestras de suelo de 7 perfiles para satisfacer los objetivos 1, 2 y 5 antes mencionados, y realizar así un estudio comparativo de la problemática salino-sódica de distintos sitios dentro del área chinampera de San Luís Tlaxialtemalco. Para cumplir con los objetivos 3 y 4 se utilizó la traza urbana de San Luís Tlaxialtemalco escala 1:5,000; la ubicación de los sitios muestreados mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Pioneer Magellan; la interpretación de la fotografía aérea blanco y negro, escala 1:29,000, que en combinación con la propuesta metodológica sobre la cartografía y clasificación de tierras campesinas dio como resultado el mapa base para el análisis espacial de la clasificación por capacidad de uso y la elaboración de mapas temáticos.

La unidad edafológica reconocida para el área de estudio es el Antrosol con la presencia de un horizonte térrico, afectado por salinidad desde un nivel moderado hasta fuerte, y por sodicidad desde un nivel fuerte hasta extremadamente fuerte. La salinidad y sodicidad de estos suelos aumenta en general hacia noroeste, norte y noroeste de San Luís Tlaxialtemalco, hacia las áreas con menor altitud y sujetas a inundación. El nivel de degradación de estos suelos es muy agudo, ya que según las categorías de capacidad de uso, el predominio de las clases se da en orden descendente; es decir: VS4; IVS3IVS4; VS4IIIS3IVD2IIIS2; VS4IVS3, por lo tanto, las principales limitaciones para el uso agrícola son la salinidad, sodicidad, manto freático elevado y riesgo de inundación. El predominio de las clases de tierra campesina esta en el orden: Negra; Ciénaga I; Ciénaga II; Blanca. En cada clase de tierra campesina la ubicación geográfica, la clasificación por capacidad de uso, drenaje, textura, porcentaje de humedad y cationes intercambiables coinciden al interior de cada clase en el 66% de los casos.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

La agricultura comenzó a desarrollarse en la cuenca de México aproximadamente hace siete mil años. Los primeros grupos sedentarios se establecieron en áreas planas con potencial productivo y adecuada humedad, pero que al mismo tiempo se encontraran cerca de áreas más elevadas para evitar inundaciones durante la temporada de lluvias. A la llegada de españoles en 1521, la cuenca se encontraba ocupada por una civilización bien desarrollada, donde el sistema de chinampas era la base económica de todos los grupos humanos en la región. Este sistema de agricultura intensiva y alta productividad, es mucho más eficiente y seguro que el de temporal. Con la introducción del ganado cambió el uso del suelo y la utilización de los productos agrícolas. Desde el inicio de la colonia, fue claro que la nueva traza que impusieron los españoles era incompatible con la naturaleza lacustre. El relleno de los canales para la construcción de calzadas obstruyó el drenaje superficial de la cuenca y se empezaron a formar grandes superficies de agua estancada. Los bosques que rodeaban al lago comenzaron a ser talados para proveer de madera a la ciudad colonial y abrir campos de pastoreo para el ganado. Con la tala aumentó la escorrentía superficial durante las intensas lluvias del verano. La primera inundación severa ocurrió en 1553, seguida de nuevas inundaciones en 1580, 1604, 1629 y posteriormente a intervalos más cortos (Ezcurra 1990).

El primer canal de drenaje tenía 15 Km de longitud, 6 de los cuales formaban una galería subterránea en Nochistongo. En 1608 este canal abrió por primera vez la cuenca de México hacia el océano Atlántico a través del río Tula en el actual estado de Hidalgo. En 1913 se inicia la desecación del lago Xochimilco-Tláhuac con el bombeo de las aguas de los manantiales hacia la Ciudad de México; mediante el acueducto México-Xochimilco, secándose las ciénegas más someras. Al principio se extraían  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y no hubo mucho problema, porque se estima que la recarga natural del acuífero subterráneo es de  $4.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ; además, el lago recibe un promedio de  $0.056 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a lo largo del año por el flujo de aguas superficiales. Sin embargo al inaugurar el nuevo conjunto de pozos de extracción al final de la década de 1940, empieza una extracción excesiva que se va ampliando a la ladera del Chichinautzin, llegando a alcanzar un gasto de  $10.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . A fin de conservar un nivel de agua aceptable para la navegación y mantener la humedad de los terrenos agrícolas, el DDF inicia en 1957 la introducción de aguas negras para restablecer el equilibrio hidráulico de la cuenca (Rojas, 1984; González *et al.*, 1990). Esta agua contaminada ha afectado la agricultura aumentando los niveles de salinidad y sodicidad del suelo haciendo que los campesinos abandonen la actividad agrícola. De las 9500 ha que se reseña existieron en el área en el siglo XVI, aún quedan unas 2000 ha. Los seis pueblos que subsisten con chinampería son: San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, Mixquic, Tláhuac y Tetelco también tienen tierras ejidales que permiten mantener una vida agrícola (González 1991).

Considerando que la planta de tratamiento de aguas de Iztapalapa aporta  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y que la de San Luis Tlaxialtemalco aporta  $0.225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  según datos de la DGCOH (DDF, 1989), la recarga del sistema lacustre para 1989 se encontraba así:

Extracción	$-10.800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Recarga Natural	$+ 4.356 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (superficial y subterránea)
Aporte aguas tratadas	$+1.225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	<hr/>
	$- 5.219 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (déficit)

El área lacustre tiene un desbalance continuo, al considerar que en promedio a lo largo del año, es del orden de  $-5.219 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $-450,921.0 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$ ,  $-164,586,384 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ , lo anterior explica los hundimientos diferenciales del área, que llega a más de 50 cm al año en promedio para el área que anteriormente fue un lecho lacustre (Salinas, 2000).

El cambio en las propiedades del suelo tiene consecuencias ambientales. El uso inadecuado del suelo disminuye la producción de alimentos que influye en aspectos sociales, políticos, educativos y de salud; en especial en los países en desarrollo como México, día a día se reconoce más la urgente necesidad de planificar el uso de la tierra rural. En México la planificación del uso del suelo, no ha sido posible realizar con la rapidez, realidad y actualización requerida, debido no sólo a la carencia de recursos económicos y personal preparado, sino también a la falta de una metodología de trabajo objetiva y detallada, que considere los aspectos físicos, ambientales y socioeconómicos.

## **1.2 Definición de suelo, tierra y tierra campesina**

### **1.2.1 Suelo**

El concepto de suelo ha ido cambiando con el paso del tiempo, motivo por el cual se citan dos concepciones con la idea de comprender el alcance actual. Ortiz (1999), menciona que el término suelo como muchos otros, tiene diferentes significados. El más tradicional, considera al suelo como el medio natural para el desarrollo de las plantas terrestres, pudiendo presentar o no horizontes. La gente considera importante al suelo porque soporta a las plantas que suministran los alimentos, fibras, medicinas, además de filtrar el agua y reciclar desechos. El suelo cubre a la superficie terrestre como un continuo, excepto en las áreas con afloramiento de rocas, con hielos perpetuos o con aguas profundas. Soil Survey Staff (1998 citado por Palma, 2000) considera al suelo como un cuerpo natural formado por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, que ocurren sobre la superficie terrestre, que ocupa un lugar en el espacio y que puede presentar una o ambas de las siguientes características: Horizontes o capas, que se diferencian del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, migraciones y transformaciones de materia y energía, tiene la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural.

### **1.2.2 Definición del concepto tierra**

El concepto tierra de acuerdo con Christian (1968), se define geográficamente como un área específica de la superficie terrestre. Sus características se refieren a todos los atributos razonablemente estables o cíclicamente predecibles de la biosfera (verticalmente arriba y debajo de esta área), incluyendo los de la atmósfera, el suelo, la geología subyacente, la hidrología, la vegetación, la fauna y los resultados de la actividad humana pasada y presente, así como las interacciones de todos ellos. Se consideran dichos atributos y sus interacciones desde el punto de vista de la influencia que ejerzan sobre los usos actuales y futuros de la Tierra por el hombre. Este concepto es reafirmado más tarde por Young (1976); FAO (1976) y Orr (1976) que mencionan diferentes conceptos sobre el uso de la tierra como son: La tierra como espacio en tercera dimensión es inalterable y fija en cantidad; así mismo es un ecosistema hecho por el hombre, influenciado por procesos naturales; la tierra como un recurso, la tierra como un factor de producción, al mismo tiempo trabajo y capital, la tierra como un consumidor o mercancía, la tierra como un recurso de placer, gusto y recreación, la tierra como localización en una economía moderna y política, la tierra como propiedad, ejerce una influencia sobre la actitud y acción del hombre y lo relacionado a la connotación legal y económica de la tierra como capital.

### **1.2.3 Tierra campesina**

Es un área específica de la superficie terrestre que incluye a todos los atributos de la biosfera que son observables directa (en la capa arable) o indirectamente (en la planta), tanto en el tiempo como en el espacio al nivel de parcela, que afectan su uso y manejo. Al comparar el concepto de suelo con el de tierra campesina, Ortiz (1991) concluye que la única similitud es que ambos consideran a la capa arable y sus diferencias radican en que el suelo considera: horizontes, métodos analíticos, regímenes de humedad y temperatura, que no toma en cuenta el concepto de tierra campesina. En cambio, las tierras campesinas consideraran su interacción con el ambiente y su efecto sobre las plantas, a diferencia del suelo (Palma, 2000).

### **1.3 Origen y desarrollo del uso de la tierra**

Durán (1965) menciona que en la sociedad primitiva no existía la propiedad de la tierra. La escasa población nómada vivía de la recolección de productos vegetales silvestres y de la cacería. El concepto de propiedad de la tierra en México, surge por las posturas sedentarias, originadas principalmente por las prácticas agrícolas incipientes. La competencia por la tierra crecía debido a la influencia del crecimiento demográfico; así se consolidó el derecho de propiedad, atribuido al poblado o a la aldea, dando lugar al comunismo primitivo que correspondía a las organizaciones sociales, en las cuales apenas había indicios someros de estado con la organización que se basaba en el matriarcado, patriarcado o la autoridad de los ancianos.

Entre los pueblos del Anáhuac, la distribución territorial era sensiblemente desproporcionada. El Señor conocía la propiedad tipo romano, de él emanaban todos los demás tipos de propiedad que se distinguieron más por la persona que la detentaba, que por su calidad, extensión o explotación. Los nobles, guerreros y sacerdotes tenían las mejores y más extensas tierras, cuya extensión se medía en función de los servicios prestados y por lo mismo era revocable. De Sahagún (1979) reporta que con la llegada de los españoles, la primera propiedad indígena que paso a sus manos fue la particular, aquella que correspondió a los señores, guerreros y casta sacerdotal.

Xochimilco nunca registró enfrentamientos directos con Cortés. De hecho las autoridades españolas instauraron una política de buen trato, debido a su extraordinaria productividad agrícola basada en el sistema de chinampas, habilidad artesanal y constructora. Al repartirse las encomiendas entre los conquistadores, Xochimilco fue considerado como una de las más valiosas y codiciadas y quedo a manos de Pedro de Alvarado, segundo oficial de Cortés.

A principios del siglo XX en México, las haciendas, ranchos, pequeñas propiedades y comunidades indígenas constituían las formas de organización y explotación de la tierra. El 97% de la superficie de la tierra cultivable era de los hacendados y rancheros que constituían el 3.1% de la población rural; mientras que el 3% restante de la tierra cultivable correspondía a pequeños propietarios y tierras comunales. El 96.9% de la población rural eran peones asalariados y sin tierra propia (Mata, 1991).

## **1.4 Clasificación y ordenación**

A través del tiempo, el hombre ha tenido la necesidad de conocer todo lo que lo rodea, por tal motivo se crearon dos técnicas para estudiar las relaciones entre objetos, las cuales son: la clasificación y la ordenación. La clasificación agrupa objetos en clases y los miembros de cada clase tienen un cierto número de características en común que los diferencia de los miembros de otra clase. La ordenación por su parte estudia a los objetos atendiendo el lugar que ocupan en relación a uno o más ejes, de tal manera, que esa posición relativa en ejes convencionales nos proporcione la máxima información sobre su composición; así, la clasificación (cambio de calidad) y la ordenación (cambio de cantidad) son en teoría, completamente distintas. (Greig-Smith, 1964).

## **1.5 El sistema cartográfico de suelos**

En el estudio de los suelos se hace una diferenciación entre la cartografía y clasificación. Las unidades cartográficas de suelos se muestran por medio de divisiones en áreas geográficas sobre una carta formando el mapa de suelos. Este muestra la localización geográfica específica que ocupa un suelo y la ubicación de sus límites con otros suelos. La unidad de clasificación nos indica por medio de un nombre, la ocurrencia de suelos semejantes o muy parecidos en diferentes localidades geográficas.

Una unidad de clasificación son agrupaciones de perfil en clases; es una creación de la mente del hombre, que le sirve para comprender las cosas que se encuentran en un número tan grande que sería prácticamente imposible estudiarlos uno a uno. En relación al suelo, cada observación es un punto que es examinado vertical (perfil) y horizontalmente (sitio). En un área dada, el número de observaciones de suelos podría ser infinito, pero el científico agrupará a los pocos suelos examinados en unidades de clasificación que tienen límites específicos de variación (Ortiz, 1981).

La cartografía de suelos tiene por objeto la representación gráfica de la variación y distribución geográfica de los suelos de un área dada. Las unidades cartográficas de suelos de acuerdo con Nery (1976) deben de cumplir los siguientes requisitos:

1. Tanto la variabilidad de los suelos como la de los elementos del paisaje que intervienen en la caracterización de su uso y manejo, debe ser lo suficientemente definida para que puedan ser de utilidad en los usos de la cartografía.
2. La variabilidad de los suelos dentro de cada unidad debe ser menor que la variabilidad total de los suelos en la región o zona estudiada.
3. Las áreas ocupadas por cada unidad debe ser de una extensión tal, que puedan ser representadas gráficamente a la escala del mapa base que se haya seleccionado con ese fin.

## 1.6 Usos del levantamiento de suelos

Los propósitos de un levantamiento de suelos son de utilidad práctica Kellogg (1937) indica que los estudios de suelos proveen un apoyo suficientemente exacto para realizar propósitos específicos, entre los cuales se mencionan:

- Planeación de la investigación agrícola y la aplicación o divulgación de los resultados.
- Determinación de la distribución potencial y la adaptabilidad de cultivos individuales.
- Prácticas de manejo de suelos.
- Desarrollo de las clasificaciones rurales.
- Correlación de las condiciones de suelos de un área a otra, para transferir experiencias de agricultores, técnicos y científicos agrícolas.

El sistema cartográfico proporciona las unidades necesarias para producir mapas de suelos, tanto de un ejido, pequeña propiedad, como para todo un país. La escala de publicación del mapa es una de las decisiones más importantes debido a que la escala condiciona en gran medida el tipo de levantamiento, y en consecuencia, el tiempo y costo para su elaboración. La selección de la escala está condicionada a dos aspectos: 1) El propósito del levantamiento y 2) el tamaño mínimo de las unidades de explotación. Buringh, Steur y Vink (1962) mencionan los aspectos de legibilidad del mapa de suelos y con base a ellos proponen un área mínima cartografiable de 0.25 cm<sup>2</sup> del mapa, superficie debajo de la cual no es adecuada la representación de detalles cartográficos.

Cuadro 1. Superficies de las áreas mínimas cartografiadas de acuerdo con la escala

<b>Escala</b>	<b>Área mínima Cartografiable (ha)</b>
1:1,000	0.0025
1:2,000	0.0100
1:5,000	0.0625
1:10,000	0.2500
1:15,000	0.5625
1:20,000	1.0000
1:30,000	2.2500
1:40,000	4.0000
1:50,000	6.2500
1:70,000	12.2500
1:90,000	20.2500
1:100,000	25.0000
1:250,000	156.2500

Ortiz y Cuanalo (1984)

Sobre el mapa de campo y el mapa de publicaciones existe una controversia. Algunos autores como Buringh (1962), Vink (1963), Young (1976), y Cortés (1979) utilizan diferentes escalas, más grande para el mapa de campo y más pequeña para el de publicación (Cuadro 2); de esta forma se tiene más información de la que finalmente se presenta. Otros autores como Cuanalo (1972) y Nery (1976) consideran innecesario el cambio de escalas, indicando que se corre el riesgo de excederse en la cartografía de detalles, que tengan poco significado para los propósitos del levantamiento con la consecuente pérdida de tiempo y aumento en el costo.

Cuadro 2. Diferencias de escalas entre fotografías aéreas y el mapa de publicación

Tipo de levantamiento	Escalas de las fotografías	Escala de publicación
Reconocimiento	1:40,000 a 1:60,000	1:100,000
Semidetallado	1:20,000 a 1:30,000	1:50,000
Detallado	1:5,000 a 1:20,000	1:10,000 1:25,000

Ortiz y Cuanalo 1984

Al analizar la problemática para realizar un levantamiento de suelos, siguiendo los lineamientos técnicos con un estándar internacional, se concluye que son tres las restricciones para México: 1) Costo; 2) tiempo y 3) personal calificado.

### 1.7 Clasificación campesina de suelos

El conocimiento de los suelos en nuestro país se remonta a épocas prehispánicas. Existen evidencias en los trabajos de Bernardino de Sahagún (1979) y Gibson (1984) sobre la existencia de una nomenclatura y caracterización de tierras. Por ejemplo, *Actoctli* que significa: "tierra que el agua ha traído" que es blanda, suelta y suave, "donde se siembra mucho maíz"; *Tequisquitlalli* significa "donde se hace el salitre", es tierra estéril por efecto del salitre y es de mala condición. Gibson (1984) indica que los nombres de las buenas clases de tierras no se incorporaron al español, sólo las de mala calidad. Como sucede con el tepetate nombre común hasta nuestros días, surgiendo una política de desprestigio a lo autóctono.

Si la información anterior se compara con el origen de la Moderna Ciencia del Suelo, publicado en Rusia por Dokuchaev en 1880 (ver Ortiz, 1981) que da un giro a las ideas que se tenían sobre los Chernozem para fijar impuestos, se concluye conservadoramente que los aztecas tenían al menos cuatro siglos de adelanto en tales asuntos. Sin embargo, al destruir los códices desapareció todo rastro de estos conocimientos (Ortiz, 1981 y 1990).

En México se conservan nombres de suelos en diferentes dialectos, pero se desconoce si pertenecen o no a un sistema de clasificación. Algunos conservan los nombres originales como los otomíes y mayas. En la Cuenca de México la designación se hace en español, en el estado de Guerrero tanto con nombres originales como en español. Hasta la fecha se han realizado sólo algunos levantamientos de clases de tierra campesina; el primero, en el Municipio de San Salvador Atenco Estado de México (Pájaro y Ortiz, 1987); el segundo en el Estado de Guerrero (González, 1988); los tres siguientes en ejidos del Municipio de Texcoco, Estado de México (Pájaro, 1989, Ordaz, 1989 y Ortiz, 1989); en el ejido de Tequesistlán

Estado de México (Pájaro, 1989) y el más reciente en las comunidades de San Pablo Ixayoc y San Diego Tlayotlacán en el Municipio de Texcoco, Estado de México (Palma, 2000).

### **1.8 Evaluación de tierras: Clasificación por capacidad de uso de la tierra**

El valor principal de un estudio de suelos es el poder predecir cuál será la respuesta del suelo a un uso y manejo específicos (CNA, 1989).

La calificación interpretativa de Capacidad de Uso de las Tierras se realiza con fines agrícolas, ganaderos, forestales, de vida silvestre, recarga de acuíferos, conservación de suelos. Se fundamenta en los efectos combinados del clima y las características intrínsecas permanentes del suelo. Sirve para determinar el uso adecuado del mismo, sus riesgos a la degradación, las limitaciones para su uso, su capacidad productiva y requerimientos de manejo (SARH, 1977).

El sistema de Clasificación por Capacidad de Uso de la Tierra está compuesto por 8 Clases y 5 Subclases. Los riesgos de daños al suelo o limitaciones para su uso se incrementan progresivamente de la clase I a la VIII. Las clases I – IV incluyen a los suelos aptos para la agricultura, mientras que las clases V – VIII abarcan a los suelos no aptos para este fin.

Los suelos de las primeras 4 clases, bajo buen manejo, son capaces de producir plantas que se adapten a la zona, tales como bosques, pastizales, cultivos comunes y praderas artificiales. Los suelos de las clases V, VI y VII son adecuados para el desarrollo de las plantas nativas que se adapten a la zona. Algunos suelos de las clases V y VI también son útiles de producir cultivos especializados tales como ciertos frutales, plantas ornamentales e incluso algunos cultivos comunes y hortícolas, pero bajo un manejo altamente intensivo que involucre prácticas especiales de conservación de suelo y agua. Los suelos de la clase VII no son adecuados para usos agropecuarios ni forestales. Los suelos de la clase VIII no son aptos para uso agropecuario ni forestal.

La subclase de capacidad proporciona información sobre las limitaciones de uso y riesgos de degradación similares, mientras que la clase de capacidad especifica el grado o intensidad de los mismos.

Cuando el Departamento de Agricultura de los EUA creó la clasificación por capacidad de usos de las tierras, consideró 4 subclases de capacidad de acuerdo a los tipos de limitaciones: (1) Peligro de erosión; (2) humedad en el suelo; (3) limitaciones en la zona radicular; (4) Clima (SARH, 1977).

En una versión más actualizada y empleada por la CNA (1989), se consideran 5 subclases de capacidad: (1) Erosión (E); (2) drenaje del suelo (D); (3) topografía (T); (4) suelo (S); (5) clima(C).

Debe tomarse en cuenta que los factores limitantes, que se describen en cada una de las 8 clases y 5 subclases no necesariamente se presentan juntos.

**Clase I.-** Suelos con muy pocas restricciones para sus usos; son casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar y con mínimos problemas de erosión. Disponen de suficiente agua por precipitación o riego y no corren el riesgo de inundaciones. También tienen buena capacidad de almacenamiento de agua, están bien abastecidos de nutrientes para las plantas y tienen una buena respuesta a la fertilización. Estos suelos son productivos, convenientes para cultivos intensivos y su clima local se considera favorable

para el crecimiento de la mayor parte de los cultivos comunes, aunque también pueden destinarse a praderas, pastizales, bosques maderables y vida silvestre.

**Clase II.-** Suelos con algunas limitaciones que reducen la elección de cultivos o requieren de algunas prácticas de conservación fáciles de aplicar al momento de la preparación del suelo para cultivo. Disponen de agua por precipitación o sistemas de riego. Los terrenos tienen pendiente suave, susceptibles a una erosión moderada. Su profundidad es mediana (50 a 90 cm) y presentan salinidad, sodicidad o ambas en grado bajo. Pueden manifestar humedad moderada pero corregible, sufrir daños ocasionales por inundaciones y ligeras limitaciones climáticas para el uso y manejo del suelo. Estos suelos proporcionan al agricultor menor amplitud en la elección de cultivos o prácticas de manejo que los suelos de la Clase I. Los suelos de esta clase pueden usarse para agricultura, praderas, pastizales, bosques maderables o subsistencia para la vida silvestre y cubierta vegetal.

**Clase III.-** Las limitaciones de los suelos de esta clase restringen la cantidad de cultivos regionales, tiempo de siembra, laboreo y cosechas, elección de cultivos o diferentes combinaciones de estas limitaciones; dentro de éstas se encuentran: pendientes moderadamente fuertes, alta susceptibilidad a la erosión, o severos efectos adversos de erosiones anteriores, poca profundidad a la roca o capa limitante, con piedras grandes dentro o en la superficie, inundaciones frecuentes con daños a los cultivos; permeabilidad muy baja o muy excesiva, baja capacidad de retención de humedad, moderada salinidad y/o sodicidad, baja fertilidad que no es corregida fácilmente. Estos suelos pueden usarse para la agricultura, praderas, pastizales, bosques maderables o sustento para la vida silvestre y cubierta vegetal.

**Clase IV.-** Limitaciones muy severas que restringen la selección de cultivos y/o requieren de un manejo muy cuidadoso. Las prácticas de manejo y conservación son más difíciles de aplicar y mantener. Estos suelos pueden aprovecharse para un grupo limitado de cultivos, siendo más bien aptos para pastos, cultivos perennes, bosques, en algunos casos frutales y ornamentales, o para cubierta vegetal y sostenimiento de la vida silvestre. Los terrenos presentan pendientes entre moderada y fuerte, con alta susceptibilidad a la erosión; son suelos delgados con condiciones desfavorables para la retención de humedad (muy porosos), en otros casos tienen drenaje interno deficiente, cuando se presenta inundación, ésta se considera una fuerte limitante, resulta difícil drenarlo o regarlos con infraestructura, pueden presentar un alto grado de salinidad, sodicidad o ambos, el clima se considera moderadamente adverso.

**Clase V.-** Con poco o ningún peligro de erosión, pero presentan otras limitaciones que no se pueden superar. Son terrenos con pendiente entre moderada y fuerte, poco profundos, con gran cantidad de rocas; en zonas más planas son terrenos sujetos a fuertes inundaciones, de tipo pantanoso, difíciles de drenar, pero que pueden producir buenos pastizales; por consiguiente, su uso se restringe a pastos, silvicultura, cubierta vegetal y sostenimiento de la vida silvestre.

**Clase VI.-** Los terrenos de esta clase tienen severas limitaciones que los hacen generalmente inadecuados para cultivos, pero pueden aprovecharse para pradería (con limitaciones moderadas), bosques maderables, desarrollo de la vida silvestre o áreas de conservación. El tipo de limitaciones que presentan son permanentes, tan difíciles de corregir, que las prácticas de conservación y manejo son imprescindibles para mantener el nivel productivo. Dentro de las principales limitaciones se encuentran: (1) Pendientes fuertes; (2) peligro de erosión severa; (3) severos efectos adversos de erosiones anteriores; (4) suelos someros; (5) pedregosidad; (6) inundaciones frecuentes o humedad excesiva;

**Cuadro 3. Clasificación por capacidad de usos: Factores y parámetros para clasificar tierras (SARH, 1977; CNA, 1989; INEGI, 1990; SARH-IMTA, 1998)**

SUBCLASES DE TIERRA	FACTORES DE CLASIFICACION	CLASES DE TIERRAS								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
<b>EROSIÓN (E)</b>	Riesgo de Erosión (E1)	Ligero Nula-Ligera	Moderado Moderada	Moder. Alto Moder. Severa	Alto Severa	Ligero Ligera	Muy Alto Muy Severa	Muy Alto Muy Severa	Áreas no capaces de producir plantas comerciales. Ejemplos: Afloramientos de roca, playas, etc.	
	Erosión Actual (E2)									
<b>DRENAJE (D)</b>	Escurrimiento superficial (D1)	Medio	Moderadamente Lento a Medio	Lento o Moder. Rápido	Encharcad o Rápido	Sin límite	Sin límite	Sin límite		
	Inundación: Frecuencia / año Duración (D2)	Ninguna	<3 veces, sólo en temporal. < 24 hrs.	<3 veces, sólo en temporal. < 24 hrs.	Sólo en temporal Sin límite	Sin límite <6 meses	Sin límite <7 meses	Sin límite Sin límite		
	Manto Freático (profundidad en cm) (D3)	≥ 150 Muy profundo	100 – 150 Profundo	50 – 100 Moder. Profundo	< 50 Somero	Sin límite	Sin límite	Sin límite		
	Permeabilidad (cm / hora) (D4)	Moderada 1.5 – 5	Moder. Lenta 0.5 – 1.5 Moder. Rápida 5 – 15	Lenta 0.15 – 0.5 Rápida 15 – 50	Muy Lenta < 0.15 Muy Rápida > 50	Sin límite	Sin límite	Sin límite		
<b>TOPOGRAFÍA (T)</b>	Pendiente 4 (%) (T1)	0 – 2 Casi plano	2 – 6 Liger. Ondulado	6 – 10 Moder, Ondulado	10 – 15 Fuert. Ondulado	15 – 25 Casi plano	25 – 40 Muy Fuert. Ondulado	40 – 100 Escarpado		
	Relieve (T2)									
<b>SUELOS (S)</b>	Textura 1 del Epipedón (0 – 30 cm) (S1)	C, Ca, Cl, Cra, Crl, arcillas no plásticas	C, Ca, Cl, Cra, Crl, L, Ra, Rl; R < 60% No Vertisoles	Todas excepto Ac y A	Todas excepto A	Todas	Todas	Todas		<p>Notas:</p> <p>1 Claves de texturas. A,a: Arena, arenoso C,c: Franco, francoso L,l: Limo, limoso R,r: Arcilla, arcilloso</p> <p>2 Hasta material no penetrable por las raíces.</p> <p>3 Porcentaje en peso, de fragmentos líticos &gt; 7.5 cm de diámetro.</p>
	Profundidad 2 Efectiva (cm) (S2)	> 100 Profundo	50 – 100 Moder. Profundo	25 – 50 Somero	< 25 Muy somero	50 – 100 Moder. Profundo	25 – 50 Somero	< 25 Muy somero		
	C.E. (Salinidad) (dS m <sup>-1</sup> ; 0-30 cm) (S3)	Nula –Ligera 0 – 4	Ligera 4 – 8	Moderada 8 – 16	Fuerte > 16	Fuerte > 16	Fuerte > 16	Fuerte > 16		
	Sodicidad (PSI; 0 – 30 cm) (S4)	Nula-Ligera 0 – 15	Ligera 15 – 20	Moderada 20 – 25	Fuerte 25 – 35	Extrem. Fuerte >35	Extrem. Fuerte >35	Extrem. Fuerte >35		
	Pedregosidad 3 (%) (S5)	< 15	< 35	<60	< 60	< 80	< 85	< 90		
	Fertilidad Potencial (CICT) (cmol.Kg <sup>-1</sup> ; 0-100cm) (S6)	Alta > 20	Media 15 – 20	Baja 5 – 15	Muy Baja < 5	Baja 5 – 15	Muy Baja < 5	Muy Baja < 5		

**Cuadro 3. Clasificación por capacidad de usos: Factores y parámetros para clasificar tierras  
(SARH, 1977; CNA, 1989; INEGI, 1990; SARH-IMTA, 1998)**

SUBCLASES DE TIERRA	FACTORES DE CLASIFICACION	CLASES DE TIERRAS							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
<b>SUELOS (S)</b>	Cap. Acumulativa (S7) de agua aprovechable (cm; prof. ≤ 150 cm)	Muy alta ≥ 22.5	Moderada 15 – 22.5	Baja 7.5 – 15	Muy Baja < 7.5	Moderada a Baja 10 – 20	Sin límite	Sin límite	Notas:  <b>4</b> INEGI, 1990.
<b>CLIMA</b>	Precipitación (C1) Efectiva (mm)	> 800	600 – 800	500 – 600	400 – 500	300 – 400	300 – 400	100 - 300	
	Días secos (C2) Acumulados	< 100	110 – 135 (3-4 meses)	135 – 160 (4 – 5 meses)	160 – 180 (5 – 6 meses)	Sin límite	> 180 (> 6 meses)	> 180 (> 6 meses)	
	Régimen de (C3) Temperatura	(Iso)mésico (Iso)térmico (Iso)hiper-térmico	Frígido Isofrígido				Críico		

Moder. = Moderadamente  
Liger. = Ligeramente  
Fuert. = Fuertemente  
Extrem. = Extremadamente

(7) baja capacidad de retención de humedad; 8) salinidad y/o sodicidad severas, 9) clima severo, etcétera.

**Clase VII.-** Suelos con limitaciones tan severas, que se restringe su uso para pastoreo, bosques maderables, vida silvestre y cubierta vegetal. Las restricciones de estos suelos son más severas que las enlistadas en el caso anterior, debido a una o más limitaciones permanentes que no pueden ser corregidas. Por medio de prácticas de manejo, es posible aprovecharlos para pastoreo, maderas o combinaciones de estos usos. En casos especiales pueden aprovecharse para el cultivo del café o frutales.

**Clase VIII.-** Suelos no adecuados para usos agropecuarios y forestales. Sus limitaciones son tan fuertes, que su uso se restringe para vida silvestre, áreas de conservación, recreación, recarga de acuíferos, o propósitos estéticos; en algunos casos para la extracción de materiales para construcción. Son tierras demasiado escabrosas, arenosas, húmedas o áridas, como para dedicarlas a cultivos, pratericultura o silvicultura. En esta clase quedan incluidos los pantanos, las dunas (costeras y de desiertos), las áreas atravesadas por numerosas cárcavas profundas y las áreas muy escarpadas y rocosas.

La asignación de un suelo a una clase y subclase de capacidad de uso en particular, se hace tomando en cuenta que las limitaciones para su uso aumentan de izquierda a derecha para cada factor de acuerdo a los parámetros indicados en los renglones; la asignación de las subclases depende de cuál o cuáles factores son más limitantes; a un suelo se le puede asignar más de una subclase, pero en general, como máximo, se le asignan tres.

## 1.9 Orígenes y causas de las sales en los suelos

Los suelos alcalinos son característicos de las regiones áridas y semiáridas. En otras regiones se debe al efecto de la roca basal, topografía, clima y drenaje, que origina la acumulación de sales de sodio. En las zonas áridas es por falta de precipitación principalmente, y en otras áreas por localizarse en cuencas endorréicas (Aguilera, 1989).

En los suelos de las regiones áridas y semiáridas las aguas de lluvia no remueven la mayor parte de los iones metálicos a medida que son intemperizados de los minerales; por consiguiente, el porcentaje de saturación de bases de estos suelos permanece alto (Buckman y Brady, 1977). En estos suelos la movilización de las sales está dominada por la eluviación, resultado del régimen xérico que hace aflorar a las sales, como sucede en los suelos de Solonetz y Solonchaks.

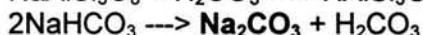
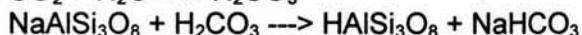
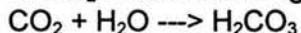
Las principales fuentes de sales en los suelos son la lluvia, el intemperismo de los minerales, sales fósiles y varias aguas superficiales y subterráneas que redistribuyen las sales acumuladas, también como resultado de las actividades del hombre (Bresler *et al.*, 1982).

**Lluvia:** Las sales presentes en los océanos por lo general se originan del intemperismo mineral en la corteza terrestre. Cuando las gotas del agua del mar dispersas por el oleaje y los vientos, producen aerosoles atmosféricos de cristales de sales suspendidos, o gotas de agua altamente salinas. Los cristales pueden servir como núcleos de condensación para lluvias subsecuentes o formación de copos de nieve. La sal higroscópica transportada por el viento, pueden ser removidas del aire ya sea como "lluvia seca", o como un "desplome" durante las lluvias. Esta lluvia seca es comúnmente despreciada cuando se valoran las cantidades de sal atmosférica, pero puede constituir del 25 al 50% de las sales atmosféricas incidiendo sobre un área terrestre (Junge y Gustafson, 1957; Eriksson, 1960, citados por Bresler *et al.*, 1982). Una concentración relativamente uniforme de sales atmosféricas

generalmente alcanza una distancia de 50 a 150 Km de la costa. La distribución exacta depende especialmente de la topografía local, dirección de vientos dominantes, intensidad y distribución geográfica de la lluvia.

**Intemperismo de los minerales:** Los minerales primarios no intemperizados constituyen una excelente fuente de nutrimentos para las plantas; pero también, son una fuente renovable de salinidad especialmente en zonas áridas, porque las sales pueden acumularse y afectar adversamente el crecimiento de las plantas.

El  $\text{CO}_2$  forma con el agua ácido carbónico, que ataca a los minerales:



(se acumula en zonas áridas)

Reacciones similares explican el origen de  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^+$  a partir de olivinos, micas, feldspatos. La formación de  $\text{SO}_4^{2-}$  se debe a la oxidación de pirita o azufre volcánico (Seymour y Balluf, 1989).

**Sales fósiles:** Derivadas de depósitos previos de sal o soluciones atrapadas en sedimentos de origen marino (roca basal). La liberación puede ocurrir naturalmente o como resultado de la actividad del hombre. Ejemplos de procesos naturales incluyen el ascenso de aguas subterráneas salinas, seguido del intemperismo de una capa impermeable, la cual pudo estar previamente encima de un estrato altamente salino, o cambio de vegetación a causa de incendios o fluctuaciones climáticas, lo que a su vez, permite mayor penetración del agua y movimiento de las sales acumuladas en el subsuelo.

**Materiales geológicos de origen marino:** Existen en todas las masas continentales y por todas las eras geológicas desde el Cámbrico. Hay pocas áreas en el mundo donde las sales fósiles no necesitan ser consideradas durante el desarrollo regional, ya que por aspectos tecnológicos el agua es transportada por considerables distancias y desde grandes profundidades dentro de la tierra.

**Actividades del hombre:** Concentraciones altas de N y S se encuentran con frecuencia cerca de áreas industriales, éstos (N, S) pueden incrementar la cantidad de sales agregadas anualmente a la atmósfera a los suelos, al reaccionar con los compuestos de los mismos y transformarse en  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . El hombre puede también introducir sales a un área al usar agua altamente salina proveniente de las profundidades del manto terrestre durante la perforación de pozos petroleros o por la irrigación, o al utilizar agua almacenada sobre estratos geológicos altamente salinizados, como el caso de la generación de electricidad por geotermia (Bresler *et al.*, 1982).

### 1.10 Procesos edafogénicos

Los procesos naturales que conducen a la formación de suelos salinos - sódicos son: salinización, sodificación y solodización, que se consideran secuenciales (Kellog, 1937).

**Salinización:** En este proceso las sales se acumulan en los horizontes superficiales del suelo, y algunas veces llegan a formar un horizonte sálico. Las sales disueltas son lixiviadas o lavadas por escorrentía hacia depresiones, o pueden provenir del agua subterránea. El agua se evapora dejando a las sales en, o cerca de la superficie del suelo. Los iones solubles, que se precipitan como sales por desecación, comúnmente son acarreados a la

superficie por eluviación, desde los horizontes más profundos. Normalmente se requiere un clima árido o subhúmedo para impedir que las sales sean lixiviadas; sin embargo, la salinización puede inducirse por irrigación inadecuada en tales regiones áridas.

Los suelos producidos por salinización son conocidos como Solonchaks (clasificación rusa: Gerasimov e Ivanova, 1958 citados en Aguilera, 1989) o Salorthids por Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) si un horizonte sálico está presente cerca de la superficie del suelo. A causa de las sales, los coloides normalmente están floculados y los valores de pH pueden ser bajos comparados con los de un Solonetz. El suelo Solonchak es la etapa inicial del proceso para producir un Solonetz (Kellog, 1937).

**Sodificación:** Es el proceso que conduce a la formación de un Solonetz usualmente sin, o con un horizonte E incipiente. Según el proceso clásico, un Solonchak es drenado por procesos geomórficos o artificiales. Las sales solubles son lixiviadas dejando un complejo de intercambio saturado predominantemente por Na. Por hidrólisis del Na del complejo de intercambio o a partir del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , puede desarrollarse un pH muy alto (hasta 10), lo cual a su vez, ocasiona que la materia orgánica y la arcilla se dispersen y puedan eluviarse, hasta llegar a formar un horizonte nátrico (Btn).

Existen varias maneras de originarse un horizonte nátrico, que no requieren de un Solonchak como etapa inicial. El intemperismo de minerales como la albita puede liberar sodio, permitiendo la formación de un horizonte nátrico aún en clima más o menos húmedo si no existe el lavado del suelo (Allison *et al.*, 1985).

Procesos de reducción por descomposición de la materia orgánica bajo condiciones anaerobias, pueden producir alcalinidad y aumentar el pH de un suelo ácido. El Na de la natrojarosita puede también ser liberado si el ión férrico de la estructura de la jarosita es reducido. Relaciones entre la reducción del azufre y otros elementos, y la producción de alcalinidad han sido evidenciadas por varios investigadores (Allison *et al.*, 1985).

**Solodización:** Es el proceso que conduce a la formación de un Solonetz Solodizado o Soloth, posterior a la sodificación, si se produce una lixiviación continua de la parte superior de un Solonetz, el suelo se vuelve más ácido en dicha parte, o al menos el sodio se pierde, desarrollándose horizontes A y E más definidos. La materia orgánica y arcilla dispersa (horizonte nátrico) se mueve por eluviación - iluviación a más profundidad dentro del suelo.

### 1.11 Características de los suelos salinos y sódicos

Se han clasificado según el criterio del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América (USDA), 1982 (citado por Allison *et al.*, 1985) con base en dos parámetros:

- 1 Conductividad eléctrica del extracto de saturación a 25 °C que indica los efectos de la salinidad sobre las plantas.
- 2 Porcentaje de Na Intercambiable es un índice de los efectos sobre las propiedades del suelo.

Estudios estadísticos de Allison (*et al.*, 1985) con relación al pH de las pastas de saturación permiten establecer los conceptos siguientes:

- pH mayor o igual a 8.5 indican casi siempre un PSI de 15 % o mayor, y la presencia de metales alcalino térreos.
- pH menor o igual de 8.5, el PSI puede o no ser mayor de 15 %.

- pH menor de 7.5, casi nunca contienen carbonatos de metales alcalino térreos, y, seguramente el suelo contiene hidrógeno intercambiable.

### 1.11.1 Suelos salinos

Tienen sales solubles en tal cantidad que alteran desfavorablemente su productividad. Se considera un suelo salino, si la conductividad eléctrica es mayor a  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  a  $25^\circ \text{C}$ , PSI menor del 15 %, pH generalmente menor de 8.5, corresponde al tipo descrito por Hilgard 1906 (citado Allison *et al.*, 1985) como suelos "Alcali Blanco", y a los "Solonchaks" de los autores rusos.

Características químicas determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes que controlan la presión osmótica de la solución del suelo: (1) El  $\text{Na}^+$  se encuentra rara vez más de la mitad total de los cationes solubles y por tanto no adsorbido en forma importante; (2) el  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  presentes en solución e intercambiables varían considerablemente; (3) el  $\text{K}^+$  soluble e intercambiable es un constituyente de menor importancia; (4) el  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  son los principales aniones; (5) el  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{-2}$  solubles casi no se encuentran; (6) sales de baja solubilidad como el  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{CaCO}_3$ . Casi siempre floculados debido a la presencia de un exceso de sales y ausencia de cantidades significativas de sodio intercambiable.

Cuadro 4. Efecto de la salinidad sobre la producción de cultivos

Clase	C.E	Descripción
Ligeramente salino	2 – 4	Rendimiento restringido en cultivos sensibles.
Medianamente salino	4 – 8	Rendimiento restringido en la mayor parte de los cultivos.
Fuertemente salino	8 – 16	Rendimientos satisfactorios sólo en cultivos tolerantes.
Extremadamente salino	> 16	Muy pocos cultivos dan rendimientos satisfactorios.

Pizarro (1978)

### 1.11.2 Suelos sódicos

Efecto del Na intercambiable en la productividad, PSI mayor del 15 %, conductividad eléctrica menor de  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  a  $25^\circ \text{C}$ , pH varía entre 8.5 y 10, corresponde al llamado "Alcali Negro" por Hilgard (1906) y en ciertos casos a los "Solonetz" de los autores rusos, con frecuencia se encuentran en zonas áridas y semiáridas, en áreas pequeñas e irregulares conocidas como "manchas de álcali impermeables", debido a que la materia orgánica dispersa y disuelta se puede depositar en la superficie por evaporación causando así el ennegrecimiento. Debido a la dispersión de la arcilla parcialmente saturada con Na, puede ser transportada hacia abajo, acumularse en los niveles inferiores y dar como resultado unos centímetros de suelo superficial con textura relativamente gruesa y quebradiza, donde se acumula arcilla el suelo puede desarrollar una capa densa y de baja permeabilidad.

Al aumentar el Na intercambiable puede tener una marcada influencia en las propiedades físicas y químicas, al aumentar el Na intercambiable el suelo tiende a ser más disperso y el pH a veces hasta el valor de 10. Aniones presentes en su mayor parte son en  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  y  $\text{HCO}_3^-$  también se pueden presentar pequeñas cantidades de  $\text{CO}_3^{-2}$ .

Ciertos suelos sódicos contienen un PSI mayor del 15 % y sin embargo, el pH especialmente en la superficie puede ser tan bajo como 6, De Sigmond (1936; citado en

Allison *et al.*, 1985) los llama "Suelos alcalino degradados", se presentan en ausencia de caliza y el pH bajo es resultado del hidrogeno intercambiable.

Cuadro 5. Clasificación de suelos sódicos según el PSI

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

Pizarro (1978)

Cuadro 6. Cultivos afectados por alto PSI

PSI	Cultivos	Efectos
2 – 10	Muy sensibles Frutales y cítricos	Síntomas de toxicidad debido al sodio, aún a bajos niveles.
10 – 20	Sensibles Frijol y maíz	Reducción del crecimiento aún con suelos en buenas condiciones físicas.
20 – 40	Tolerantes Zanahoria, avena, sorgo, trébol, arroz, rábano, espinaca y lechuga	Ligeros síntomas de toxicidad debido al sodio, el deterioro del suelo es importante.
> 40	Muy Tolerantes Trigo, cebada, tomate, alfalfa y algodón.	Los cultivos se ven afectados únicamente por el deterioro de las propiedades físicas del suelo.

Pizarro (1978)

### 1.11.3 Suelos salino - sódicos

Exceso de sales solubles y Na intercambiable, conductividad eléctrica mayor de 4 dS.m<sup>-1</sup> a 25 ° C, PSI mayor del 15 %, si hay exceso de sales, el pH rara vez es mayor de 8.5, las partículas permanecen floculadas.

Se forman como resultado de procesos combinados de salinización y acumulación de Na. A medida que la concentración de sales en la solución disminuye, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de sodio que a su vez, puede cambiar a Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; por tanto, el lavado de un suelo puede hacerlo más alcalino (pH > 8.5), las partículas se dispersan, el suelo se vuelve desfavorable para la entrada de agua y para las labores de labranza.

### 1.12 Factores que modifican el efecto del sodio intercambiable en los suelos

Los suelos sódicos con PSI similares pueden variar considerablemente en sus propiedades físicas, en su capacidad para producir cosechas y en su respuesta a las prácticas de manejo, incluyendo la aplicación de mejoradores. Aunque no muy comprendidas las causas del comportamiento diferente de los suelos sódicos, la experiencia y los pocos datos de que se dispone actualmente indican que el efecto del sodio intercambiable puede ser modificado por algunas características del suelo. La determinación de ellas es frecuentemente de mucha utilidad en la investigación de los suelos salinos y sódicos (Allison *et al.*, 1985).

**Textura:** La distribución de tamaños de las partículas tiene influencia en las propiedades de retención y transmisión de humedad en los suelos. Así, un suelo de textura gruesa tiene baja capacidad de retención de agua y una elevada permeabilidad, mientras que un suelo de textura fina tiene una elevada capacidad de retención de humedad pero menor permeabilidad. Las propiedades físicas de los suelos de textura fina son afectadas con mayor intensidad para un valor determinado del PSI que las de los suelos de textura gruesa.

**Área superficial y tipo de mineral arcilloso:** Se considera que las partículas del suelo tienen una superficie externa y otra interna. Los minerales primarios tales como el cuarzo y los feldspatos, y los minerales arcillosos caolinita e illita, tienen únicamente superficies externas. Los minerales arcillosos con estructura expandible (expansión interlaminar), como la montmorillonita. El área superficial externa de las partículas de los suelos está directamente relacionada con su categoría textural, mientras que la superficie interna se relaciona con el contenido de minerales que exhiben expansión interlaminar.

Las superficies externas de casi todas las partículas de los suelos van desde 10 hasta  $50 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , en tanto que la superficie interna varía considerablemente, llegando a ser casi nula en suelos que no contienen minerales expandibles, o tan grande como  $150 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  o mayor, en suelos con alto contenido de minerales con estructura expandible.

Se reconoce que los suelos que contienen arcillas como la montmorillonita, exhiben ciertas propiedades, tales como expansión, plasticidad y dispersión, en mayor magnitud que los suelos que contienen cantidades considerables de sodio intercambiable (Allison *et al.*, 1985).

**Estado del potasio y silicatos solubles:** Se han estudiado varios suelos alcalinos con altas concentraciones de potasio y silicatos solubles, cuya textura va de media a fina, habiendo encontrado que son mucho más permeables de lo que ordinariamente se esperaría si se tomara como base su elevado PSI. En ciertos casos la permeabilidad es tal, que los suelos realmente pueden ser lavados rápidamente con grandes cantidades de agua de riego, eliminando el exceso de sodio intercambiable sin recurrir a la aplicación de mejoradores.

Las características comunes de estos suelos son: pH mayor o igual a 9, el porcentaje de  $\text{K}^+$  intercambiable entre 25 y  $40 \text{ cmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$ , concentraciones de silicatos solubles en los extractos de saturación desde 5 hasta  $40 \text{ cmol} \cdot \text{L}^{-1}$  pero los excesos de  $\text{Na}^+$ , son eliminados con lavados.

La saturación con  $\text{K}^+$  de la montmorillonita en los suelos, seguida de un secado, hace disminuir la expansión interlaminar. Existe una indicación definida de que los suelos alcalinos que contienen cantidades muy altas de  $\text{K}^+$  y silicatos solubles, son menos susceptibles al desarrollo de condiciones físicas adversas (Allison *et al.*, 1985).

**Materia orgánica:** Existen bases bien fundadas que evidencian que la materia orgánica contrarresta los efectos nocivos del sodio intercambiable en los suelos. Diversos investigadores han observado que los suelos orgánico - húmíferos y turbosos con cantidades apreciables de sodio intercambiable, presentan buenas condiciones físicas.

La aplicación de estiércol a razón de  $123.5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  a un suelo sódico con manchones aceitosos, aumenta el grado de agregación del suelo superficial y la velocidad de infiltración se incrementa a casi el triple. Los datos disponibles indican que la materia orgánica mejora e impide el deterioro de la condición física del suelo por su interacción con los materiales de

intercambio catiónico, y al servir de recurso para los microorganismos, los cuales inducen la agregación estable de las partículas del suelo (Allison *et al.*, 1985).

## **1.13 Efectos de las sales y el sodio sobre el suelo y las plantas**

### **1.13.1 Efectos sobre el suelo**

El efecto principal de la salinidad y sodicidad sobre los suelos consiste en la alteración de su estructura. Esta propiedad depende de la floculación y cementación de los coloides formando agregados. Cuanto más arcilloso es el suelo, mayores son los efectos. En suelos normales y salinos no sódicos, el  $\text{Ca}^{+2}$  es el catión más abundante en el complejo de cambio y los suelos mantienen su estructura. Cuando el  $\text{Na}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  intercambiables y solubles aumentan, las fuerzas de atracción entre las partículas arcillosas disminuyen y éstas tienden a dispersarse, provocando que el suelo pierda la estructura, porosidad, se compacte, se encharque fácilmente, se generen condiciones anaeróbicas y la nitrificación se detenga (Pizarro, 1978).

Conforme aumenta la saturación con  $\text{Na}^{+}$  aumenta el pH del suelo y la movilidad de la fracción coloidal (Ortega, 1987). Si los suelos contienen  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  aumenta la dispersión de la materia orgánica, que forma alcalihumatos solubles de color pardo (café) oscuro o negro, que por capilaridad llegan a la superficie, confiriendo al suelo un color negro característico y su nombre de álcali negro (Pizarro, 1978). En suelos alcalinos se ha comprobado que al aumentar la concentración de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{KCl}$ , el pH aumenta (Aceves, 1979). En general, las sales afectan el valor del pH, pero a su vez, el pH junto con el exceso de  $\text{Na}^{+}$  soluble tienden a provocar precipitaciones del  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  solubles en forma de  $\text{CO}_3^{-2}$  (Ortega, 1987). En un suelo cultivable con un pH de 7.5, se encuentra  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  disponibles para las plantas, poco o ningún Al tóxico, una moderada aunque activa cantidad de humus y un aprovechamiento real del N; sin embargo, si el pH es demasiado alto, los aluminosilicatos tóxicos llegan a disolverse, el  $\text{K}^{+}$  y el  $\text{Ca}^{+2}$  se adsorben con dificultad debido a la competencia del  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ; se produce una baja disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Zn y sobre todo, de P y B (Buckman y Brady, 1977).

### **1.13.2 Efectos sobre las plantas**

Las plantas que pueden desarrollarse en los suelos salinos son: pequeñas y su follaje presenta un color azul - verdoso oscuro. Este color es consecuencia de un alto contenido de clorofila, un grosor exagerado de la capa de grasa en las paredes celulares. Este efecto es debido a deficiencias en la absorción del agua por las plantas, provocando a su vez por propiedades osmóticas de las sales solubles en el suelo. La disponibilidad y velocidad de absorción del agua disminuye considerablemente a medida que aumenta la concentración de sales (Ortega, 1987).

Cuando el suelo pierde su porosidad, las plantas sufren todas las consecuencias de las condiciones anaeróbicas: El crecimiento, respiración y penetración de las raíces quedan restringidos, aumentando las enfermedades de éstas; las plantas sufren de desnutrición por N, a causa del pH y  $\text{Na}^{+}$  altos, así como intoxicación con aluminosilicatos (Castillo, 1993).

El alto contenido de  $\text{Na}^{+}$  intercambiable es capaz, independientemente del pH, de afectar el crecimiento vegetal por inducir deficiencia de otros nutrimentos, siendo las de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  las más notables. Ciertas plantas cultivadas en medios salinos alteran su metabolismo, acumulando aminoácidos libres, algunas de los cuales tienen efectos tóxicos como la

leucina, alanina y tirosina; así, el tabaco y el maíz manifiestan un perjuicio en el desarrollo de los tallos.

El contenido de sales en los tejidos vegetales se modifica, de varias formas: Algunos arbustos del desierto arrojan el exceso de sales por medio de sus hojas, otras las acumulan, lo que incrementa la entrada de agua a los tejidos, esto les da succulencia y produce una dilución de las sales. El carácter de halofitismo se debe a adaptaciones morfológicas y fisiológicas de las plantas que les permiten absorber agua de soluciones de elevada presión osmótica. *Salicornia herbacea* puede crecer en suelos muy salinos debido a que sus membranas celulares son permeables a las sales, acumulando grandes cantidades de éstas en sus tejidos, con lo que se eleva la presión osmótica celular, que se aproxima a la de la solución del suelo, facilitando la absorción del agua. Otras plantas acumulan ácidos orgánicos como el oxálico y el málico, que en su forma aniónica balancean y neutralizan la excesiva acumulación de cargas positivas (Castillo, 1993).

## 1.14 Uso o recuperación de suelos salinos y alcalinos

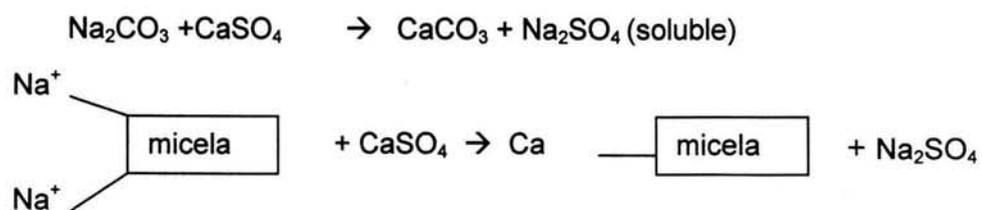
### 1.14.1 Prácticas fundamentales

En cuanto a los suelos salinos y alcalinos Buckman y Brady (1977) mencionan que hay tres formas generales en que pueden utilizarse, evitando al menos parcialmente los efectos desfavorables para las plantas.

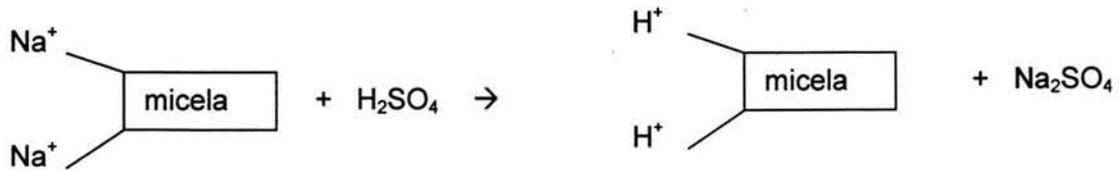
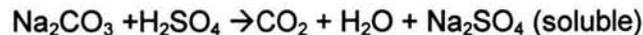
**Remoción:** En este caso se eliminan las sales para disminuir su toxicidad sobre el suelo; los métodos más comunes son: (1) Subdrenaje; (2) lavado o inundación; (3) separación.

La remoción es apropiada cuando se inunda después de haber drenado con tubos, en regiones irrigadas pueden hacerse densas y repetidas aplicaciones del agua. Las sales que se solubilizan son lavadas del *solum* y desaguadas a través de los tubos de drenaje. El método de lavado trabaja bien sobre todo con suelos salinos permeables, cuyas sales solubles son neutras y ricas en  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ . Al tratar simplemente con agua suelos salinos y salino - alcalinos, ello puede intensificar su calidad por removerse las sales neutras solubles; esto se puede evitar por el método siguiente.

**Conversión:** Se emplean mejoradores químicos; se convierten el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{NaHCO}_3$  en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , por previo tratamiento del suelo con aplicaciones de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  o S. El suelo debe mantenerse húmedo para acelerar la reacción, colocando el  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  en la superficie y sin arar. El tratamiento puede ser completado más tarde por el lavado del suelo a fin de dejarlo libre de alguna cantidad de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . El  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  reacciona con el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y con el  $\text{Na}^+$  adsorbido de la siguiente manera:



El S es útil en suelos salinos cuando abunda el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . El S después de oxidarse produce  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Las reacciones del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con compuestos de  $\text{Na}^+$ , se representan:

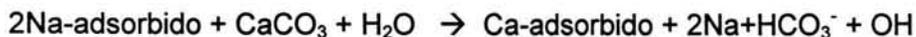


En estos casos, no todo es  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  cambiado a  $\text{SO}_4^{-2}$  (sal casi neutra), pero el radical  $\text{CO}_3^{-2}$  queda eliminado totalmente.

**Control:** Uno de los métodos es el retardo en la evaporación del suelo, lo cual conserva la humedad y retarda la transformación o acumulación de las sales solubles en la zona radical. Cuando se practica un riego debe evitarse un exceso de agua, a menos que se intente liberar al suelo de sales solubles. No obstante, son necesarios frecuentes riegos ligeros para conservar suficientemente diluidas las sales para el desarrollo de las plantas.

La época de riego es muy importante, particularmente durante la siembra. Dado que las plántulas son muy sensibles a las sales, el riego debe preceder o seguir a la siembra removiendo las sales. Una vez que las plantas están bien establecidas, su resistencia a las sales suele ser mayor.

En cuanto a los suelos sódicos Allison (*et al* 1985) y Ortega (1987) mencionan a los mejoradores químicos para la rehabilitación de estos suelos. La clase y cantidad del agente químico que debe usarse como mejorador para el desplazamiento del  $\text{Na}^+$  intercambiable en un suelo sódico, depende del contenido de  $\text{Ca}^{+2}$ , pH del suelo, del tiempo o rapidez con que se desee desplazar el  $\text{Na}^+$  y del costo del mejorador por unidad de  $\text{Ca}^{+2}$  soluble. Las experiencias de Bower y Goertzen (1958, citado por Ortega, 1987) han demostrado que cuando se añade agua a un suelo que contiene  $\text{Na}^+$  adsorbido y  $\text{CO}_3^{-2}$  libre, ocurre una reacción de hidrólisis y el  $\text{Ca}^{+2}$  disuelto desplaza algo del  $\text{Na}^+$  adsorbido, como sigue:



La reacción progresa hacia la derecha a medida que el contenido de agua del suelo va aumentando. Si el suelo se lixivia y hay suficiente  $\text{CaCO}_3$  presente, la reacción continúa hacia la derecha debido a la eliminación de iones de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  y  $\text{Na}^+$ .

El  $\text{CO}_2$  liberado por las raíces de las plantas, facilita de manera apreciable el desplazamiento del  $\text{Na}^+$  adsorbido en suelos calcáreos, según se expresa en la siguiente ecuación:



Los agentes químicos que se usan para desplazar al  $\text{Na}^+$  son de 3 tipos:

1. Sales cálcicas solubles:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
2. Ácidos o compuestos que forman ácidos:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , S,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CaS}_5$ .

3. Sales cálcicas de baja solubilidad que pueden contraer sales de  $Mg^{+2}$ : piedra de  $CaCO_3$  o  $CaCO_3.MgCO_3$  molida y productos secundarios calizos de ingenios azucareros como la cachaza.

Para seleccionar el agente químico más apropiado, el contenido de carbonatos alcalinotérreos y el pH del suelo sódico que va a ser tratado son de mucha importancia. Para este fin, se dividen los suelos sódicos en tres grupos: (1) Suelos que contienen carbonatos alcalinotérreos; (2) suelos sin carbonatos alcalinotérreos con  $pH > 7.5$ ; (3) Suelos sin carbonatos alcalinotérreos con  $pH < 7.5$ .

En los suelos del grupo I pueden usarse las sales cálcicas solubles, los ácidos y formadores de ácidos, en los suelos de los grupos II y III deben usarse las sales cálcicas solubles, pues los ácidos o formadores de ácidos tienden a hacerlos más ácidos y si éstos se usan, debe aplicarse también  $CaCO_3$  molido, el cual puede ser efectivo cuando la reacción sea con  $pH < 7$ , pues la solubilidad del  $CaCO_3$  disminuye con el aumento de pH.

La reducción de pH alcalino de los suelos de las regiones áridas hasta pH entre 6 y 6.5, es benéfica para el crecimiento de las plantas. Es conveniente determinar de antemano en una muestra de suelo, cuánto disminuye el pH al añadir una cantidad específica de ácido o de sal formadora de ácido. El S se oxida lentamente, si se va a usar para reducir el pH del suelo, se determina de antemano la reducción del pH con una cantidad equivalente de  $H_2SO_4$  (Allison *et al.*, 1985).

#### 1.14.2 Técnicas auxiliares

**Arados profundos:** Consiste en pasar el arado a profundidades entre 40 – 150 cm para mezclar capas de baja permeabilidad con otras más permeables, formando un suelo más homogéneo. Esta técnica se ha empleado con éxito en suelos donde la capa superficial contenía exceso de  $Na^+$  y a más profundidad existía una capa rica en  $CaSO_4.2H_2O$ .

**Subsolado:** Mediante esta labor se pretende romper las capas impermeables, mejorando por tanto, la permeabilidad de un suelo. Su efecto dura de 1 a 2 años.

**Aplicación de arena:** La adición y mezcla de arena a capas de textura fina del suelo, mejora la permeabilidad del mismo, su labranza y la penetración de las raíces.

**Inversión del perfil:** Consiste en cambiar de posición un perfil de suelo con características no deseables, reemplazándolo con el material que se encuentra a mayor profundidad y con mejores características (Pizarro, 1978).

#### 1.14.3 Técnicas biológicas

**Abonados orgánicos:** La incorporación de materia orgánica al suelo a través de la adición de estiércol, compostas, enterrando rastrojos y hierbas aún verdes, ayuda a mejorar sus propiedades físicas y químicas, dentro de las cuales se pueden mencionar la agregación, estructura, porosidad, aireación, permeabilidad, retención de humedad, suministro de macro y micronutrientes (en especial N). Durante la descomposición de la materia orgánica se libera  $CO_2$ , que al combinarse con el agua forma  $H_2CO_3$ , el cual facilita la solubilidad de las sales de  $Ca^{+2}$  precipitadas en el suelo.

**Cultivos tolerantes y de elevada evapotranspiración (ETP):** El uso de plantas tolerantes a las sales es otro aspecto importante del cuidado y mejoramiento de suelos salinos y/o alcalinos. La acción de las raíces de las plantas tolerantes, mejora los suelos alcalinos que tienen una condición física pobre, ya que favorecen la agregación y conductividad hidráulica. Entre los cultivos especialmente recomendados para este fin están la remolacha azucarera, algodón, sorgo, cebada, centeno, trébol dulce, girasol y alfalfa, la alfalfa es capaz de extraer hasta 25 Kg Na<sup>+</sup> por hectárea (Buckman y Brady, 1977; Pizarro 1978).

En la India se utilizan plantas tolerantes a suelos afectados por sales y sodio, con el objetivo del aprovechamiento industrial de la planta y la recuperación del suelo. Dos de las especies empleadas para este fin son *Rosa damascena* la cual crece en suelos con un pH de 8 a 9 y de la cual se obtiene un aceite esencial empleado en perfumería, *Matricaria chamomilla* L soporta condiciones de fuerte alcalinidad (pH entre 9 y 9.2), es capaz de extraer hasta 27.97 kilogramos de Na<sup>+</sup> por ha; de la manzanilla se extrae un aceite que funciona como antiespasmódico, sedante y diurético (Singh, 1970).

Los cultivos con elevada evapotranspiración provocan el descenso de la capa freática, facilitando el lavado de las sales. La sombra que producen (además de la energía solar que emplean para la fotosíntesis) evita una evaporación excesiva del suelo y una acumulación de sales en la superficie del mismo.

## **2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1 Objetivos**

#### **General**

Clasificar y cartografiar la zona chinampera de San Luis Tlaxiátemalco, Xochimilco con base al método de clasificación de tierras campesinas y evaluar el grado de alteración salina.

#### **Particulares**

Caracterizar las propiedades físicas y químicas de suelos de chinampa.

Clasificar los suelos de chinampa con base al Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América (USDA).

Clasificar y cartografiar la zona chinampera con base al método de Clasificación de Tierras Campesinas.

Evaluar los suelos de chinampa con base al método de Clasificación por capacidad de uso; factores y parámetros para clasificar tierras

Clasificar los suelos de chinampa con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB).

### **2.2 Hipótesis**

A) El caracterizar las propiedades físicas y químicas de los suelos permite conocer los intervalos de variación y tendencias de cambio de éstas en un momento dado, la clasificación de tierras campesinas es un procedimiento alternativo para elaborar mapas a nivel detalle, que permite conocer en tiempo real las clases de suelo presentes, siendo posible evaluar el grado de alteración salina y sódica mediante análisis espacial.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

#### 3.1 Localización

San Luis Tlaxiátemalco se localiza en la porción noreste de la delegación Xochimilco, con una altitud de 2,230 msnm.

El área de estudio tiene 64.87 hectáreas, el terreno es plano, interconectado por canales y zanjas, se ubica entre los paralelos  $19^{\circ} 09'20''$ ,  $19^{\circ} 09'39''$  de latitud norte y los meridianos  $99^{\circ} 00'49''$  y  $99^{\circ} 01'14''$  de longitud oeste.

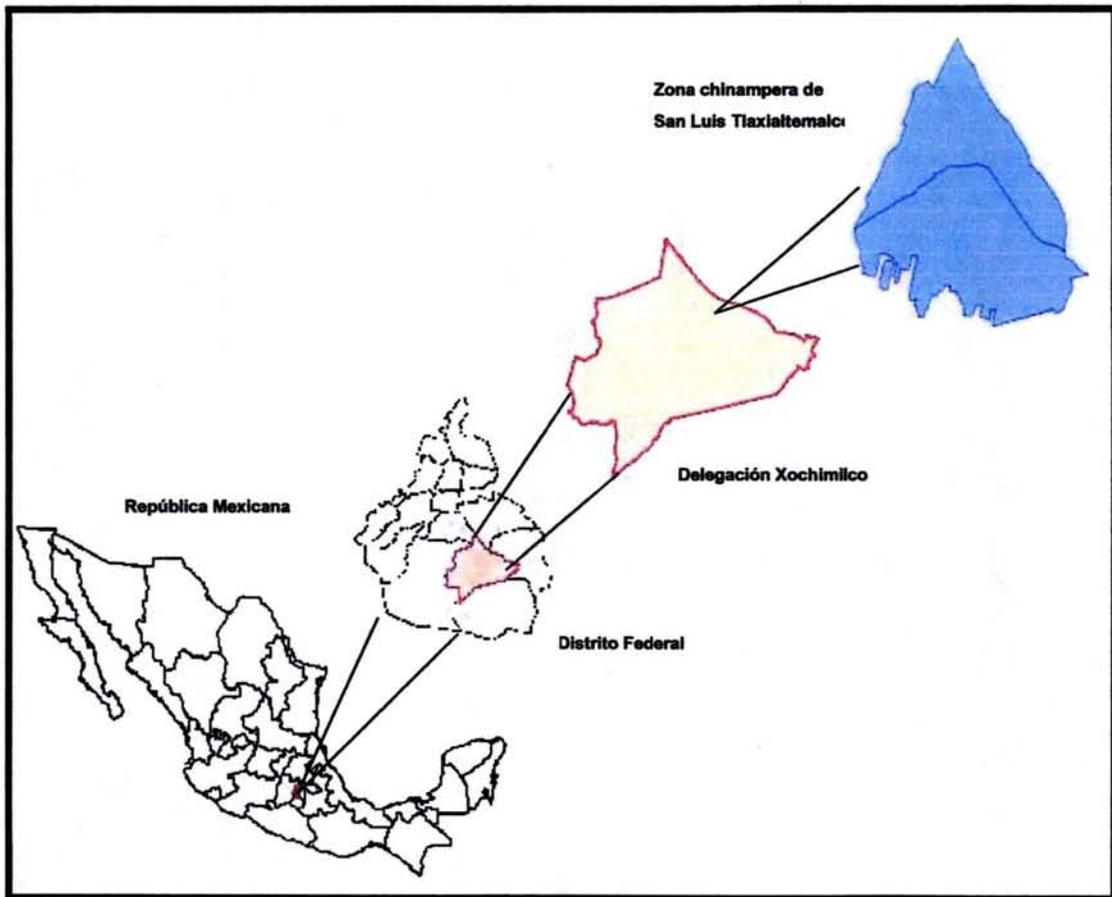


Fig. 1 Ubicación del área de estudio. CIEN, 1996

### 3.2 San Luis Tlaxialtemalco

El pueblo de San Luis Tlaxialtemalco es un asentamiento ribereño del antiguo lago de Xochimilco, situado cerca del manantial de Acuexcómac.

La historia de Tlaxialtemalco narra que "Los de San Gregorio Atlapulco mandaron a su gente a cuidar los linderos de Atlapulco (que llegaban hasta lo que hoy se conoce como *Acuexcómac*)", también llegaron a establecerse los Acoxpanecos, provenientes del señorío de Texcoco. En la parte alta (en el pedregal) ya estaba la gente de Xochitepec y de Cintatlalpan.

Con estos habitantes se hizo una Congregación Indígena el 25 de julio de 1603; ese día según narraciones indígenas: "Cayó un fuerte aguacero en las faldas del cerro *Tehutli*, vertiente al *calpulli* de San Juan Evangelista, que creció la barranca de *Xochitepec* y tan rápida corriente que envistió el referido *calpulli* arrastrando las casas que topaba y su ermita hasta el ojo de agua de *Acuexcómac*, al mismo tiempo que subieron las aguas de este manantial obligando a sus habitantes a trasladarse al lugar donde hoy se sitúa el pueblo de San Luis".

Tlaxialtemalco significa:

"En donde esta el incensario del juego de pelota del dios de la lluvia, *Tláloc*"

Tlachquiahtlamalco que esta formado por:

Tlachquiahuatl = Juego de pelota consagrado al dios de la lluvia, *Tláloc*.

Tlematl = Bracero de mano o incensario.

Co = en.

(Tlalocan, 1951; Pérez-Espinosa, 2000).

### 3.3 Características socioeconómicas

La población económicamente activa, se caracteriza por un 46.6 % de obreros, chóferes, peones y albañiles, 23.6 % empleados, 14.2 % campesinos que se dedican al cultivo de chinampa o a la producción de plantas de ornato a nivel invernadero, también realizan actividades de comercio con sus productos, y el 5.8 % de su población dedicada al magisterio.

El 90% de la zona cuenta con servicio de agua, luz y drenaje.

La eliminación de basura es deficiente, al no existir un buen sistema de recolección de la misma, originándose tiraderos a cielo abierto en las chinampas, canales y terrenos baldíos (Centro de Salud Comunitario T-1, 1990).

### 3.4 Características del agua de canal

El 48.95% de la población utiliza pozos negros para la eliminación de excretas, fosa séptica el 27.52 %, letrina seca abonera 13.45 % y el 9.58 % lo hace al aire libre; además existen descargas de agua con detergente de los lavaderos públicos, y desechos químicos arrojados por las fábricas de productos lácteos y jabón que va hacia los canales de la chinampería. (Centro de Salud Comunitario T-1, 1990).

El Laboratorio de Edafología "Nicolás Aguilera Herrera" de la Facultad de Ciencias de la UNAM ha hecho estudios del contenido de sales y metales pesados en la zona chinampera de San Luis Tlaxiátemalco, Xochimilco y Tláhuac. Ramos-Bello *et al.*, (2001) encontró que los iones metálicos extraíbles tuvieron el siguiente orden:  $Pb > Ni > Zn > Cu > Cr > Cd$ , en concentraciones muy bajas debido a la naturaleza de los sitios de intercambio y al pH alcalino. La ventaja de un pH superior a 6.0 y un alto nivel de materia orgánica y arcilla, es conservar una baja actividad de los iones de los metales en la solución. Además con un pH elevado no se tendrán problemas de toxicidad por un incremento en la disponibilidad de los metales, ya que son casi totalmente adsorbidos, fijados o precipitados. Los cambios de pH afectan la formación de diferentes especies químicas, como complejos de hidróxidos y carbonatos.

La actividad biológica también puede alterar la solubilidad de los metales en los suelos por causas que directa o indirectamente cambian el estado de oxidación de los metales. La concentración de ligandos formadores de complejos solubles y dispersos, especialmente ácidos fúlvicos, controlan la movilidad de los metales en el suelo. Estos compuestos contienen una gran proporción de núcleos aromáticos con grupos funcionales como R-OH y R-COOH y otros grupos ricos en oxígeno unidos a ellos. Por lo tanto, los suelos con textura fina o con horizontes con altos niveles de materia orgánica tienen una mayor capacidad de adsorción de metales que los suelos con textura arenosa o baja cantidad de materia orgánica. Los metales pesados, sales y sodio tienden a acumularse en la capa superficial, así como en los cultivos, cuando el riego por aspersión con agua de los canales que rodean a las chinampas se practica durante largos periodos de tiempo. (Petrovic *et al.*, 1999).

### 3.5 Geología

En la porción suroccidental de la Cuenca de México se encuentra la Ciudad de México.

La Cuenca de México forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT), el cual bisecta a la República Mexicana en su porción meridional desde el océano Pacífico hasta el Golfo de México, está limitada al norte por las sierras de Tezontlalpan y de Pachuca; al sur por la sierra Ajusco-Chichinautzin; al oriente por las sierras Nevada, Río frío y Calpulalpan, y al poniente por las Cruces y Tepozotlán. Comprende una superficie aproximada de 9600 km<sup>2</sup>, de los cuales el 13.75% corresponde al Distrito Federal con 1320 km<sup>2</sup>.

La secuencia estratigráfica de la Cuenca de México consiste de rocas volcánicas, depósitos aluviales, fluviales y lacustres del Terciario y del Cuaternario, que subyacen discordantemente en rocas calcáreas y calcáreo-arcillosas del Cretácico.

La distribución de las unidades volcánicas y de las sedimentarias es errática, tanto vertical como horizontalmente; por lo que, la definición cronoestratigráfica de la columna geológica no es sencilla, además de que no existen parámetros paleontológicos en abundancia y distribución que ayuden a establecerla.

Las rocas marinas del Cretácico son el basamento de la secuencia volcánica y sedimentaria continental del Terciario y del Cuaternario.

Entre las rocas del Cretácico y del Terciario existe una gran discordancia, puesto que no hay evidencias de rocas del Paleoceno hasta el Eoceno Medio. La discordancia está representada por los grupos Morro y Balsas del Eoceno-Superior y del Oligoceno. El grupo Balsas aflora en la porción sur de la cuenca y el grupo Morro al norte de la misma.

Durante el Mioceno Inferior y Medio, en la cuenca nuevamente hubo reactivaciones tectónicas, con el consecuente fracturamiento y fallamiento de la misma. Los sistemas estructurales son conjugados SW-NE y SE-NW, probablemente generados por los esfuerzos compresivos de la placa de Cocos. El desarrollo de fracturas y fallas está asociado con actividad volcánica de diversa composición, desde andesitas y riolacitas hasta andesitas básicas y dacítas: al complejo volcánico Mooser (1962) lo denominó Formación Xochitepec.

Durante el Mioceno tardío la Formación Xochitepec estuvo sujeta a procesos fluviales, derivándose los conglomerados de la formación Tepoztlán.

En el Plioceno nuevamente existió una fuerte reactivación tectónica, con la formación de sistemas de fallas y fracturamientos conjugados SE-NW y SW-NE, formando fosas y pilares. La actividad volcánica se manifestó en toda la cuenca con la emisión de andesitas y dacítas porfídicas asociados con expulsiones de piroclastos de tobas traquíticas, andesíticas, brechas, arenas volcánicas, bombas y lapilli.

Al pie de las sierras que circundan a la Cuenca de México se depositaron abanicos aluviales y lahares, intercalados con capas de pómez, cenizas, gravas y arenas de origen fluvial, a todo este complejo volcano-sedimentario, se le conoce como Formación Tarango. Hacia el suroeste de la Ciudad de México la Formación Tarango se encuentra cubierta por lavas del Grupo Chichinautzin, por lo que la secuencia superior de la Formación Tarango corresponde al Plioceno-Pleistoceno. La parte inferior de esta formación está constituida por tobas, aglomerados, depósitos fluvio-aluviales y horizontes de pómez.

Depósitos aluviales; material clástico fluvial acumulado contemporáneamente con sedimentos lacustres y depósitos volcánicos del Cuaternario, siendo material poco consolidado compuesto por fragmentos con tamaño de grava, arena, limos y arcilla, diatomeas, turba, loess y travertino.

Depósitos lacustres; sedimentos clásticos y productos piroclásticos relacionados con la actividad volcánica del estratovolcán Popocatepetl y de la Sierra Chichinautzin, los cuales fueron depositados en un ambiente lacustre. (Aguayo *et al*, 1989).

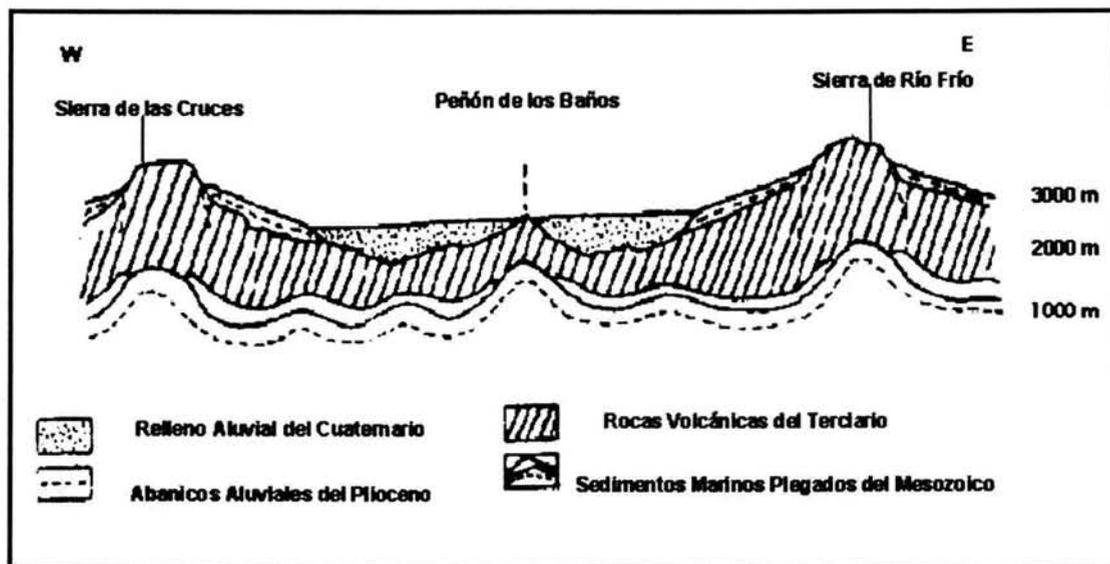


Fig. 2 Corte transversal de la Cuenca de México mostrando las relaciones y secuencia de las rocas del subsuelo y superficiales del mesozoico al reciente. Mooser, 1963.

### 3.6 Orografía

La zona de estudio es una planicie lacustre con una altitud de 2,234 msnm y corresponde a la altura mínima presente en la Cuenca de México, la altura máxima es el volcán Ajusco con 3,960 msnm. Con base a dichas características topográficas, se reconocen diferentes unidades de relieve: la zona lacustre o el nivel base por donde drenan las corrientes de agua con 2,234 msnm; la zona cerril y de pie de monte de los 2,300 a los 2,600 msnm; la ladera montañosa de los 2,600 a los 3,000 msnm, por último la zona de montaña entre los 3,000 y 3,960 msnm. (González *et al.*, 1990).

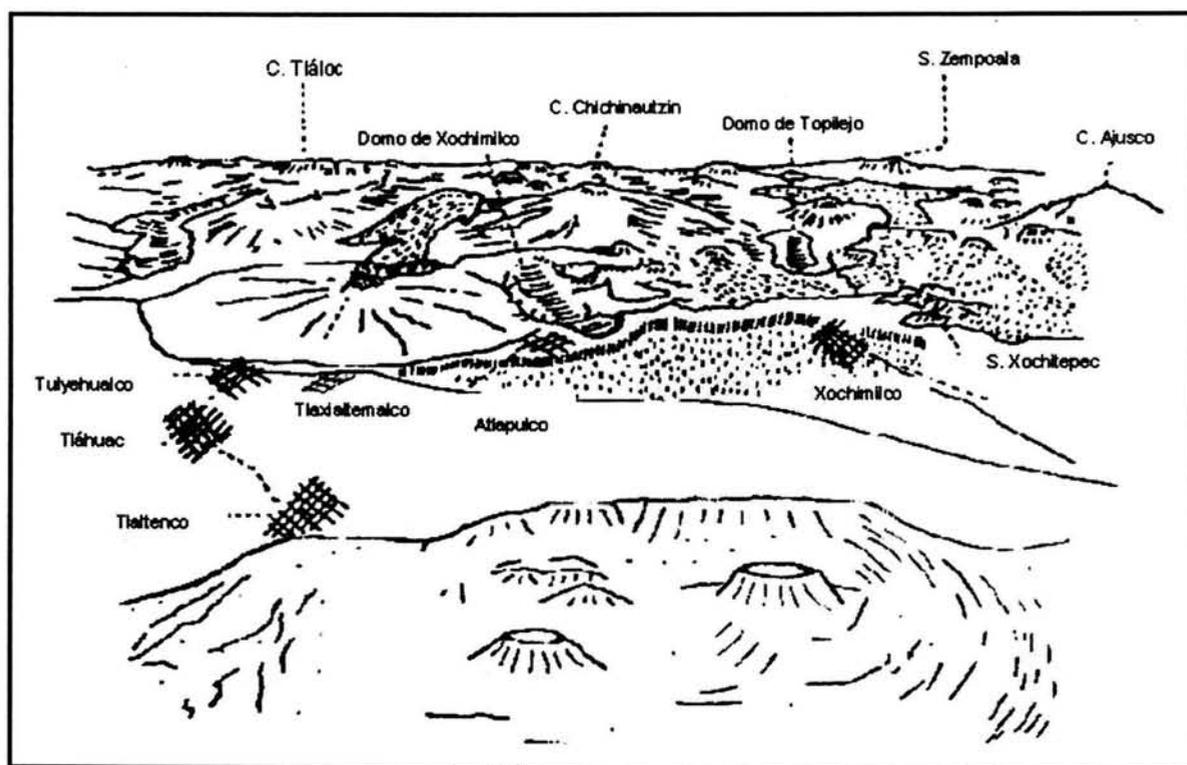


Fig. 3 Orografía del área de Xochimilco. Mooser, 1963.

### 3.7 Hidrografía

Durante el Cuaternario tardío debido a una continua actividad volcánica se formó la Sierra del Chichinautzin, con más de 120 conos cineríticos, del Cuaternario tardío al Reciente los valles se cerraron entre el Popocatepetl al este, al sur con la Sierra de Zempoala, y las cabeceras del sistema hidrográfico al norte. Por esta causa la Cuenca de México se fue azolvando rápidamente por un aporte considerable de acarreo fluvial en forma de abanicos de deyección, formados por los ríos Hondo, Mixcoac, Contreras y por otros ríos sepultados por las lavas del Ajusco.

Hacia el norte de la cuenca, el río de Las Avenidas de Pachuca, el Cuzutitlán, el de Teotihuacán y el de la Compañía, también formaron conos de deyección. Hacia el centro de la cuenca los sedimentos limo-arenosos se estratificaron con cenizas volcánicas y pómez provenientes de las erupciones de la Sierra Ajusco-Chichinautzin.

Además de la actividad volcánica y el drenaje fluvial y aluvial, la Cuenca de México también estuvo afectada por periodos glaciares, interglaciares y precipitación pluvial en los últimos 100,000 años, estos fenómenos meteorológicos formaron grandes lagos que frecuentemente se comunicaban entre sí (Fig.4).

Mooser (1972) divide a los lagos formados en el Pleistoceno y en el Reciente de la siguiente forma:

- a.) Lagos formados en las partes bajas y que constituyen vasos de evaporación (por ejemplo, Xaltocan y Texcoco).
- b.) Lagos de piamonte de la Sierra de Chichinautzin alimentados de manantiales con agua dulce (por ejemplo, Xochimilco y Chalco).

El antiguo lago de Tenochtitlan es un caso intermedio entre los otros dos descritos, en ciertas épocas del año de agua dulce debido al suministro de los manantiales de Chapultepec y Tlalpan, así como de las redes de arroyos provenientes de las Lomas de Chapultepec. En época de estiaje, en la porción oriental del lago de Tenochtitlan se incrementaba la salinidad por evaporación.

El espesor de la arcilla lacustre varía desde unos cuantos centímetros en el perímetro de la cuenca hasta 100 metros en el lago Xochimilco-Chalco.

Entre los canales principales de la zona de Xochimilco se encuentran los siguientes:

Canal Cuemanco: En él se reciben aguas negras, descargas residuales del pueblo de Xochimilco, y las aguas tratadas provenientes de la planta de agua residual Cerro de la Estrella.

Canal Nacional: Recibe aguas residuales de los barrios de Xochimilco.

Canal Caltongo y San Cristóbal: Contiene aguas de desecho de los barrios de Caltongo y San Cristóbal.

Canal del Bordo o de la Ciénega Grande: Recibe aguas residuales de la Ciudad de México.

Canal Apatlaco: Contiene aguas residuales de la Ciudad de México, centro de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

Canal de Chalco: Limita a Xochimilco por la parte Norte y llega hasta el pueblo de Tulyehualco, recibe aguas tratadas de la Ciudad y aguas de desecho de la población de Tláhuac.

Canales Apatlaco, Ameca, San Sebastián y Chalco: Se prolongan hasta San Luis Tlaxialtemalco (Balanzario, 1982., Lugo, 1984., Escobedo, 1987).

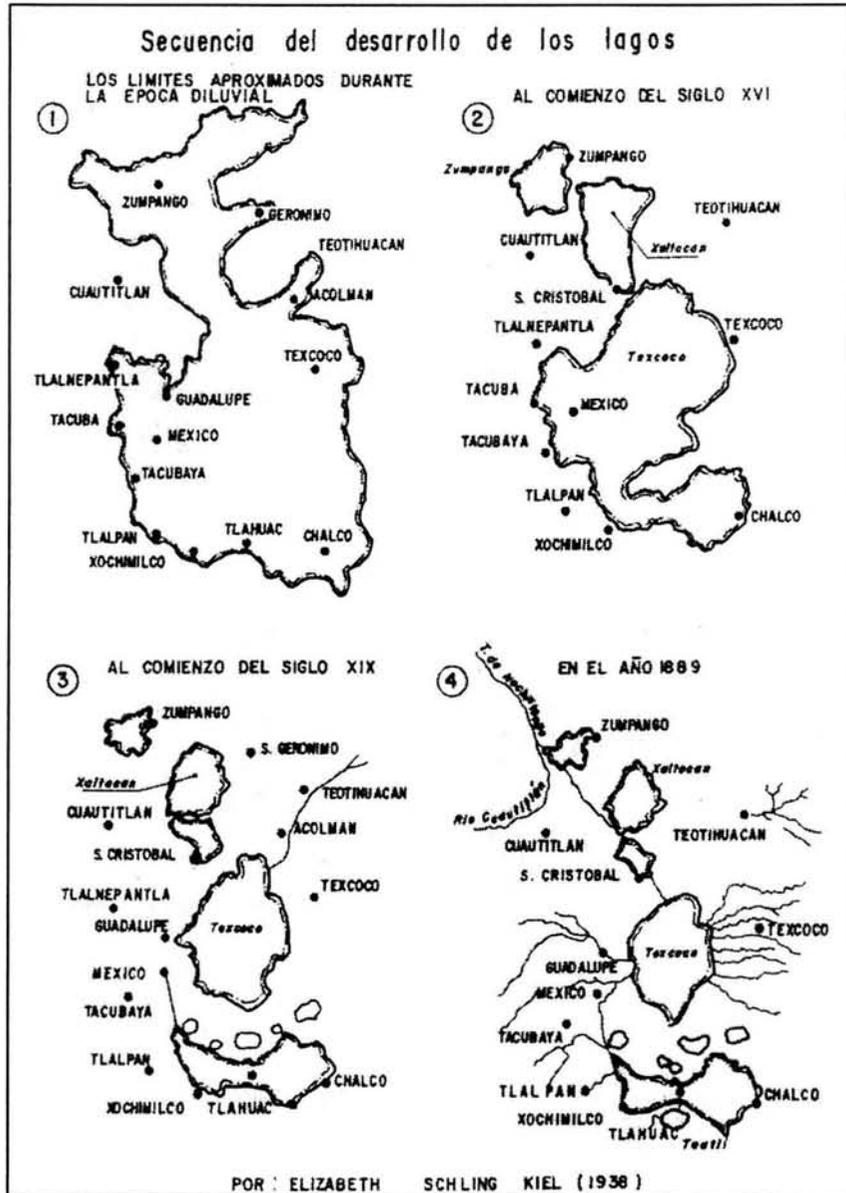


Fig. 4 Secuencia del desarrollo de los lagos en la Cuenca de México, Schling, 1938 cita en Aguayo *et al.*, 1989.

### 3.8 Clima

Con base en los datos de la estación No. 09-058 "Xochimilco" situada entre los 19° 16' de Latitud Norte y los 99° 06' de Longitud Oeste; con una altitud de 2,240 msnm, el clima reportado para la zona de estudio es Cb(w2)(w)(1')w" corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación invernal menor al 5 % , oscilación anual de las temperatura medias mensuales entre 5 ° C y 7 ° C, con presencia de canícula; es decir, temporada menos húmeda que se presenta en verano. Temperatura media anual 15.9 °C. Precipitación media anual 1,096.6 mm. % precipitación invernal 2.7 %. P/T 68.8.

Cuadro 7. Estación 09-058 "Xochimilco"

Meses	T °C	pp mm
E	12.0	7.4
F	13.2	9.0
M	16.1	14.3
A	17.3	29.3
M	18.2	95.5
J	18.7	172.7
J	17.4	122.0
A	17.5	249.6
S	17.5	257.1
O	16.4	103.1
N	14.4	24.7
D	17.6	12.6

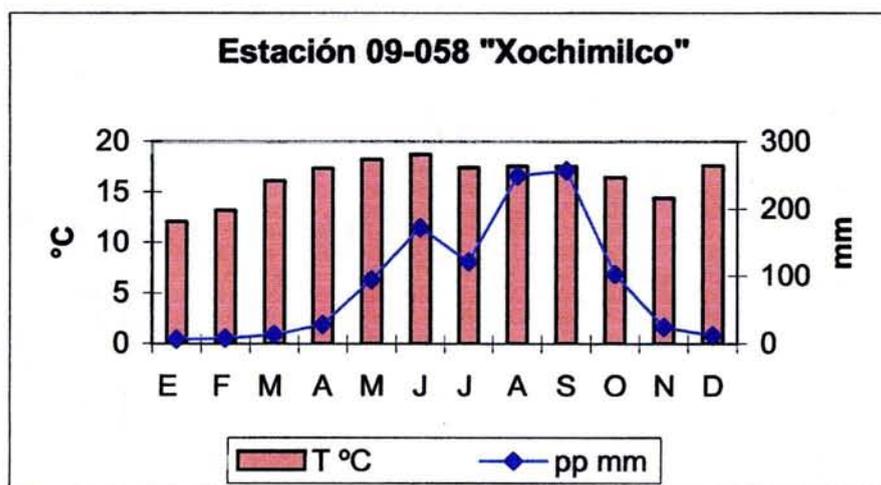


Fig. 5 Climograma Estación 09-058 "Xochimilco "

Salinas (2000) aplicó el modelo propuesto por Thornthwaite (1948) para obtener el balance hídrico de la estación 09-058 "Xochimilco" que se muestra en el cuadro 8; figuras 6 y 7.

Cuadro 8. Ficha Hídrica para la Estación "Xochimilco" (09-058)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura (°C)	12	13.2	16.1	17.3	18.2	18.7	17.4	17.5	17.5	16.4	14.4	12.6	15.9
Precipitación (mm)	0.74	0.9	1.43	2.93	9.55	17.22	12.2	24.96	25.71	10.31	2.47	1.26	109.68
EP1 (cm)	3.85	4.47	6.12	6.86	7.43	7.75	6.92	6.98	6.98	6.3	5.13	4.16	
Factor Correc. EP	0.92	0.96	1	1.05	1.09	1.11	1.1	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91	
EP2 (cm)	3.54	4.3	6.12	7.2	8.1	8.61	7.61	7.47	7.12	6.18	4.77	3.78	74.8
EP2 + 10 (cm)	13.54	14.3	16.12	17.2	18.1	18.61	17.61	17.47	17.12	16.18	14.77	13.78	
ER (cm)	3.54	3.28	1.43	2.93	8.1	8.61	7.61	7.47	7.12	6.18	4.77	3.78	64.82
Var. Reserva (cm)	-2.8	-2.38	0	0	1.45	8.55	0	0	0	0	-2.3	-2.52	
Reserva (cm)	2.38	0	0	0	1.45	10	10	10	10	10	7.7	5.18	
Déficit Agua (cm)	0	1.02	4.69	4.27	0	0	0	0	0	0	0	0	9.98
Exceso Agua (cm)	0	0	0	0	0	0.06	4.59	17.49	18.59	4.13	0	0	44.86

EP1 = Evaporación Potencial no corregida (cm/mes)

EP = Evaporación Potencial

EP2 = Evaporación Potencial Corregida en cm

ER = Evapotranspiración Real en cm

### Balance Hídrico por el Método Thornthwaite (1948) para la Estación "Xochimilco" (09-058)

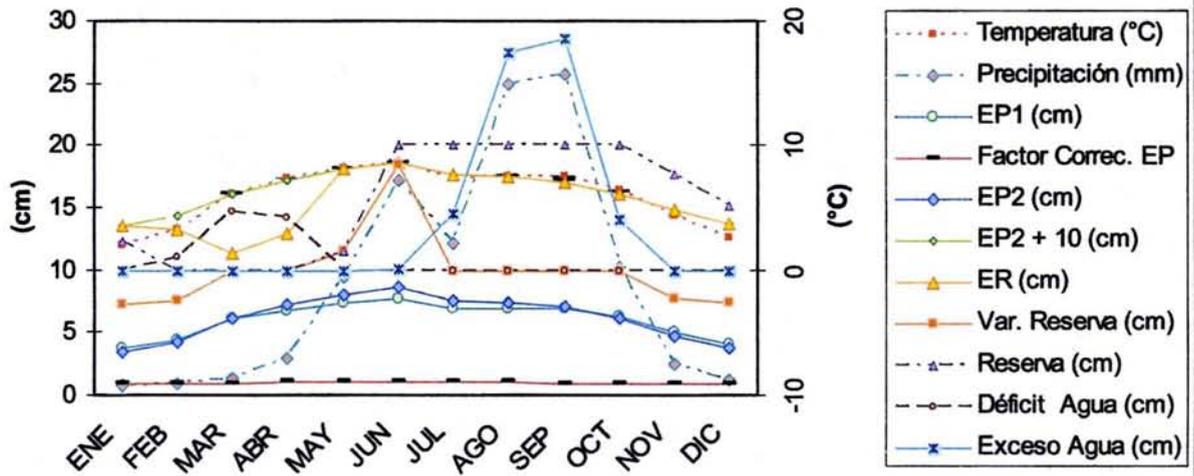


Fig. 6

### Resumen Anual del Balance Hídrico para la Estación "Xochimilco" (09-058)

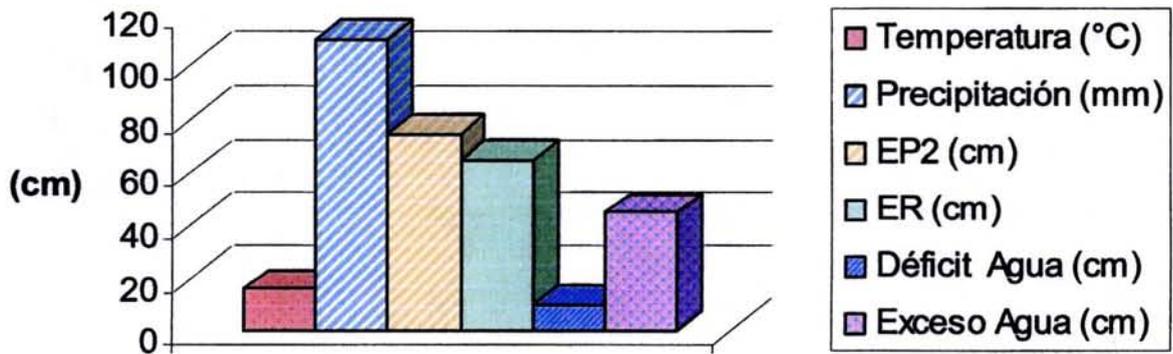


Fig. 7

### 3.9 Suelos

Aguilera (1989), considera a los suelos de chinampa como antroposoles debido al manejo continuo por parte del hombre; sin embargo, otros autores como Calderón (1983) los clasifica de acuerdo al sistema Soil Taxonomy (USDA), como Fluvaquentic Humaquept, por razón de su origen a partir de cenizas volcánicas (antiguo orden de Inceptisoles) y de materiales acarreados fluvialmente (Integrado Inceptisoles-Entisoles), por su régimen de humedad ácuico y por su elevado contenido de materia orgánica. Conforme al sistema FAO/UNESCO (1970 modificado por DETENAL), Valdez (1995) clasifica a estos suelos los dentro de las categorías: Gleysol éútrico; Solonchak; Solonetz.

González *et al.*, 1990 estudio la génesis de los suelos de la subcuenca de Xochimilco-Tláhuac; que por su posición relativa, pueden ser identificados en tres zonas:

La primera corresponde a aquellos sitios en donde la roca madre se está intemperizando y erosionando; es decir, en las áreas cubiertas por pedregales de lava y en los macizos montañosos, que se caracterizan por tener suelos con un lecho rocoso muy superficial y con fases iniciales de desarrollo de horizontes edáficos. Las unidades de suelo correspondientes son los Leptosoles y los Regosoles; los primeros se localizan en las coladas de lava de los volcanes Pelado y Xitle y los segundos en la ladera poniente del volcán Cuatzin.

La segunda, en aquellos sitios en donde se lleva a cabo el transporte y acumulación de materiales, desarrollándose suelos en los que ya es posible distinguir varios horizontes; se distribuyen en las laderas de las montañas, en las zonas de piedemonte y en la parte cerril. Corresponden básicamente a las unidades Cambisol, Feozem y Andosol. El Andosol húmico se localiza en las cimas de las montañas: Pelado, Chichinautzin, Ajusco.

La tercera es la zona donde se efectúa la sedimentación, en los terrenos de menor pendiente y que corresponden al área lacustre. Estos suelos presentan el mayor desarrollo; corresponden a las unidades Gleysol, Solonchak y Solonetz, que por su ubicación, se han encontrado sujetos a las inundaciones.

Agrupo los suelos de San Luis Tlaxialtemalco y San Gregorio Atlapulco con base en su origen y distribución en:

- a.) Suelos in situ derivados de rocas ígneas extrusivas, se caracterizan por presentar un perfil de tipo A<sub>11</sub>, A<sub>12</sub>, B y C o del tipo A/C; no tienen problemas por fases químicas, pero sí presentan limitaciones por fases físicas, como la presencia de roca y pedregosidad que limita los primeros 100 cm de profundidad y que dificultan las labores agrícolas.
- b.) Suelos residuales de origen aluvial, caracterizados por presentar un perfil del tipo A, B, C ocupando geoformas más o menos planas.
- c.) Suelos aluviales-lacustres considerados residuales, han derivado de materiales aluviales y lacustres del Pleistoceno, el perfil de estos está constituido por horizontes A, B y C (A ócrico y B cámbico). Los suelos de este grupo se caracterizan por presentar limitaciones químicas (salinidad y sodicidad), las cuales se acentúan hacia las pendientes menores, esta condición topográfica ha generado la existencia de diferentes cotas de concentraciones de sales.

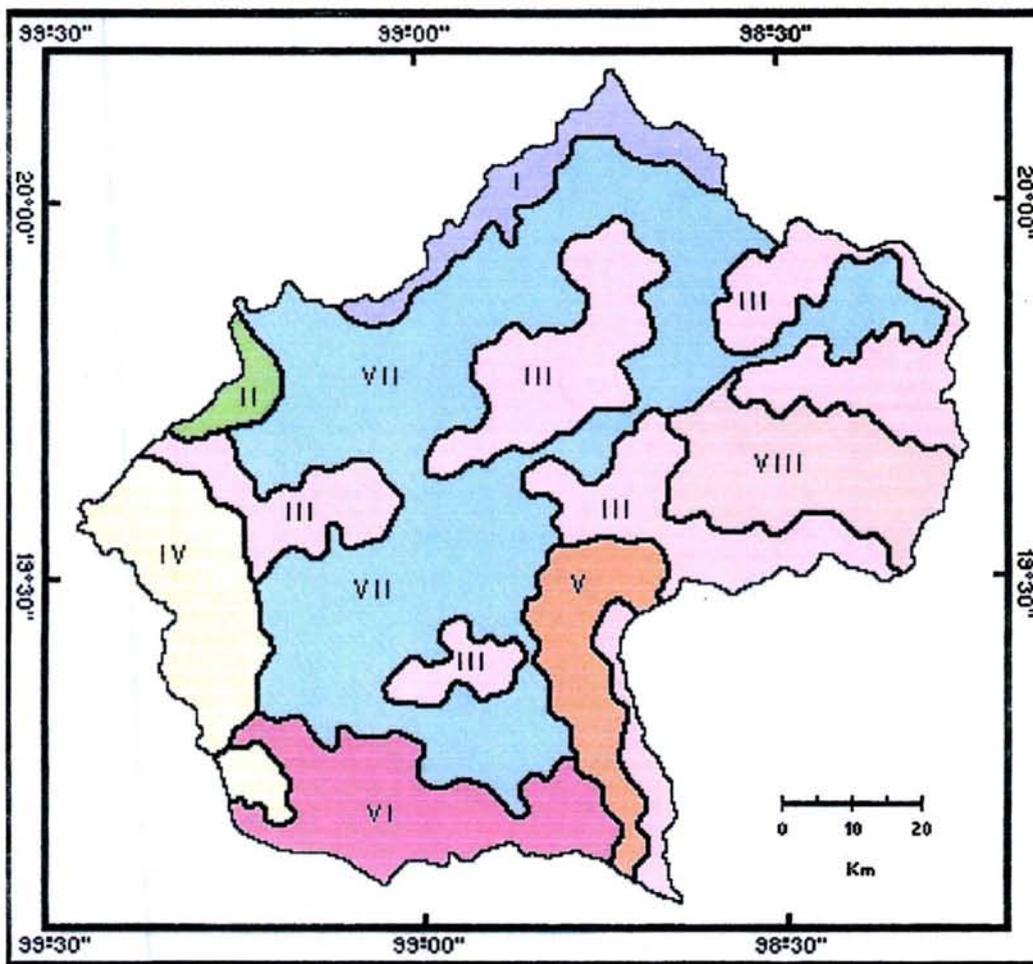


Fig. 8 Principales órdenes de suelos en la Cuenca de México. COLMEX-DDF, 1987.

- Claves:
- I. Mollisol, Entisol, Inceptisol.
  - II. Mollisol, Entisol, Alfisol.
  - III. Entisol, Mollisol, Inceptisol.
  - IV. Inceptisol, Alfisol, Entisol.
  - V. Inceptisol, Entisol.
  - VI. Entisol, Inceptisol.
  - VII. Vertisol, Mollisol, Inceptisol.
  - VIII. Mollisol.

### 3.10 Fauna.

La diversidad y cantidad de especies existentes está condicionada al avance urbano que día a día disminuye las áreas arboladas y de cultivo que sirven de fuente alimenticia y de refugio natural para la fauna silvestre.

Entre la fauna existente en las chinampas se tiene las siguientes familias.

#### Familia Atherinidae

- Peces blancos o iztamichin, charales o yacapitzáhuac.  
*Chirostoma regni*, *Chirostoma jordani*, *Chirostoma humboldtianum*

#### Familia Cyprinidae

- Juiles o xohuilin  
*Algansea tincella*, *Evarra eigenmanni*, *Evarra tlahuacensis*, *Azteculata vittata*  
A esta familia pertenecen las especies introducidas al lago en la década de 1950, son:  
*Micropterus salmoides* (lobina negra); *Cyprinus carpio* (carpa común); *Carassius auratus* (carpa dorada).

#### Familia Goodeidae

- Cuitlapetotl o pececillo de vientre grande.  
*Girardinichthys innominatus*; *Neophorus diazi*; *Skiffia lermae*.

Las aves pertenecen a seis familias zoológicas de tres órdenes diferentes.

#### Orden Anseriformes

- Familia Anatidae: patos, gansos.

#### Orden Gruiformes

- Familia Gruidae: grullas.
- Familia Ralidae: gallaretas, gallinas de agua.

#### Orden Charadriiformes

- Familia Charadriidae: chichicuilotos.
- Familia Scolopacidae: agachones y garzas.
- Familia Recuvirostridae: avocetas y zancudas.

Además de peces y aves se tiene la fauna siguiente:

Acacueyatl (rana temporaria); Acocili (*Camberelus montezumae*); Ateopcatl (renacuajo); Axolotl (*Amblystoma tigrinum*; *Amblystoma lacustris*; *Proteus mexicanus*); Axayacatl (insecto) Anenestli (larva de libélula onodata); Ahuautli (huevecillos) *Ahuatlea mexicana*, Familia Coroxydae; Cueyatl (rana esculenta). Tortugas acuáticas pertenecientes a los géneros *Kinosternon sp*; y *Pseudemys sp.* (Martín del Campo, 1953).

#### Invertebrados

- Termonectus nigrofasciatus*, *Troptsternus lateralis* (coleopteros).
- Familias Belostomatidae, Coroxididae, Veliidae (hemípteros).
  - Familias Coenagrionadae y Aeschridae (odonatos). (Jiménez y Fernández, 1988).

### Vertebrados

*Sceloporus torquatus* (lagartija de collar); *Sceloporus grammicus* (lagartija de barda); *Phrynosoma orbiculare* (camaleón); *Pituophis deppei* (víbora cincuate); *Thamnopis aques* (culebra de agua) (DDF, 1985). *Spilogale gracilis*; *Mephitis macroura* (zorrillos), *Mustela frenata* (comadreja); *Nasua narica* (tejón); *Bassariscus astatus* (cacomixtles) (Staker y Leopold, 1982)

### 3.11 Flora

Debido a los diferentes habitats; podemos encontrar, plantas acuáticas, semiacuáticas y terrestres.

La superficie de los canales se cubre con una gran cantidad de plantas acuáticas tales como: *Eichornia crassipes* (lirio de agua); *Hydrocotyle ranunculoides* (ombligo de Venus); *Pistia stratiotes* (lechuga de agua); *Wolffia gladiata* (chichicastle); *Sagittaria lancifolia* y *Sagittaria macrophylla* (hojas flechadas).

La vegetación semiacuática que se observa en la orilla de los canales es: *Lymnium stoloniforme* (herbácea); *Certophyllum demerson* (herbácea); *Thypha angustifolia*, y *T. latifolia* (herbácea); *Zantedeschia aethiopica* (alcatraz).

Dentro de las formas de vida de las plantas terrestres; encontramos, árboles, arbustos y herbáceas.

*Rumex sp.* (lengua de vaca); *Urtica dioica* (ortiga); *Echinochloa crusgavonia* (zacate robusto); *Cinodon dactylon* (zacate rastrero o pata de gallo); *Hordeum adscendens* (zacate criollo); *Gynerium sagittatum* (carrizo).

En las elevaciones al sur de la región, se encuentran pequeñas zonas de bosque mixto: *Pinus sp.* (pinos, ocotes); *Cedrus sp.* (cedro); *Taxodium sp.* (ahuehuetes); *Quercus sp.* (encino); *Arbustus sp.* (madroños); *Buddleja sp.* (tepozanes).

En los lomeríos de menor elevación se encuentra: *Prunus capuli* (capulín); *Eucaliptus sp.* (eucaliptos y alcanfores); *Schinus molle* (pirul); *Datura sp.* (toloache).

La vegetación propia de la llanura lacustre la forman, *Salix bompladiana* (ahuejotes), que fueron sembrados con el objetivo de fijar a las chinampas al fondo del lago. Bordeando a los canales se ven con frecuencia otros árboles, *Alnus acuminata* (aile); *Casuarina sp.* (casuarina); *Eucaliptus sp.* (eucalipto) (Mendoza, 1961; Rzendowski, 1978; Gómez-Pompa, 1990).

### 3.12 Cultivos

La zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco se distinguen dos formas de cultivo: directamente en el suelo y macetas protegidas en invernadero.

La mayor parte de las plantas que se cultivan en la zona chinampera se siembran en chapines, que se hacen en la orilla de la chinampa o en casa del chinampero, para su elaboración se requiere de una capa horizontal de cieno mezclado con plantas acuáticas, las cuales se pisotean para su incorporación, se deja secar de uno o dos días, cuando el lodo endurece, entonces se procede a dividir en cuadros (chapines) de tamaño variable según la semilla que se deposita en la cavidad de más o menos de 0.5 cm de diámetro, esta cavidad se hace con el dedo o un palo redondo, finalmente se cubre con estiércol seco pasado por una malla, se cubre el chapín con pasto seco para evitar que el agua se evapore, asegurando así la suficiente humedad para que germine y prospere la semilla. Previo al trasplante de la semilla germinada a la chinampa, se abren huecos para colocar el chapín empleando pala, azadón, coa o punzón de madera (huitzoctli), depositando en el fondo un poco de agualodo después se coloca el chapín, el cual ha sido separado de manera previa de los chapines adyacentes, sin que la raíz de una plántula se una con las otras. Colocado el chapín se cubre con estiércol y finalmente se amontona el suelo alrededor de la mata. Para proteger las matas recién transplantadas del frío, lluvia o sol excesivos es necesario cubrirlas con unas tapas de carrizo y tule, o bien de césped, conocidas con el nombre de tolchimalas (Rojas, 1983., Datos obtenidos de visitas y encuestas hechas en la zona de estudio).

Los cultivos que se siembran en la zona de San Luis Tlaxialtemalco se mencionan en los cuadro 9 y 10.

Cuadro 9. Hortalizas que se cultivan en la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco directamente en el suelo

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i> L.
Chayote	<i>Sechium edule</i> Sw.
Chile	<i>Capsicum annum</i> L.
Epazote	<i>Chenopodium ambrosoides</i> L.
Hierbabuena	<i>Mentha sativa</i> L.
Maíz	<i>Zea mays</i> L.
Nabo	<i>Brassica napus</i> L.
Perejil	<i>Petroselinum sativum</i> Hoffm.
Porro	<i>Allium porrum</i> L.
Quelite (Maleza)	<i>Chenopodium album</i> L.
Rábano	<i>Raphanus sativus</i> L.
Romerito	<i>Suaeda torreyana</i> L.
Tomate verde	<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i> L.
Zanahoria	<i>Daucus carota</i> L.

Cuadro 10. Plantas de ornato que se cultivan en la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco en maceta y protegidas en invernadero

Nombre común	Nombre científico
Alhelí	<i>Matthiola incana</i> L.
Aretillo	<i>Fuchsia</i> sp.
Alcatraz	<i>Zantedeschia aethiopica</i> Ch.
Adelfa	<i>Nerium oleander</i> L.
Bugambilia	<i>Bougainvillea</i> sp.
Clavel	<i>Dianthus caryophyllus</i> L.
Crisantemo	<i>Chrysanthemum</i> sp.
Cempaxóchitl	<i>Tagetes erecta</i> L.
Ciclamen	<i>Cyclamen persicum</i> L.
Clavelina	<i>Dianthus</i> sp.
Clorofito	<i>Chlorophytum</i> sp.
Ciso	<i>Cissus</i> sp.
Dalia	<i>Dahlia</i> sp.
Diefembaquia	<i>Dieffembachia</i> sp.
Ficus rastrero	<i>Ficus</i> sp.
Gardenia	<i>Gardenia jasminoides</i> L.
Geranio	<i>Pelargonium</i> sp.
Hortensia	<i>Hydrangea</i> sp.
Mercadela	<i>Calendula</i> sp.
Nochebuena	<i>Euphorbia pulcherrima</i> L.
Nube	<i>Gipsofila paniculada</i> Ch.
Ociso	<i>Rhoicissus</i> sp.
Pensamiento	<i>Viola</i> sp.
Perritos	<i>Antirrhinum</i> sp.
Pincel	<i>Centaurea</i> sp.
Rosa	<i>Rosa</i> sp.
Tulipán	<i>Hibiscus</i> sp.
Violeta	<i>Viola adorata</i> L.
Violeta africana	<i>Saintpaulia</i> sp.

Los productores de San Luis Tlaxialtemalco cultivan con especial cuidado las flores de Nochebuena, desde el mes de mayo y se cosecha en el mes de noviembre.

El cultivo de la Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* L.) es uno de los más importantes en la zona, cada año se producen aproximadamente unas 200 mil plantas de diferentes tamaños. (Datos obtenidos de visitas y encuestas hechas en la zona de estudio).

## **4 METODOLOGÍA**

### **Campo I**

La elección de los puntos de muestreo fue completamente al azar; teóricamente, todos los puntos tienen la misma probabilidad de ser elegidos (Pizarro, 1978). Se realizaron 7 perfiles de 60 cm de profundidad y cada 20 centímetros se tomaron las muestras.

Ubicación en el sistema de coordenadas longitud, latitud y en la proyección cartográfica Universal Transversa de Mercator. (Universal Transverse Mercator UTM) zona 14 de los perfiles mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Pioneer Magellan.

Delimitación de los linderos de las clases de tierra campesina sobre la traza urbana del pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, escala 1:5,000 (CIEN, 1995); con base a la metodología propuesta por Ortiz (1990), la cual se apoya en el conocimiento empírico de los productores que engloba técnicas de germinación, preparación del suelo previo al cultivo, tipo de cultivo, producción, cosecha y rendimientos.

Descripción morfológica de los perfiles con base al Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo (Cuanalo, 1975). Determinación del color del suelo por comparación con las tablas de color Munsell, 1975 y el pH mediante tiras pH. El método del plástico se utilizó para conocer la velocidad de infiltración. (Baver *et al.*, 1991).

### **Gabinete I**

Transferencia en forma puntual de los pares de coordenadas a la traza urbana del pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, escala 1:5,000 en formato digital e impresión de esta información, utilizando el software Microstation 95 y MGE (Modular GIS Environment).

### **Campo II**

Verificación en el campo junto con los productores de los linderos de las clases de tierra campesina, sobre la traza urbana que contiene la ubicación de los perfiles.

### **Gabinete II**

Fotointerpretación en formato digital de los pares fotográficos aéreos en blanco y negro, escala 1:29,000, con fecha 20 de octubre de 1996, de la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco.

Elaboración del mapa base mediante la construcción del canevas geográfico, la combinación de la fotografía aérea, el formato digital de la traza urbana 1:5,000, los puntos de muestreo en coordenadas longitud, latitud y la clasificación de tierras campesinas, con base al método de Palma (1989).

La escala y el re-escalamiento en cada caso se calculó con el apoyo de la información digital de la traza urbana de San Luis Tlaxialtemalco (CIEN, 1995) y de la ubicación de los sitios muestreados mediante Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Pioneer Magellan, utilizando el software Microstation 95 y MGE (Modular GIS Environment).

## **Análisis en laboratorio de muestras de suelo**

Las muestras posteriormente se secaron y tamizaron empleando una malla de 2.00 mm de diámetro, se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo con base en los métodos analíticos convencionales citados por Domínguez y Aguilera, 1990, que comprenden:

### **Análisis Físicos**

Color en seco y húmedo, por comparación con las tablas de color Munsell, (1975).

Densidad Aparente por el método de la probeta (Baver, 1956).

Densidad Real por el método del picnómetro (Baver, 1956).

Textura por el método de Bouyoucus, (1961).

### **Análisis Químicos**

pH determinado con un potenciómetro marca Corning modelo 7, utilizando una relación de 1: 5 y 1: 10 de suelo – agua y suelo – KCl 1N, pH 7.

Materia Orgánica, por el método de Walkley y Black, modificado por Walkey, (1947).

Capacidad de Intercambio Catiónico Total, utilizando una saturación de  $\text{CaCl}_2$  1N, pH 7 y titulando con EDTA 0.02N (Jackson, 1982).

$\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  Intercambiables por extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7 y valorando con EDTA 0.02N (Jackson, 1982).

$\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  Intercambiables, utilizando la extracción con Acetato de Amonio 1N, pH 7 y determinándolos con el espectrofotómetro de flama Corning 400 (Jackson, 1982).

### **Análisis químicos del extracto de la pasta de saturación**

Conductividad Eléctrica, mediante el conductímetro marca Orión modelo 160.

pH utilizando el potenciómetro marca Corning Modelo 7.

$\text{CO}_3^{-2}$  y  $\text{HCO}_3^-$  por el método volumétrico (Jackson, 1982).

Cloruros por el método volumétrico (Mohor, 1949).

$\text{SO}_4^{-2}$  por método gravimétrico, en forma de  $\text{BaSO}_4$  Sulfato de Bario (Bower y Huss, 1948).

$\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  solubles, valorando con EDTA 0.02N (Jackson, 1982).

$\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  solubles, determinándolos con el espectrofotómetro de flama marca Corning 400 (Jackson, 1982).

### **Gabinete III**

Elaboración de tablas de datos que comprenden las propiedades físicas y químicas del suelo, pares de coordenadas longitud, latitud, así como el identificador único de rasgos.

Unión de las tablas de datos y rasgos geográficos en un sistema de información geográfico.

Elaboración de mapas temáticos y mapas combinados. Análisis espacial de la información mediante el sistema de información geográfico GEOS.

Relacionar la cartografía y clasificación de tierras campesinas con la cartografía formal; y así realizar la transformación y actualización de esta información para clasificar los suelos con la versión WRB 1999. Impresión de los mapas resultantes.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Resultados y discusión generales

La zona de estudio tiene una superficie de 64.87 hectáreas. La combinación de la fotografía aérea, el formato digital de la traza urbana, los puntos de muestreo y la clasificación de tierras campesinas dio como resultado el mapa base con la ubicación de los perfiles, ver Mapa 1, página 43. Los resultados y discusión de los análisis de suelo en el laboratorio se presentan agrupados por clase de tierra campesina.

#### CIENAGA I

##### Perfil 1

###### I Descripción del sitio

1. Perfil número: 1
  2. Descrito por: JMV
  3. Fecha: 9 de septiembre de 1999
  4. Localización: W -99°, 01', 00"; N 19°, 09', 36"
  5. Localidad: San Luis Tlaxialtemalco
  6. Elevación: 2,230 msnm.
  7. Relieve: Plano
  8. Drenaje superficial: Sitio receptor
  9. Material parental: Cuaternario, ángulo y dirección del material depositado es de cero grados. Depósitos superficiales hechos por el hombre de sedimentos lacustres, restos de plantas y agualodo. Depósitos aluviales del Pleistoceno y Oligoceno que contiene principalmente basalto de olivino  $MgFeSiO_4$ , cristales de labradorita  $Na(AlSi_3O_8)Ca(Al_2Si_2O_8)$  y augita  $Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$  (Aguayo *et al.*, 1989).
  10. Flora: Vegetación nativa, *Salix bomplandiana*, árbol de tamaño mediano, sembrado en los márgenes de las chinampas, hoja laminar mediana, textura suave, cobertura abierta o discontinua de 50 a 90 %.
- Vegetación cultivada, en maceta y protegida en invernadero cempoaxochitl (*Tagetes erecta* L.), gardenia (*Gardenia jasminoides* L.); pensamientos (*Viola* sp.); nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* L.); y crisantemo (*Chrysanthemum* sp.). En todos los casos el riego se realiza con agua de canal.

###### II Descripción del perfil

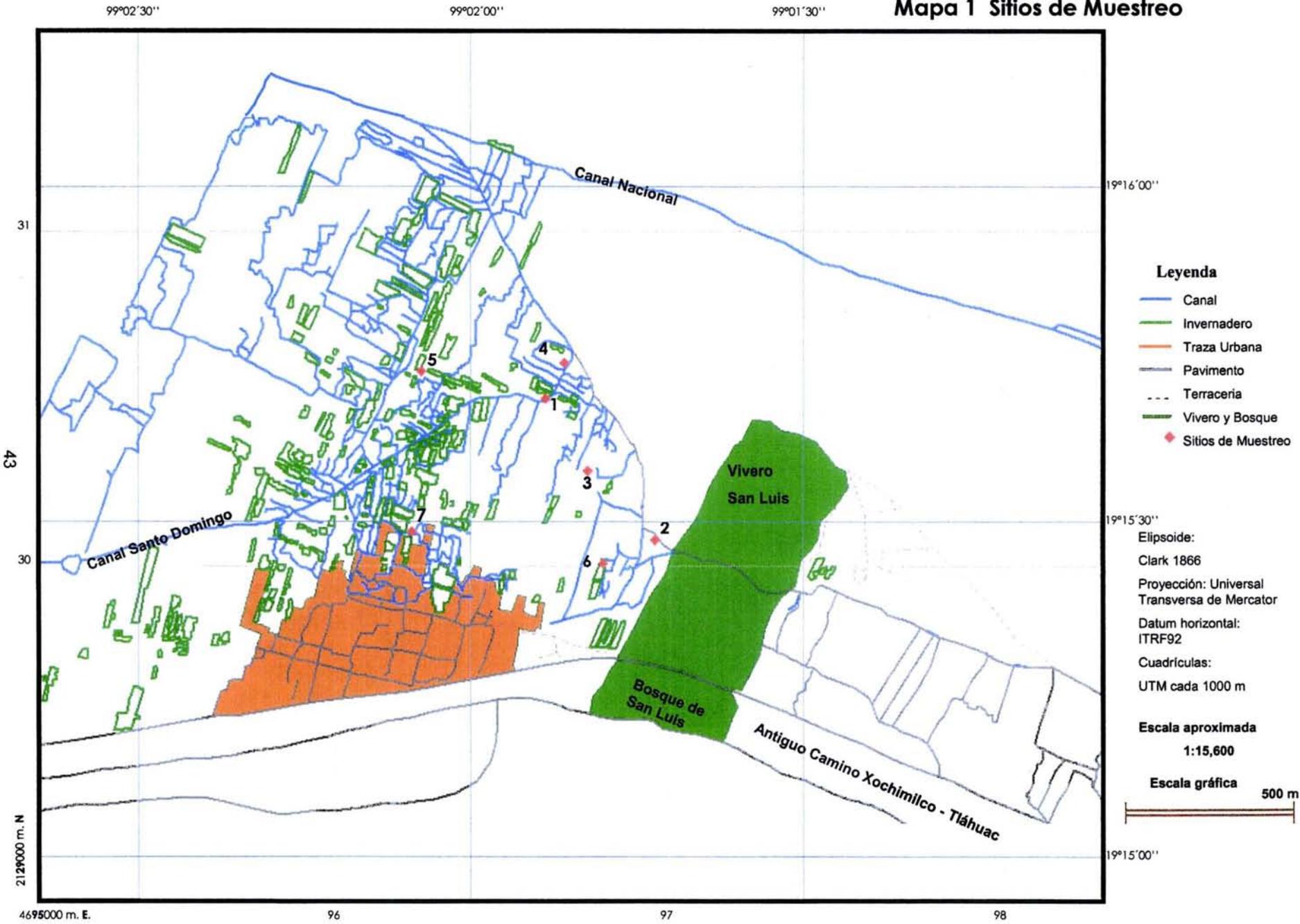
Profundidad: 60 cm.

Capa de 0 a 20 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura granular; consistencia en seco es suelta; poros frecuentes, medianos y continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces finas, pH de 8.

Capa de 20 a 40 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros medianos frecuentes dentro y fuera de los agregados, continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces de tamaño delgado y medio, pH de 8.

Capa de 40 a 60 cm; ligeramente húmedo, color castaño (10YR 5/3); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros medianos y finos, muy pocos dentro y fuera de los agregados, sin raíces, pH de 8.

# Mapa 1 Sitios de Muestreo



## CIENAGA I

### Perfil 4

#### I Descripción del sitio

1. Perfil número: 4
2. Descrito por: JMV
3. Fecha: 10 de septiembre de 1999
4. Localización: W -99°, 00', 58''; N 19°, 09', 39''
5. Localidad: San Luís Tlaxialtemalco
6. Elevación: 2,230 msnm.
7. Relieve: Plano
8. Drenaje superficial: Sitio receptor
9. Material parental: Cuaternario, ángulo y dirección del material depositado es de cero grados. Depósitos superficiales de sedimentos lacustres, restos de plantas y agua-lodo hechos por el hombre. Depósitos aluviales del Pleistoceno y Oligoceno que contiene principalmente basalto de olivino  $MgFeSiO_4$ , cristales de labradorita  $Na(AlSi_3O_8)Ca(Al_2Si_2O_8)$  y augita  $Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$  (Aguayo *et al.*, 1989).
10. Flora: Vegetación nativa, *Salix bomplandiana*, árbol de tamaño mediano, sembrado en los márgenes de las chinampas, hoja laminar mediana, textura suave, cobertura abierta o discontinua de 50 a 90 %, pasto común (*Cynodon dactylon* L.)  
Vegetación cultivada, la chinampa se encuentra abandonada hace más de 15 años

#### II Descripción del perfil

Profundidad: 60 cm.

Capa de 0 a 20 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes medianos y finos dentro y fuera de los agregados; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Raíces comunes de tamaño medio, pH de 8.

Capa de 20 a 40 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes medianos y finos dentro y fuera de los agregados; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces de tamaño medio, pH de 8.

Capa de 40 a 60 cm; ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros pocos y medianos dentro y fuera de los agregados, continuos. Raíces raras y finas, pH de 8.

## CIENAGA I

Los suelos de Cienaga I (Perfil 1 y Perfil 4) presentan características similares; situados en la porción NE de la zona de estudio, (mapa 1), el color predominante en el suelo seco es gris (10YR 5/1) y negro (10YR 2/1) en húmedo; con excepción de la capa de 40 a 60 centímetros en el perfil 1, que presenta en seco el color gris claro (10YR 7/1) y en húmedo gris oscuro (10YR 4/1). El color negro se debe al contenido de materia orgánica, en especial a los ácidos húmicos que por su elevada melanización confieren el color negro al suelo. El color claro de los suelos de chinampa se ha asociado a la presencia de polimorfos de sílice de origen biogénico, constituidos principalmente por fragmentos de diatomeas, fitolitos, feldespatos, cuarzo, vidrio volcánico y microagregados amorfos. La capa de 40 a 60 centímetros del Perfil 1 también presenta el menor contenido de materia orgánica en la zona de estudio.

La densidad aparente tiende a disminuir con la profundidad, mientras que la densidad real aumenta con la profundidad de forma intermitente, en la capa de 0 a 20 centímetros del Perfil 1 se encuentra el valor de  $2.4 \text{ Mg.m}^{-3}$  que corresponde al máximo para la densidad real en la zona de estudio. El porcentaje de porosidad aumenta con la profundidad de manera irregular, el porcentaje de porosidad es mayor en el Perfil 1 en relación al Perfil 4 (73.08% y 68.79% en promedio respectivamente).

El contenido de materia orgánica influye en las propiedades físicas y químicas de estos suelos (ver matriz de correlación múltiple 1 y 3), tiende a disminuir con la profundidad, la capacidad de intercambio catiónico presenta una asociación positiva con la materia orgánica ( $r = 0.6233$ ) y también disminuye con la profundidad. En ambos perfiles la textura es de migajón arcilloso, excepto en la capa de 40 a 60 centímetros del Perfil 1 y en la capa superficial de 0 a 20 centímetros del Perfil 4 donde la textura es franco. El porcentaje de humedad aumenta con la profundidad de forma irregular, la velocidad de infiltración en el Perfil 1 es muy lento ( $0.27 \text{ cm.h}^{-1}$ ) y lento ( $1.56 \text{ cm.h}^{-1}$ ) en el Perfil 4.

El  $\text{Na}^+$  es el catión predominante en forma intercambiable y soluble, la presencia se debe al agua que se vierte en los canales que circundan a la zona chinampera. Aún después del tratamiento secundario en la planta de agua residual Cerro de la Estrella (ubicada al norte de la zona de estudio), los  $149.8 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$  contienen en promedio (anual)  $0.069 \text{ mg.L}^{-1}$  de Pb;  $0.056 \text{ mg.L}^{-1}$  de Cr;  $75.72 \text{ mg.L}^{-1}$  de Na;  $165.96 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3$  y  $57.16 \text{ mg.L}^{-1}$  de Cl (DGCOH, 2000 cita en Ramos-Bello *et al.*, 2001). El  $\text{SO}_4^{-2}$  es el anión dominante resultado tanto de la mineralización y oxidación de la materia orgánica; así como a la presencia de material de origen volcánico fuente de azufre elemental.

La clasificación por capacidad de uso es para el Perfil 1 VS4 debido a la sodicidad extremadamente fuerte, mayor al 35%. El Perfil 4 presenta una sodicidad extremadamente fuerte (138.08%) y fuerte salinidad ( $17.07 \text{ dS.m}^{-1}$ ) que corresponde a VS4IVS3.

En el Perfil 1 se cultivan flores en macetas, la chinampa donde se encuentra el Perfil 4 está abandonada desde hace más de 15 años, el pasto es la vegetación presente.

## BLANCA

### Perfil 2

#### I Descripción del sitio

1. Perfil número: 2
2. Descrito por: JMV
3. Fecha: 10 de septiembre de 1999
4. Localización: W -99°, 00', 49"; N 19°, 09', 22"
5. Localidad: San Luís Tlaxialtemalco
6. Elevación: 2,230 msnm.
7. Relieve: Plano
8. Drenaje superficial: Sitio receptor
9. Material parental: Cuaternario, ángulo y dirección del material depositado es de cero grados. Depósitos superficiales de sedimentos lacustres, restos de plantas y agua-lodo hechos por el hombre. Depósitos aluviales del Pleistoceno y Oligoceno que contiene principalmente basalto de olivino  $MgFeSiO_4$ , cristales de labradorita  $Na(AlSi_3O_8)Ca(Al_2Si_2O_8)$  y augita  $Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$  (Aguayo *et al.*, 1989).
10. Flora: Vegetación nativa, *Salix bomplandiana*, árbol de tamaño mediano, sembrado en los márgenes de las chinampas, hoja laminar mediana, textura suave, cobertura abierta o discontinua de 50 a 90 %.  
Vegetación cultivada, maíz (*Zea mays* L.) y chile (*Capsicum annum* L.), barbecho con tractor, abono vacuno y riego con agua de la llave.

#### II Descripción del perfil

Profundidad: 60 cm.

Capa de 0 a 20 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura granular; consistencia en seco es suelta; poros frecuentes medianos y finos; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces finas, pH de 8.

Capa de 20 a 40 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes medianos y finos dentro y fuera de los agregados; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces de tamaño delgado y medio, pH de 8.

Capa de 40 a 60 cm; ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes y medianos dentro y fuera de los agregados, continuos. Raíces raras y finas, pH de 8.

## BLANCA

### Perfil 6

#### I Descripción del sitio

1. Perfil número: 6
2. Descrito por: JMV
3. Fecha: 11 de septiembre de 1999
4. Localización: W -99°, 00', 53''; N 19°, 09', 20''
5. Localidad: San Luís Tlaxialtemalco
6. Elevación: 2,230 msnm.
7. Relieve: Plano
8. Drenaje superficial: Sitio receptor
9. Material parental: Cuaternario, ángulo y dirección del material depositado es de cero grados. Depósitos superficiales de sedimentos lacustres, restos de plantas y agua-lodo hechos por el hombre. Depósitos aluviales del Pleistoceno y Oligoceno que contiene principalmente basalto de olivino  $MgFeSiO_4$ , cristales de labradorita  $Na(AlSi_3O_8)Ca(Al_2Si_2O_8)$  y augita  $Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$  (Aguayo *et al.*, 1989).
10. Flora: Vegetación nativa, *Salix bomplandiana*, árbol de tamaño mediano, sembrado en los márgenes de las chinampas, hoja laminar mediana, textura suave, cobertura abierta o discontinua de 50 a 90 %, pasto común (*Cynodon dactylon* L.).  
Vegetación cultivada maíz (*Zea mays* L.)

#### II Descripción del perfil

Profundidad: 60 cm.

Capa de 0 a 20 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura granular; consistencia en seco es suelta; poros frecuentes medianos y finos; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces finas, pH de 8.

Capa de 20 a 40 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes medianos y finos dentro y fuera de los agregados; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces de tamaño deigado y medio, pH de 8.

Capa de 40 a 60 cm; ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes y medianos dentro y fuera de los agregados, continuos. Raíces raras y finas, pH de 8.

## BLANCA

La clasificación de tierra campesina Blanca agrupa a los Perfiles 2 y 6, situados en la porción SE de la zona de estudio (mapa 1), el color del suelo seco es gris (10YR 2/1) y negro (10YR 2/1) en húmedo. La densidad aparente tiende a disminuir con la profundidad de manera intermitente. El comportamiento de la densidad real es diferente en cada perfil, en el Perfil 2 disminuye con la profundidad; mientras que el Perfil 6 aumenta con la profundidad. La porosidad total aumenta con la profundidad de manera intermitente, la materia orgánica presente en estos suelos de chinampa interviene en sus propiedades físicas y químicas, en los bajos valores que presenta la densidad aparente (de 0.49 a 0.68 Mg.m<sup>-3</sup>) y la densidad real (1.93 a 2.21 Mg.m<sup>-3</sup>), ya que al mejorar la agregación se evita la compactación, y al aumentar el contenido de carbono disminuye la densidad real, la relación existente se observa en la figura 9,10 y 21.

La materia orgánica aumenta con la profundidad en el Perfil 2, mientras que el Perfil 6 el comportamiento es irregular. La textura en el Perfil 2 es migajón limoso en los primeros 40 centímetros y migajón arcilloso de 40 a 60 centímetros. El Perfil 6 presenta diferentes texturas cada 20 centímetros, franco de 0 a 20 centímetros, migajón arcillo limoso de 20 a 40 centímetros y migajón arcilloso en la última capa de 40 a 60 centímetros. El porcentaje de humedad aumenta de forma irregular con la profundidad, mientras que en el Perfil 6 el porcentaje de humedad disminuye de manera errática con la profundidad. La velocidad de infiltración en el Perfil 2 es lento (0.54 cm.h<sup>-1</sup>) y muy lento (0.34 cm.h<sup>-1</sup>) para el Perfil 6.

El Mg<sup>+2</sup> intercambiable es el catión dominante en las chinampas al sur de la zona de estudio, se debe a la presencia de este elemento en los depósitos minerales procedentes de eventos volcánicos durante el cuaternario. Estudios de mineralogía de arcillas con rayos X en San Luís Tlaxialtemalco realizados por García (*et al.*,1994) indica que el mineral dominante es la esméctita. El análisis en microscopio petrográfico de arcillas de minerales no cristalinos muestra la presencia de polimorfos de sílice de origen biogénico constituidos principalmente por fragmentos de diatomeas, fitolitos, feldespatos, cuarzo, vidrio volcánico y microagregados amorfos, minerales de Horblenda Ca<sub>2</sub>Na(Mg,Fe<sup>+2</sup>)<sub>4</sub>(Al,Fe<sup>+3</sup>)<sub>2</sub>((Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>11</sub>)<sub>2</sub>.(OH)<sub>2</sub>; Enstatita Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>; Olivino MgFeSiO<sub>4</sub>; Augita Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, Hiperstena Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, trazas de granate (SiO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup>; Circón Zr(SiO<sub>4</sub>). El espectro de infrarrojo también sugiere la presencia de esméctitas mezclado con minerales interestratificados como la montmorilonita Al<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>.xH<sub>2</sub>O, mica, trazas de ciorita (Mg,Fe)<sub>5</sub>(Al,Fe)<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH), pequeñas cantidades de feldespatos y cuarzo (SiO<sub>2</sub>) en el agua-lodo.

El Na<sup>+</sup> soluble es el catión dominante, se debe al agua que se vierte en los canales que circundan a la zona chinampera. Aún después del tratamiento secundario en la planta de agua residual Cerro de la Estrella (ubicada al norte de la zona de estudio). El SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> es el anión dominante resultado tanto de la mineralización y oxidación de la materia orgánica; así como a la presencia de material de origen volcánico fuente de azufre elemental.

La clasificación por capacidad de uso es la misma para ambos perfiles IVS3IVS4 debido a la fuerte salinidad (mayor a 16 dS.m<sup>-1</sup>) y fuerte sodicidad (de 25 a 35%) que se presentan.

El maíz se cultiva en los Perfiles 2 y 6, la diferencia consiste en la calidad del agua que se utiliza para riego, con agua de la llave en el Perfil 2, lo que explica que el cloruro sea el segundo anión en orden de dominancia; debido a la adición de cloro al agua corriente en las plantas potabilizadoras en México, es una práctica común para asegurar que sea apta para el consumo humano. En el Perfil 6 el agua de canal se utiliza para riego.

## NEGRA

### Perfil 3

#### I Descripción del sitio

1. Perfil número: 3
  2. Descrito por: JMV
  3. Fecha: 10 de septiembre de 1999
  4. Localización: W -99°, 00', 56"; N 19°, 09', 29"
  5. Localidad: San Luís Tlaxialtemalco
  6. Elevación: 2,230 msnm.
  7. Relieve: Plano
  8. Drenaje superficial: Sitio receptor
  9. Material parental: Cuaternario, ángulo y dirección del material depositado es de cero grados. Depósitos superficiales de sedimentos lacustres, restos de plantas y agua-lodo hechos por el hombre. Depósitos aluviales del Pleistoceno y Oligoceno que contiene principalmente basalto de olivino  $MgFeSiO_4$ , cristales de labradorita  $Na(AlSi_3O_8)Ca(Al_2Si_2O_8)$  y augita  $Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$  (Aguayo *et al.*, 1989).
  10. Flora: Vegetación nativa, *Salix bomplandiana*, árbol de tamaño mediano, sembrado en los márgenes de las chinampas, hoja laminar mediana, textura suave, cobertura abierta o discontinua de 50 a 90 %.
- Vegetación cultivada en maceta y protegidos en invernadero cempoaxochitl (*Tagetes erecta* L.), nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* L.); y crisantemo (*Chrysanthemum* sp.) El riego se realiza con agua de canal.

#### II Descripción del perfil

Profundidad: 60 cm.

Capa de 0 a 20 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura granular; consistencia en seco es suelta; poros frecuentes medianos y finos; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces finas, pH de 8.

Capa de 20 a 40 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes medianos y finos dentro y fuera de los agregados; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces de tamaño delgado y medio, pH de 8.

Capa de 40 a 60 cm; ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes y medianos dentro y fuera de los agregados, continuos. Raíces raras y finas, pH de 8.

## NEGRA

### Perfil 7

#### I Descripción del sitio

1. Perfil número: 7
2. Descrito por: JMV
3. Fecha: 12 de septiembre de 1999
4. Localización: W -99°, 01', 14''; N 19°, 09', 22''
5. Localidad: San Luís Tlaxialtemalco
6. Elevación: 2,230 msnm.
7. Relieve: Plano
8. Drenaje superficial: Sitio receptor
9. Material parental: Cuaternario, ángulo y dirección del material depositado es de cero grados. Depósitos superficiales de sedimentos lacustres, restos de plantas y agua-lodo hechos por el hombre. Depósitos aluviales del Pleistoceno y Oligoceno que contiene principalmente basalto de olivino  $MgFeSiO_4$ , cristales de labradorita  $Na(AlSi_3O_8)Ca(Al_2Si_2O_8)$  y augita  $Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$  (Aguayo *et al.*, 1989).
10. Flora: Vegetación nativa, *Salix bomplandiana*, árbol de tamaño mediano, sembrado en los márgenes de las chinampas, hoja laminar mediana, textura suave, cobertura abierta o discontinua de 50 a 90 %, pasto común (*Cynodon dactylon* L.)  
Vegetación cultivada maíz (*Zea mays* L.).

#### II Descripción del perfil

Profundidad: 60 cm.

Capa de 0 a 20 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura granular; consistencia en seco es suelta; poros frecuentes medianos y finos; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Raíces comunes medias y delgadas, pH de 8.

Capa de 20 a 40 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes medianos y finos dentro y fuera de los agregados; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces de tamaño medio, pH de 8.

Capa de 40 a 60 cm; ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia en seco es blanda; poros frecuentes y medianos dentro y fuera de los agregados, continuos. Raíces raras, delgadas y finas, pH de 8.

## NEGRA

Los Perfiles 3 y 7 integran a la clase de tierra campesina Negra, estos perfiles se localizan en la porción E y SW de la zona de estudio (mapa 1). El color dominante es gris en seco (10YR 5/1) y negro (10YR 2/1) en húmedo. La densidad aparente y la densidad real disminuyen con la profundidad de manera irregular, mientras que el porcentaje de porosidad aumenta con la profundidad. El migajón arcilloso es la textura predominante en ambos perfiles, a excepción de la capa de 40 a 60 centímetros en el Perfil 7 que presenta migajón limoso.

El mayor contenido de materia orgánica en la zona de estudio se encuentra en la capa de 20 a 40 centímetros del Perfil 7, tiende a disminuir ligeramente con la profundidad de manera intermitente, similar comportamiento se observa en la capacidad de intercambio catiónico la cual presenta una asociación positiva con la materia orgánica ( $r= 0.6223$ , ver matriz de correlación múltiple 1 y 3).

El porcentaje de humedad aumenta ligeramente con la profundidad de manera irregular. En el Perfil 3 se tiene la mayor velocidad de infiltración en la zona de estudio con  $2.50 \text{ cm.h}^{-1}$  que corresponde a una velocidad moderada, en el Perfil 7 la velocidad de infiltración es lenta ( $1.13 \text{ cm.h}^{-1}$ ).

El catión intercambiable dominante en el Perfil 3 (se ubica en la porción NE de la zona de estudio) es el sodio; para el Perfil 7 (localizado al SW) el catión intercambiable dominante es el magnesio, esta diferencia se debe en primer lugar a la ubicación geográfica de los perfiles, las chinampas localizadas al sur de la zona de estudio domina el magnesio debido a la presencia de este elemento en los depósitos minerales procedentes de eventos volcánicos durante el cuaternario. El sodio soluble es el dominante para ambos perfiles debido a la presencia de sodio, sales y metales tóxicos en el agua que se vierte en los canales de la zona chinampera, aún después del tratamiento secundario que reciben en la planta de agua residual Cerro de la Estrella. El  $\text{SO}_4^{-2}$  es el anión dominante resultado tanto de la mineralización y oxidación de la materia orgánica; así como a la presencia de material de origen volcánico fuente de azufre elemental.

La clasificación por capacidad de uso es VS4 para ambos perfiles debido a la sodicidad extremadamente fuerte, mayor al 35%. En el Perfil 3 se cultivan flores en maceta, en el Perfil 7 maíz.

## CIENAGA II

### Perfil 5

#### I Descripción del sitio

1. Perfil número: 5
2. Descrito por: JMV
3. Fecha: 10 de septiembre de 1999
4. Localización: W -99°, 01', 13''; N 19°, 09', 38''
5. Localidad: San Luis Tlaxialtemalco
6. Elevación: 2,230 msnm.
7. Relieve: Plano
8. Drenaje superficial: Sitio receptor
9. Material parental: Cuaternario, ángulo y dirección del material depositado es de cero grados. Depósitos superficiales de sedimentos lacustres, restos de plantas y agua-lodo hechos por el hombre. Depósitos aluviales del Pleistoceno y Oligoceno que contiene principalmente basalto de olivino  $MgFeSiO_4$ , cristales de labradorita  $Na(AlSi_3O_8)Ca(Al_2Si_2O_8)$  y augita  $Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$  (Aguayo *et al.*, 1989).
10. Flora: Vegetación nativa, *Salix bomplandiana*, árbol de tamaño mediano, sembrado en los márgenes de las chinampas, hoja laminar mediana, textura suave, cobertura abierta o discontinua de 50 a 90 %, pasto común (*Cynodon dactylon* L.)  
Vegetación cultivada maíz (*Zea mays* L.)  
Fauna: *Lombricus terrestris* pueden observarse con facilidad, pero sin ser evidentes.

#### II Descripción del perfil

Profundidad: 30 cm.

Capa de 0 a 30 cm, saturado, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; sin estructura; consistencia en seco es suelta. Raíces pocas de tamaño medio, presencia de *Lombricus terrestris*, pH de 9.

## CIENAGA II

El Perfil 5 conforma al suelo de la clase de tierra campesina Cienaga II, ubicado al NW de la zona de estudio, la condición de inundación en temporal, el manto freático somero (30 cm. de profundidad) influyo en que se dividiera en dos la clasificación de tierra campesina original (Cienaga) establecida por el campesino.

El color en seco es gris (10YR5/1), y en húmedo es negro (10YR2/1). La densidad aparente y la densidad real son bajas. La porosidad es de 68.36% y corresponde a suelos esponjosos. El contenido de materia orgánica es de 117 g.Kg<sup>-1</sup>. La textura presente en el perfil es migajón arcilloso. El porcentaje de humedad es elevado; 119.57 %, el mayor porcentaje de humedad que se registra en la zona de estudio. La velocidad de infiltración es de 0.12 cm.h<sup>-1</sup>, la menor velocidad que se registra en la zona, lo cual esta relacionado tanto con el elevado porcentaje de humedad como el hecho de que el suelo esta saturado, factores que intervienen en la velocidad de infiltración; la cual corresponde a una velocidad muy lenta.

El pH es alcalino, el orden descendente de las curvas de pH es:  
pH H<sub>2</sub>O 1:10 > pH H<sub>2</sub>O 1:5 > pH KCl 1:10 > pH KCl 1:5

La saturación de las bases intercambiables y solubles se presenta en el orden:  
Na<sup>+</sup> > Mg<sup>+2</sup> > Ca<sup>+2</sup> > K<sup>+</sup>

El Na<sup>+</sup> es el catión predominante en forma intercambiable y soluble, la presencia se debe al agua que se vierte en los canales que circundan a la zona chinampera. Aún después del tratamiento secundario en la planta de agua residual Cerro de la Estrella (ubicada al norte de la zona de estudio), los 149.8 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> contienen en promedio (anual) 0.069 mg.L<sup>-1</sup> de Pb; 0.056 mg.L<sup>-1</sup> de Cr; 75.72 mg.L<sup>-1</sup> de Na; 165.96 mg.L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub> y 57.16 mg. L<sup>-1</sup> de Cl (DGCOH, 2000 cita en Ramos-Bello *et al.*, 2001). El SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> es el anión dominante resultado tanto de la mineralización y oxidación de la materia orgánica; así como a la presencia de material de origen volcánico fuente de azufre elemental.

La capacidad de intercambio catiónico es de 63.20 cmol.Kg<sup>-1</sup>. El porcentaje de sodio intercambiable es mayor al 15 % en todo el perfil. El pH del extracto de saturación es alcalino (8.60). La conductividad eléctrica es mayor a 4 dS.m<sup>-1</sup> en todo el perfil.

La clasificación por capacidad de uso es VS4IIIS3IVD2IIIS2, por presentar sodicidad extremadamente fuerte (104.91%), inundación sólo en temporal, manto freático somero (a 30 centímetros de profundidad), salinidad moderada (11.53 dS m<sup>-1</sup>), y una profundidad efectiva somera (de 30 centímetros). En el Perfil 5 se cultiva maíz.

Al comparar entre si las clases de tierra campesina se observo que coinciden al 100% en 8 variables físicas y químicas en todos los perfiles: Densidad aparente; porosidad total; materia orgánica; cationes solubles; aniones solubles; PSI; conductividad eléctrica y pH de la solución. La densidad aparente tiende a disminuir con la profundidad de manera irregular, el porcentaje de porosidad va de 66.39 a 77.23% que corresponde a suelos esponjosos. PSI > 15 %, conductividad eléctrica > 4 dS.m<sup>-1</sup>, el pH de la solución < 8.5. El contenido de materia orgánica es elevado (ver cuadro 25 en el Apéndice) varía de 13.80 a 120.75 g.Kg<sup>-1</sup> e influye en las propiedades físicas y químicas de estos suelos de chinampa. Los cationes solubles se presentan en el orden:  
Na<sup>+</sup>>Mg<sup>2+</sup>>Ca<sup>2+</sup>>K<sup>+</sup>

El pH es alcalino, el orden descendente de las curvas es el siguiente:  
pH H<sub>2</sub>O 1:10 > pH H<sub>2</sub>O 1:5 > pH KCl 1:10 > pH KCl 1:5

El color coincide entre las cuatro clases de tierra campesina en el 99% de los casos.

La densidad real tiende a disminuir con la profundidad de manera irregular en los perfiles que conforman a las clases de tierra campesina Negra, Cienaga I y Cienaga II. En los Perfiles 1 y 6 que forman a la clase de tierra campesina Blanca la densidad real tiende a aumentar de forma errática con la profundidad. El Perfil 1 se ubica en la porción NE y el catión intercambiable dominante es el Na<sup>+</sup>; el Perfil 6 se localiza al SE y el Mg<sup>2+</sup> es el catión intercambiable predominante, pero estos perfiles presentan un comportamiento similar en las variables pH H<sub>2</sub>O 1:5; pH H<sub>2</sub>O 1:10; Ca<sup>2+</sup> intercambiable; Mg<sup>2+</sup> intercambiable; capacidad de intercambio catiónico; K<sup>+</sup> intercambiable (Figuras 17, 18, 23, 24, 26, 27 y 34).

Cada clase de tierra campesina es un conjunto de perfiles que se agrupan por compartir características similares, que identifican los campesinos con base al conocimiento empírico en relación al color del suelo, ubicación geográfica y diferencias en la producción de determinado cultivo, y sin necesidad de realizar análisis de suelo en el laboratorio. Al realizar análisis de suelo en el laboratorio y comparar por clase; se tiene que en cada clase de tierra campesina, la ubicación geográfica, la clasificación por capacidad de uso; densidad real; textura; porcentaje de humedad; cationes intercambiables coinciden al interior de cada clase en el 66% de los casos.

El valor de la velocidad de infiltración es diferente para cada uno de los perfiles.

Los procesos pedológicos (Buol, 1986) característicos de la zona de estudio son:

- Salinización; acumulación de cationes y aniones solubles, tales como SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>.
- Alcalinización; acumulación de iones de sodio en los sitios de intercambio del suelo.

Los procesos antropogénicos (WRB, 1999) característicos de la zona de estudio son:

- Fertilización intensiva; aplicación continua de fertilizantes orgánicos, como restos de cosecha, abono de vaca, plantas acuáticas.
- Aplicación continúa de materiales terrosos como el agua-lodo de canales y zanjas.
- Riego; aplicación constante de agua de canal contaminada, debido a la presencia de sales, sodio y metales tóxicos en el agua que se vierten en los canales que circundan a la zona chinampera, aún después del tratamiento secundario en la planta de agua residual Cerro de la Estrella.

El porcentaje de saturación de bases con acetato de amonio 1M en todos los perfiles es mayor al 50%.

El presente trabajo propone la Serie "San Luis Tlaxialtemalco" para este grupo de suelos con capas similares tanto en su naturaleza, arreglo y desarrollo a partir de un mismo material original, así como posiciones en el paisaje comparables. Cumplen con la definición hecha por Ortiz en 1984 que nos dice: Los suelos comprendidos dentro de una Serie son esencialmente homogéneos en muchas de sus características, y en otras de las características presentan heterogeneidad como pendiente, pedregosidad, grado de erosión, posición topográfica, profundidad, etcétera.

En la siguiente página se describe a la Serie "San Luis Tlaxialtemalco".

Los cuadros y gráficas de los análisis físicos, químicos y pasta de saturación se encuentran en las páginas siguientes.

### **Serie "San Luis Tlaxialtemalco"**

Estos suelos se localizan en la zona chinampera del pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco.

Suelos formados por el hombre en planicie lacustre, a través de la adición de fango y materia orgánica, de color oscuro, con problemas de sales y sodio, pH alcalino menor o igual a 8.5, conductividad eléctrica mayor a  $4 \text{ dS.m}^{-1}$ , PSI mayor al 15%.

#### **Descripción del Perfil**

Capa de 0 a 20 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura granular; consistencia, suelta; poros frecuentes medianos y finos; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces finas, pH de 8.

Capa de 20 a 40 cm, ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia, friable; poros frecuentes medianos y finos dentro y fuera de los agregados; continuos, orientación caótica, de forma vesicular. Pocas raíces de tamaño delgado y medio, pH de 8.

Capa de 40 a 60 cm; ligeramente húmedo, color negro (10YR2/1); textura, arcilla fina; estructura débilmente desarrollada; consistencia, friable; poros frecuentes y medianos dentro y fuera de los agregados, continuos. Raíces raras y finas, pH de 8.

#### **Rangos de variación**

Color castaño (10YR5/3), raíces de ausentes a comunes, suelos saturados en la porción noroeste (NW) de la zona, pH de 9 y presencia de *Lombricus terrestris*.

Cuadro 11. Análisis físicos de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxiatemalco

Perfil	Color Seco	Color Humedo	D.A (Mg.m <sup>-3</sup> )	DR (Mg.m <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Am(%)	Lm(%)	Arc(%)	Textura	Hd (%)	Vel Infil (cm.h <sup>-1</sup> )
P1 0-20	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.61	2.21	72.38	34.00	34.00	32.00	Migajón Arcilloso	87.04	
P1 20-40	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.61	2.02	69.63	38.00	29.60	32.40	Migajón Arcilloso	88.68	0.27
P1 40-60	10YR 7/1Gris Claro	10YR 4/1 Gris Oscuro	0.49	2.17	77.23	46.80	33.60	19.60	Franco	106.12	
P2 0-20	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.61	2.06	70.17	33.20	38.00	28.80	Migajón Limoso	74.14	
P2 20-40	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.63	2.06	69.18	33.60	41.60	24.80	Migajón Limoso	71.19	0.54
P2 40-60	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.53	2.02	73.95	38.00	29.60	32.40	Migajón Arcilloso	83.64	
P3 0-20	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.61	2.10	70.71	42.00	29.20	28.80	Migajón Arcilloso	88.68	
P3 20-40	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.63	2.07	69.33	36.00	31.20	32.80	Migajón Arcilloso	88.68	2.50
P3 40-60	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.53	2.05	74.32	42.00	29.20	28.80	Migajón Arcilloso	104.08	
P4 0-20	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.65	1.99	67.34	44.00	29.20	26.80	Franco	94.23	
P4 20-40	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.63	2.12	70.51	37.60	31.60	30.80	Migajón Arcilloso	90.57	1.56
P4 40-60	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.64	2.02	68.54	43.60	25.60	30.80	Migajón Arcilloso	106.12	
P5 0-30	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.63	1.98	68.36	32.00	28.80	39.20	Migajón Arcilloso	119.57	0.12
P6 0-20	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.67	2.02	66.81	43.20	29.20	27.60	Franco	56.25	
P6 20-40	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.68	2.06	66.80	31.60	35.60	32.80	Migajón Arcillo Limoso	71.19	0.34
P6 40-60	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.65	2.13	69.49	36.00	31.20	32.80	Migajón Arcilloso	50.75	
P7 0-20	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.66	2.10	68.82	35.60	31.20	33.20	Migajón Arcilloso	98.04	
P7 20-40	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.65	1.93	66.39	35.60	37.60	26.80	Migajón Limoso	96.08	1.13
P7 40-60	10YR 5/1Gris	10YR 2/1 Negro	0.61	1.97	69.19	37.20	33.60	29.20	Migajón Arcilloso	106.12	

Nota: El color del suelo es una propiedad morfológica.

Hd(%) = Porcentaje de humedad

## Propiedades físicas de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco

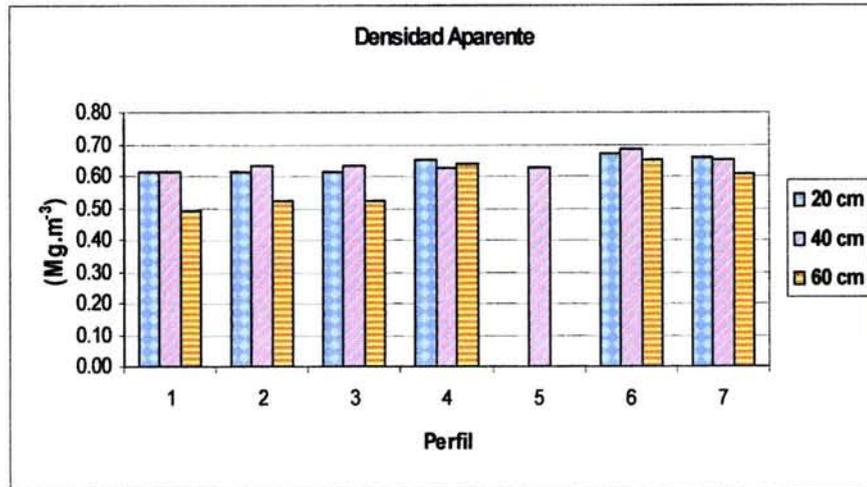


Fig. 9

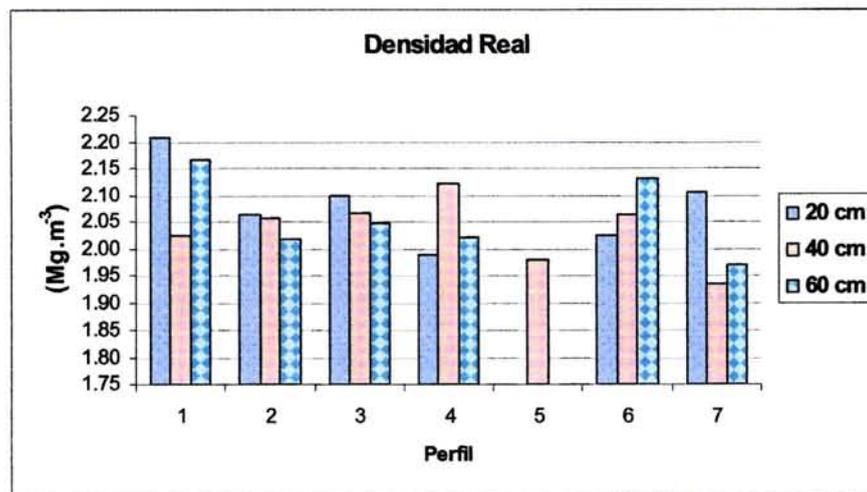


Fig. 10

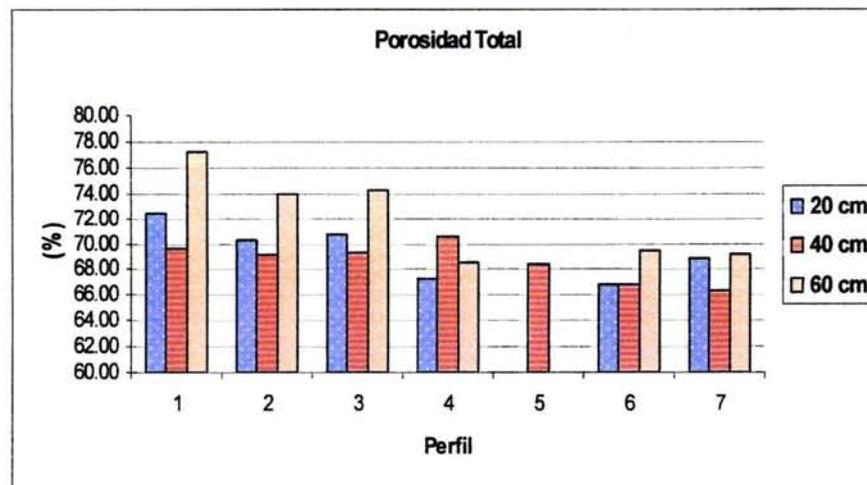


Fig. 11

**Propiedades físicas de los perfiles de suelos de San Luis Tlaxialtemalco**

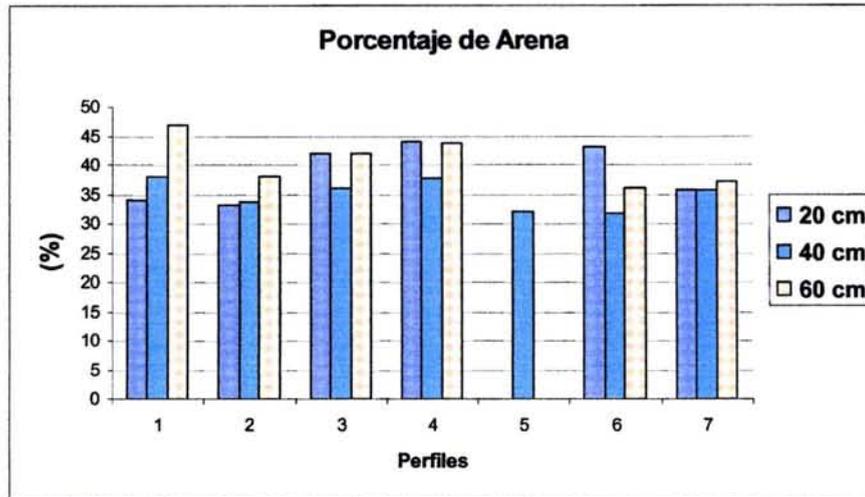


Fig. 12

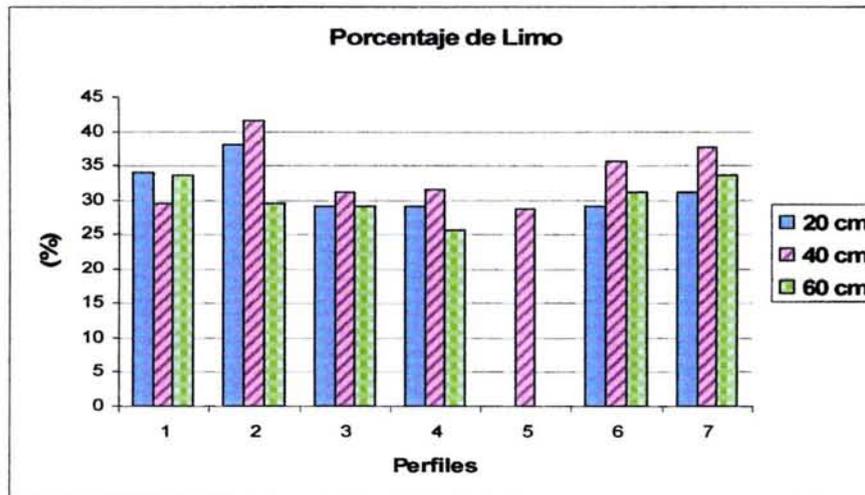


Fig. 13

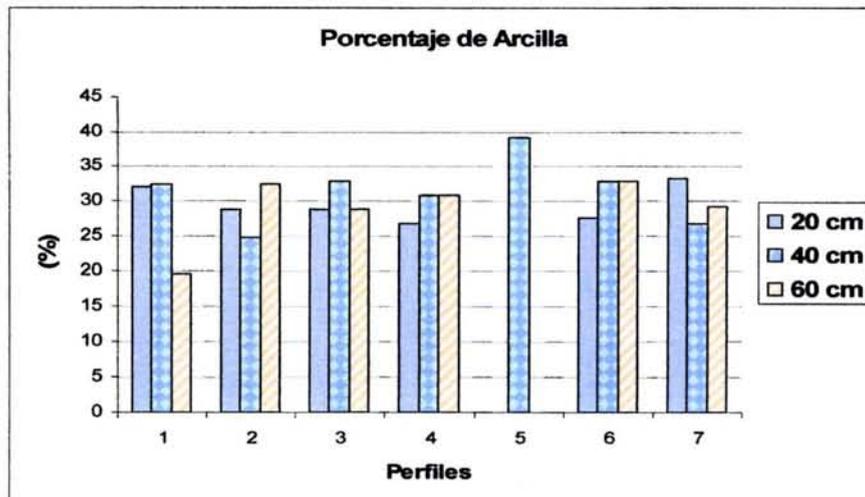


Fig. 14

## Propiedades físicas de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxiátemalco

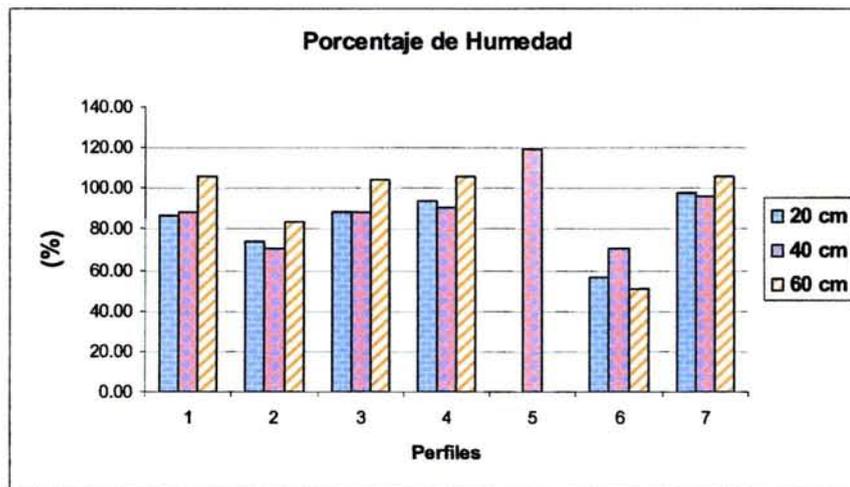


Fig. 15

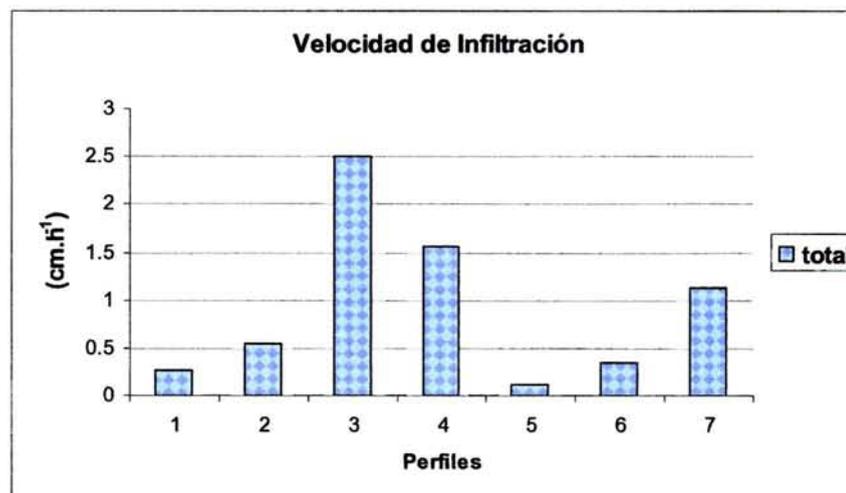


Fig. 16

Cuadro 12. Análisis químicos de los perfiles de suelos de San Luis Tlaxiathemalco

Perfil	pH 1:6 H <sub>2</sub> O	pH 1:10 H <sub>2</sub> O	pH 1:6 KCl	pH 1:10 KCl	MO (g.Kg <sup>-1</sup> )	C (g.Kg <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	CIC (cmol.Kg <sup>-1</sup> )	PSB (%)	PSI (%)
P1 0-20	7.80	7.80	7.20	7.60	100.05	58.03	24.00	16.00	38.04	2.56	48.20		78.93
P1 20-40	8.00	8.00	7.30	7.60	75.9	44.02	24.00	8.00	33.70	1.67	47.80	175.52	70.49
P1 40-60	8.00	8.10	7.40	7.60	13.8	8.00	12.00	18.00	54.35	1.47	37.20		146.10
P2 0-20	8.00	8.10	7.40	7.70	69	40.02	18.00	52.00	13.04	3.78	42.00		31.06
P2 20-40	8.00	8.10	7.50	7.70	69	40.02	18.00	8.00	13.04	3.40	50.20	161.95	25.98
P2 40-60	8.40	8.30	7.30	7.60	86.25	50.03	16.00	24.00	43.48	1.03	39.80		109.24
P3 0-20	8.30	8.40	7.30	7.40	96.6	56.03	22.00	22.00	41.30	1.03	49.60		83.27
P3 20-40	8.40	8.20	7.20	7.40	86.25	50.03	16.00	22.00	45.65	0.38	38.80	192.39	117.66
P3 40-60	7.90	8.00	7.20	7.30	79.35	46.02	18.00	22.00	47.83	0.38	46.00		103.97
P4 0-20	7.80	7.90	7.20	7.30	113.85	66.03	20.00	24.00	69.57	5.13	50.40		138.03
P4 20-40	8.30	8.40	7.50	7.60	82.8	48.02	15.00	25.00	10.87	3.65	43.80	168.18	24.82
P4 40-60	8.10	8.10	7.40	7.50	37.95	22.01	22.00	23.00	11.96	2.24	44.00		27.17
P5 0-30	9.50	9.30	8.20	8.40	117.3	68.03	12.00	22.00	66.30	3.59	63.20	164.38	104.91
P6 0-20	8.20	8.30	7.70	8.00	69	40.02	22.00	50.00	17.39	3.53	51.40		33.84
P6 20-40	8.30	8.40	7.60	7.90	79.35	46.02	22.00	38.00	50.00	2.37	42.80	222.29	116.82
P6 40-60	8.30	8.60	7.60	7.80	75.9	44.02	16.00	42.00	31.52	1.28	39.00		80.82
P7 0-20	8.10	8.20	7.50	7.70	106.95	62.03	18.00	41.00	26.09	0.77	46.00		56.17
P7 20-40	8.20	8.40	7.70	7.80	120.75	70.04	22.00	40.00	14.13	0.58	57.00	154.20	24.79
P7 40-60	8.20	8.40	7.70	7.90	103.5	60.03	14.00	46.00	13.04	0.32	50.00		26.09

## Propiedades químicas de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco

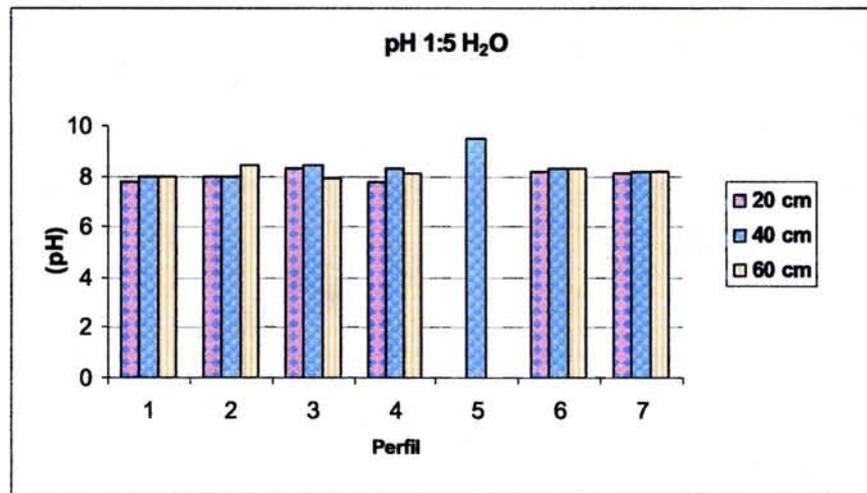


Fig. 17

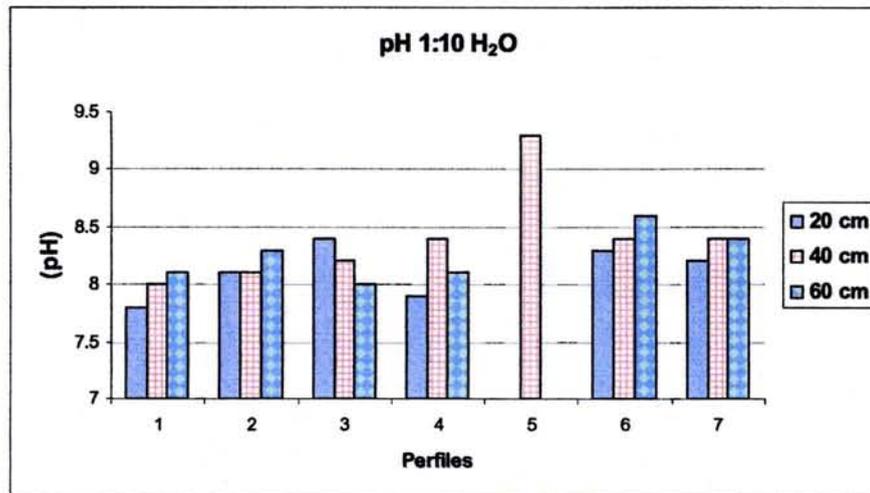


Fig. 18

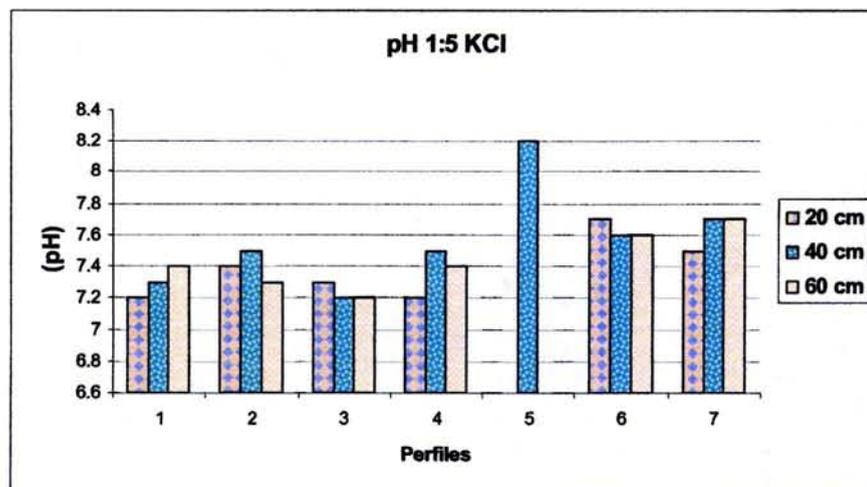


Fig. 19

## Propiedades químicas de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco

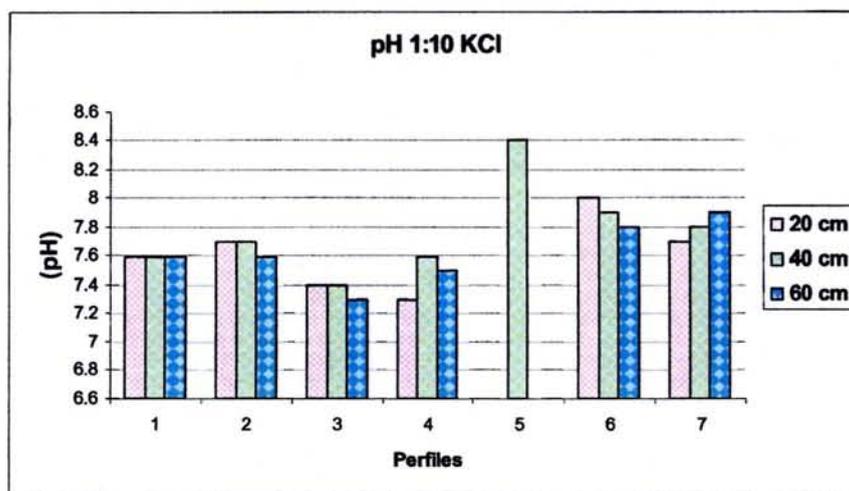


Fig. 20

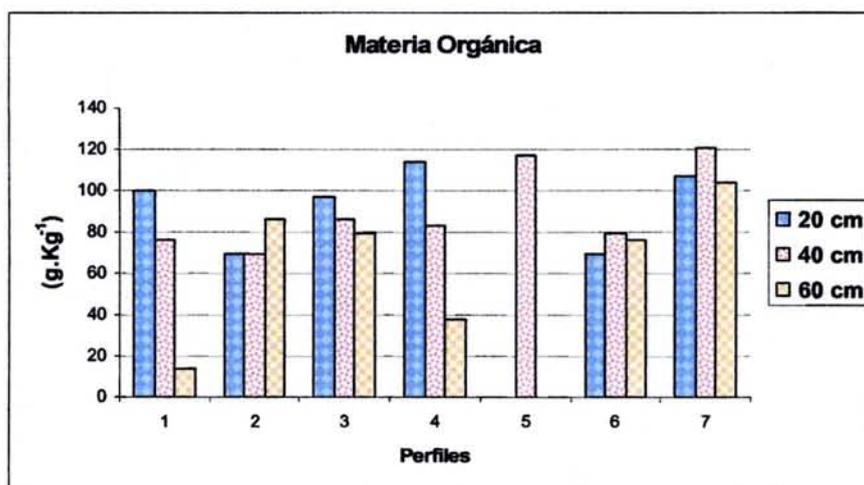


Fig. 21

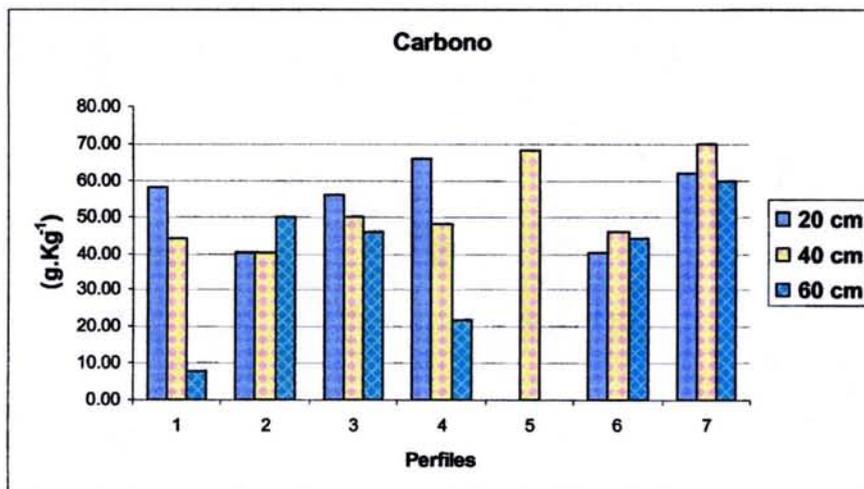


Fig. 22

## Propiedades químicas de los perfiles de suelos de San Luis Tlaxialtemalco

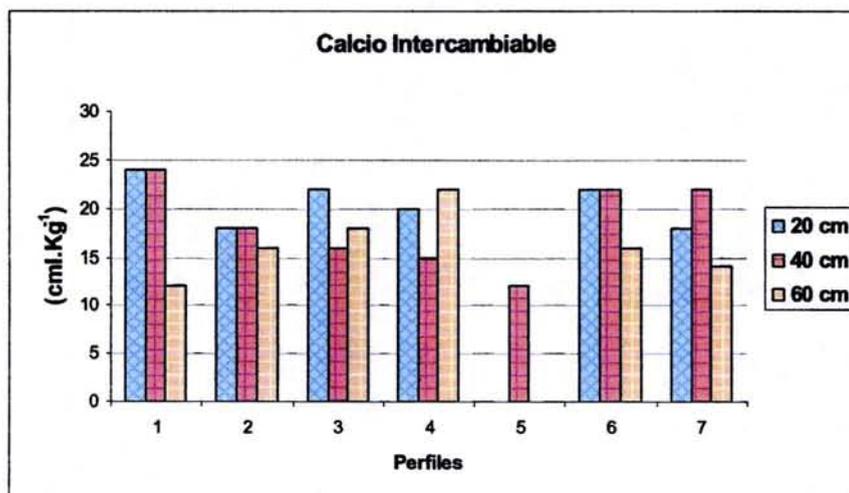


Fig. 23

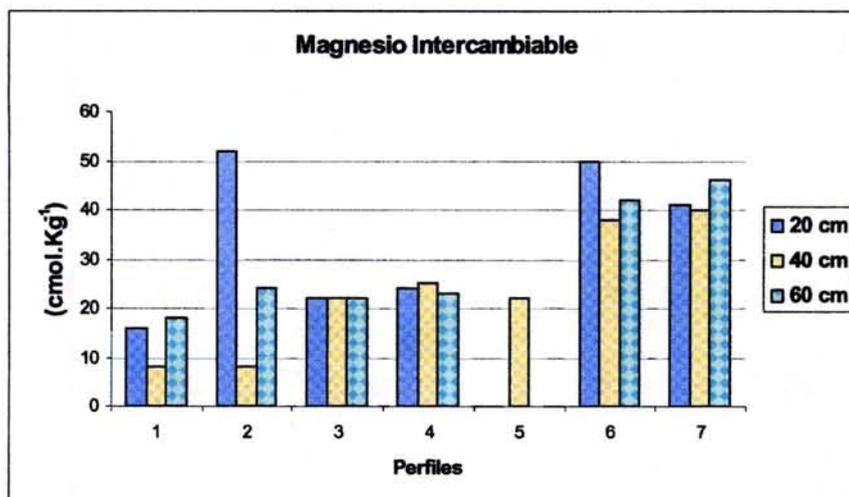


Fig. 24

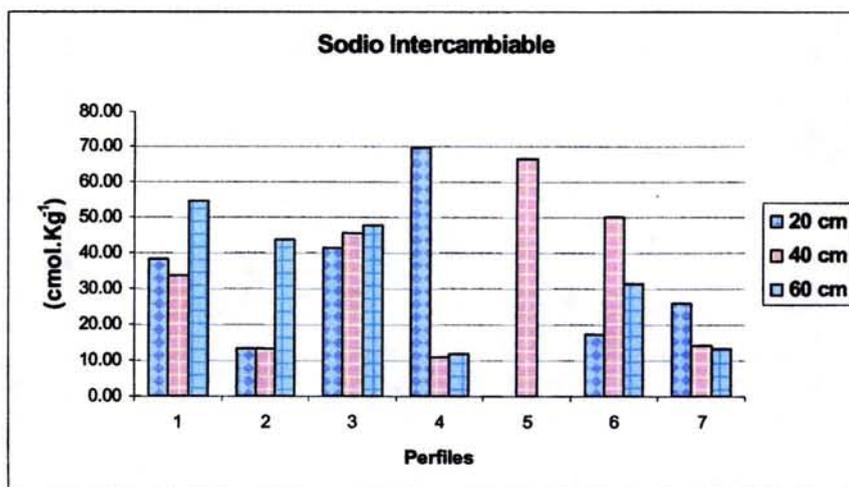


Fig. 25

## Propiedades químicas de los perfiles de suelos de San Luis Tlaxialtemalco

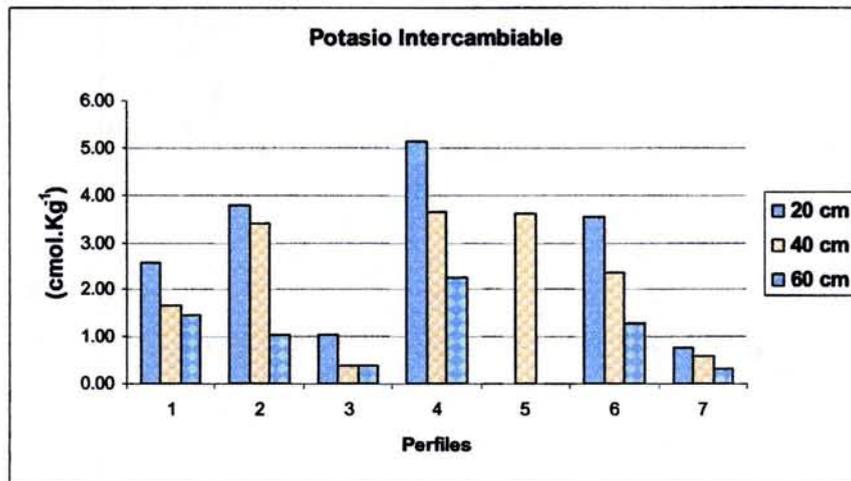


Fig. 26

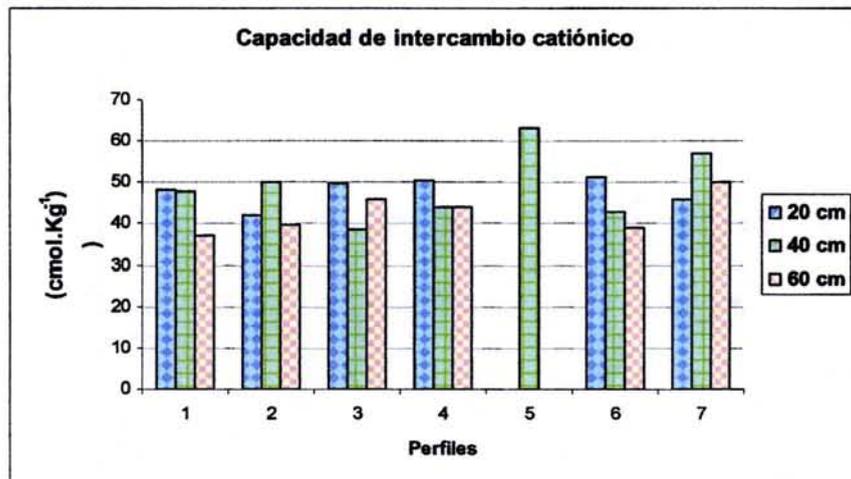


Fig. 27

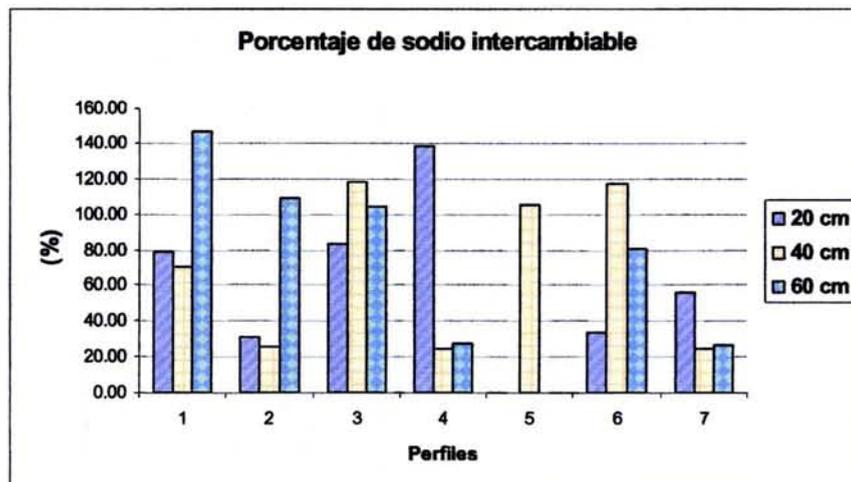


Fig. 28

Cuadro 13. Análisis químico del extracto de la pasta de saturación de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco

Perfil	pH	C.E (dS.m <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (cmol.L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (cmol.L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (cmol.L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (cmol.L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (cmol.L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (cmol.L <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (cmol.L <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (cmol.L <sup>-1</sup> )
P1 0-20	8.30	5.94	18.20	23.80	34.78	0.08	8.23	0.14	0.40	0.20
P1 20-40	8.40	5.48	15.80	20.20	33.70	0.06	6.34	0.13	0.40	0.20
P1 40-60	8.10	6.37	15.60	26.80	38.04	0.01	5.48	0.13	0.00	0.20
P2 0-20	8.00	24.81	41.20	85.60	119.02	0.17	4.11	0.50	0.20	0.10
P2 20-40	8.00	29.67	37.80	87.00	132.74	0.15	6.17	0.27	0.20	0.20
P2 40-60	5.20	8.30	16.00	38.40	47.83	0.05	7.88	0.24	0.00	0.10
P3 0-20	8.50	5.47	9.20	22.40	36.96	0.04	4.97	0.11	0.20	0.20
P3 20-40	8.30	5.65	7.40	22.00	39.13	0.01	9.08	0.13	0.20	0.10
P3 40-60	8.20	6.66	13.40	23.00	46.74	0.03	5.14	0.16	0.00	0.10
P4 0-20	8.10	17.07	29.80	70.20	90.00	0.24	6.68	0.12	0.20	0.30
P4 20-40	8.10	15.44	26.00	66.00	86.09	0.14	7.20	0.11	0.20	0.20
P4 40-60	8.10	14.73	23.00	68.20	83.70	0.08	7.88	0.13	0.00	0.20
P5 0-30	8.60	11.53	11.80	21.20	78.26	0.21	5.31	0.09	0.20	0.10
P6 0-20	7.90	35.16	32.80	143.80	190.43	0.10	6.17	0.13	0.40	0.20
P6 20-40	8.20	9.36	16.80	47.00	54.35	0.09	6.85	0.10	0.00	0.10
P6 40-60	8.40	4.89	9.80	21.20	28.26	0.05	5.14	0.06	0.20	0.10
P7 0-20	8.30	5.25	16.20	38.00	22.83	0.01	4.11	0.03	0.20	0.10
P7 20-40	8.30	14.44	25.40	63.60	106.52	0.03	4.97	0.12	0.40	0.10
P7 40-60	8.20	14.91	21.00	71.60	91.30	0.03	5.48	0.19	0.40	0.10

**Propiedades químicas del extracto de la pasta de saturación de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxiátemalco**

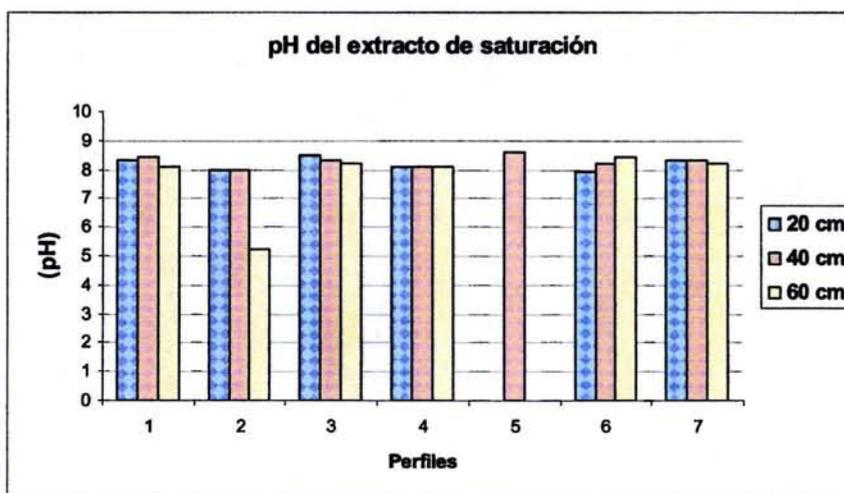


Fig. 29

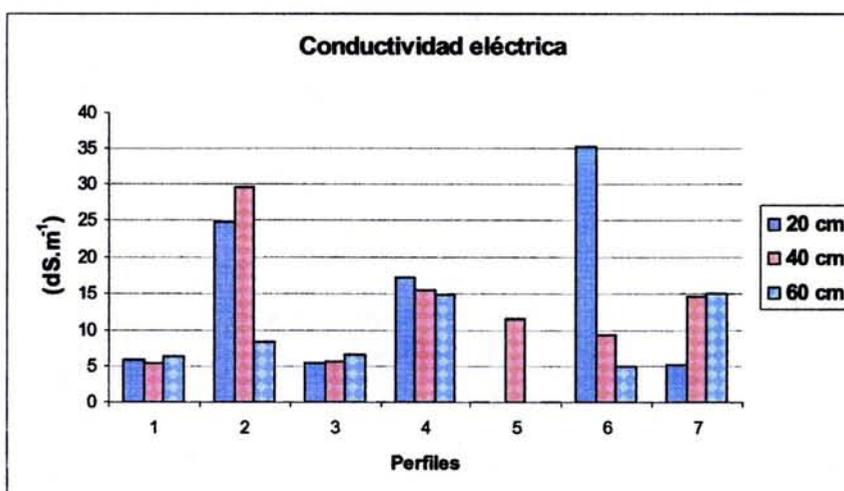


Fig. 30

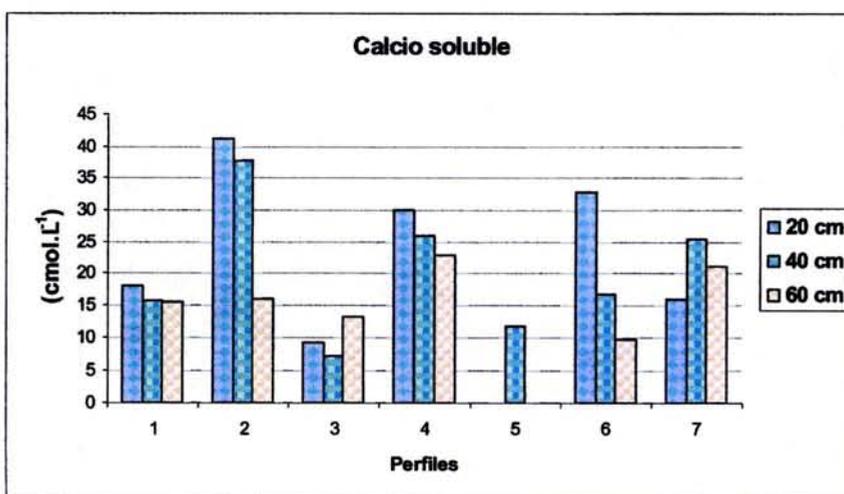


Fig. 31

**Propiedades químicas del extracto de la pasta de saturación de los perfiles de suelos de San Luis Tlaxiátemalco**

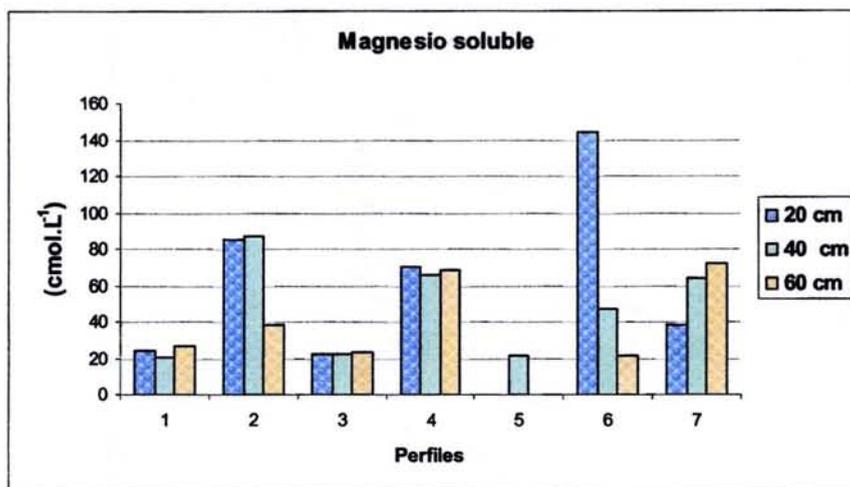


Fig. 32

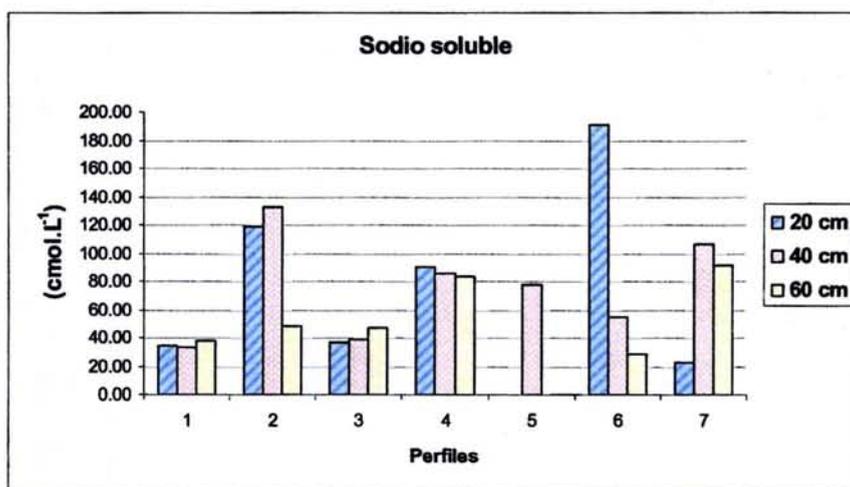


Fig. 33

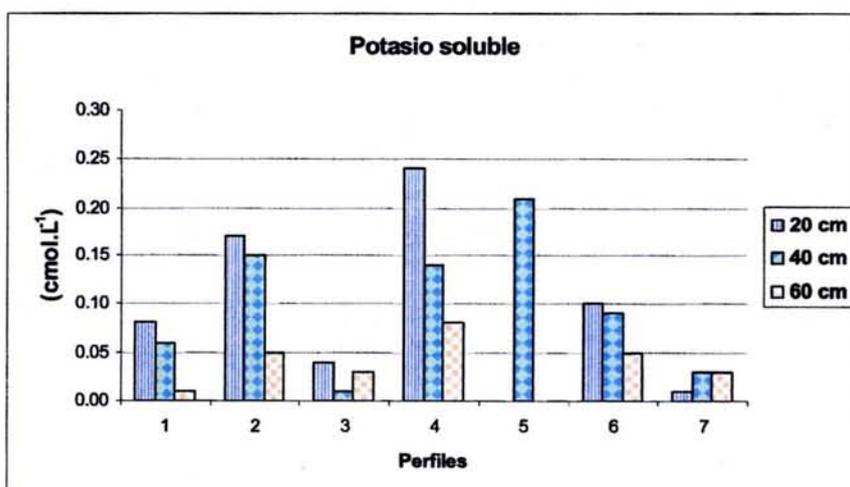


Fig. 34

**Propiedades químicas del extracto de la pasta de saturación de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco**

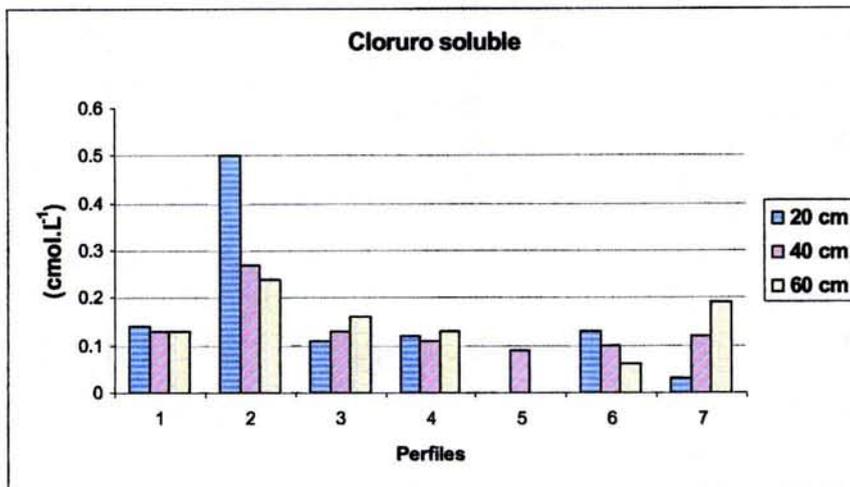


Fig. 35

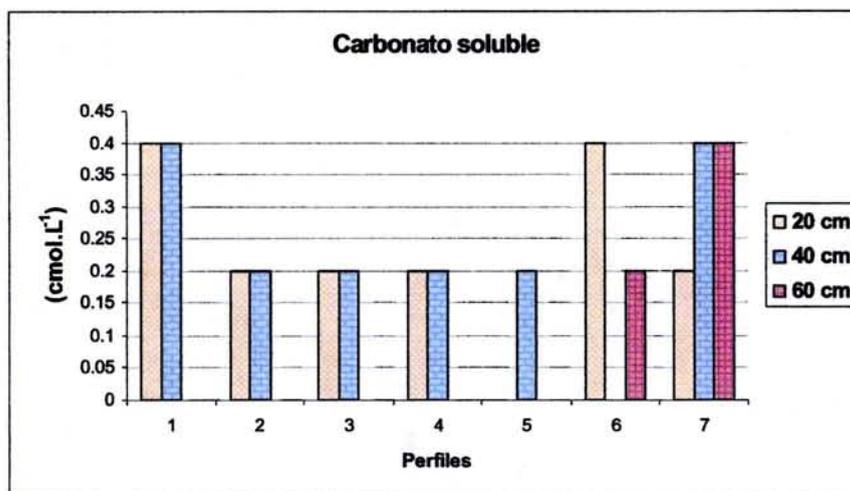


Fig. 36

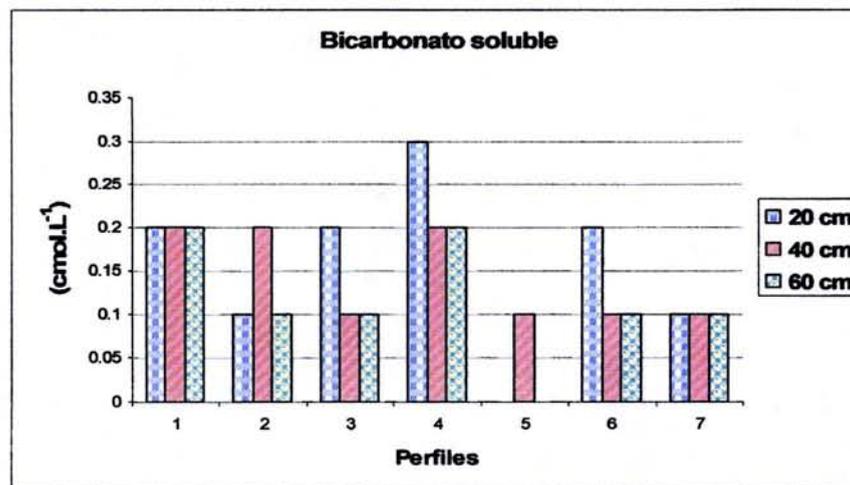


Fig. 37

**Propiedades químicas del extracto de la pasta de saturación de los perfiles de suelos de San Luís Tlaxialtemalco**

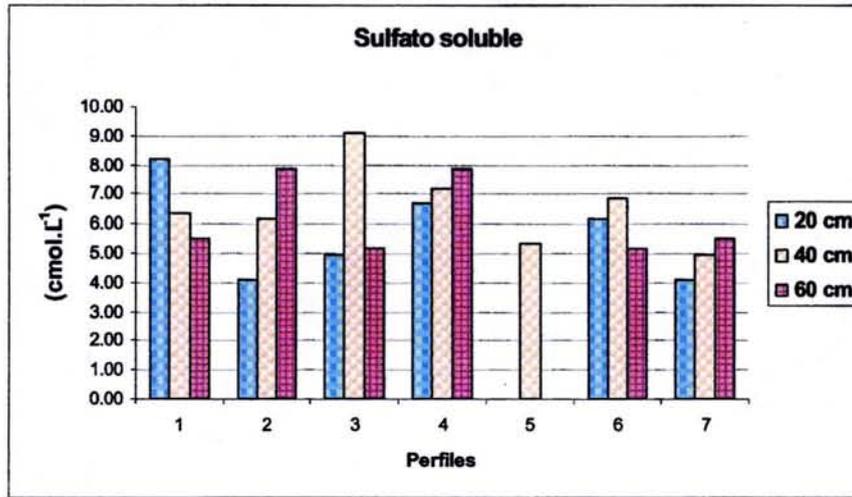


Fig. 38

Cuadro 14. Matriz de Correlación Múltiple 1

M.O	D.A	D.R	PT	CIC	Limo	Arcilla	Arena	C. E	pH 1:10 H <sub>2</sub> O	pH sol	Humedad
1	0.4208	-0.3919	-0.4769	0.6233	0.0171	0.4903	-0.4642	-0.1094	0.0951	0.3069	0.1471
0	0.0728	0.0970	0.0390	0.0044	0.9446	0.0331	0.0453	0.6558	0.6986	0.2013	0.5480
0.4208	1	-0.2506	-0.9402	0.3562	0.0708	0.3798	-0.4102	0.3236	0.4143	0.2235	-0.3642
0.0728	0	0.3008	0	0.1344	0.7734	0.1087	0.0811	0.1765	0.0778	0.3577	0.1252
-0.3919	-0.2506	1	0.5567	-0.5559	0.0839	-0.1217	0.0378	-0.3439	0.1223	-0.3033	-0.2347
0.0970	0.3008	0	0.0133	0.0135	0.7327	0.6196	0.8779	0.1494	0.618	0.2068	0.3334
-0.4769	-0.9402	0.5567	1	-0.4991	-0.068	-0.3254	0.3580	-0.4091	-0.3364	-0.2822	0.2435
0.0390	0	0.0133	0	0.0296	0.7819	0.1739	0.1324	0.082	0.1591	0.2417	0.3151
0.6233	0.3562	-0.5559	-0.4991	1	0.011	0.2178	-0.2092	0.2963	0.3234	0.4312	0.3263
0.0044	0.1344	0.0135	0.0296	0	0.9644	0.3705	0.3901	0.2180	0.1768	0.0653	0.1727
0.0171	0.0708	0.0839	-0.068	0.0110	1	-0.3800	-0.5309	0.3375	0.0747	-0.1286	-0.2945
0.9446	0.7734	0.7327	0.7819	0.9644	0	0.1085	0.0194	0.1576	0.7613	0.5998	0.2209
0.4903	0.3798	-0.1217	-0.3254	0.2178	-0.38	1	-0.5822	-0.3373	0.0170	0.5208	-0.0692
0.0331	0.1087	0.6196	0.1739	0.3705	0.1085	0	0.0089	0.1578	0.9450	0.0222	0.7783
-0.4642	-0.4102	0.0378	0.358	-0.2092	-0.5309	-0.5822	1	0.0124	-0.0812	-0.3641	0.1955
0.0453	0.0811	0.8779	0.1324	0.3901	0.0194	0.0089	0	0.9599	0.7411	0.1254	0.42225
-0.1094	0.3236	-0.3439	-0.4091	0.2963	0.3375	-0.3373	0.0124	1	-0.0638	-0.0351	-0.3584
0.6558	0.1765	0.1494	0.0820	0.2180	0.1576	0.1578	0.9599	0	0.7954	0.8866	0.1318
0.0951	0.4143	0.1223	-0.3364	0.3234	0.0747	0.0170	-0.0812	-0.0638	1	0.1018	0.1440
0.6986	0.0778	0.618	0.1591	0.1768	0.7613	0.945	0.7411	0.7954	0	0.6785	0.5564
0.3069	0.2235	-0.3033	-0.2822	0.4312	-0.1286	0.5208	-0.3641	-0.0351	0.1018	1	0.1241
0.2013	0.3577	0.2068	0.2417	0.0653	0.5998	0.0222	0.1254	0.8866	0.6785	0	0.6128
0.1471	-0.3642	-0.2347	0.2435	0.3263	-0.2945	0.0692	0.1955	-0.3584	0.1440	0.1241	1
0.5480	0.1252	0.3334	0.3151	0.1727	0.2209	0.7783	0.4225	0.1318	0.5564	0.6128	0

Coefficiente de Correlación  
Nivel de Significancia

Cuadro 15. Matriz de Correlación Múltiple 2

	pH 1:10 H <sub>2</sub> O	M.O	C.E	pH sol	Ca <sup>2+</sup> int.	Mg <sup>2+</sup> int.	Na <sup>+</sup> int.	K <sup>+</sup> int.	CIC
pH 1:10 H <sub>2</sub> O	1	0.0951	-0.0638	0.1121	0.1373	0.0209	-0.014	0.0694	0.3234
M.O	0	0.6986	0.7954	0.6478	0.5752	0.9325	0.9545	0.7776	0.1768
C.E	0.0951	1	-0.1094	0.1993	0.1119	0.1665	0.1539	-0.0108	0.6233
pH sol	0.6986	0	0.6558	0.4133	0.6483	0.4957	0.5293	0.9650	0.0044
Ca <sup>2+</sup> int.	-0.0638	-0.1094	1	0.2816	0.0894	0.3124	-0.4765	0.6044	0.2963
Mg <sup>2+</sup> int.	0.7954	0.6558	0	0.2427	0.7160	0.1928	0.0392	0.0061	0.2180
Na <sup>+</sup> int.	0.1121	0.1993	0.2816	1	-0.2686	0.3822	-0.0861	0.1771	0.5041
K <sup>+</sup> int.	0.6478	0.4133	0.2427	0	0.2661	0.1064	0.7261	0.4682	0.0278
CIC	0.1373	0.1119	0.0894	-0.2686	1	-0.0524	-0.1876	0.0823	0.1497
	0.5752	0.6483	0.7160	0.2661	0	0.8311	0.4418	0.7377	0.5408
	0.0209	0.1665	0.3124	0.3822	-0.0524	1	-0.3642	-0.0455	-0.0172
	0.9325	0.4957	0.1928	0.1064	0.8311	0	0.1253	0.8532	0.9443
	-0.0140	0.1539	-0.4765	-0.0861	-0.1876	-0.3642	1	0.0857	0.0417
	0.9545	0.5293	0.0392	0.7261	0.4418	0.1253	0	0.7273	0.8655
	0.0694	-0.0108	0.6044	0.1771	0.0823	-0.0455	0.0857	1	0.2621
	0.7776	0.9650	0.0061	0.4682	0.7377	0.8532	0.7273	0	0.2784
	0.3234	0.6233	0.2963	0.5041	0.1497	-0.0172	0.0417	0.2621	1
	0.1768	0.0044	0.2180	0.0278	0.5408	0.9443	0.8655	0.2784	0

Coefficiente de Correlación  
Nivel de Significancia

Cuadro 16. Matriz de Correlación Múltiple 3

	M.O	C.E	pH 1:10 H <sub>2</sub> O	pH sol	Ca <sup>2+</sup> sol.	Mg <sup>2+</sup> sol.	Na <sup>+</sup> sol.	K <sup>+</sup> sol.	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
M.O	1	-0.1094	0.0951	0.1993	-0.1090	-0.1072	-0.0296	0.1871	-0.2038	-0.1221	0.4860	-0.2084
	0	0.6558	0.6986	0.4133	0.6570	0.6623	0.9042	0.4432	0.4027	0.6185	0.0349	0.3918
C.E	-0.1094	1	-0.0638	0.2816	0.8798	0.9419	0.9724	0.5287	0.4833	-0.0995	0.2576	0.2622
	0.6558	0	0.7954	0.2427	0	0	0	0.0200	0.0361	0.6853	0.2869	0.2781
pH 1:10 H <sub>2</sub> O	0.0951	-0.0638	1	0.1121	-0.0868	-0.1096	-0.0345	0.0441	-0.3220	-0.3142	0.3436	0.1228
	0.6986	0.7954	0	0.6478	0.7238	0.6550	0.8885	0.8576	0.1789	0.1902	0.1498	0.6163
pH sol	0.1993	0.2816	0.1121	1	0.0731	0.2157	0.3466	0.2299	-0.0647	-0.2852	0.2821	-0.3907
	0.4133	0.2427	0.6478	0	0.7661	0.3752	0.1461	0.3438	0.7926	0.2365	0.2420	0.0982
Ca <sup>2+</sup> sol.	-0.109	0.8798	-0.0868	0.0731	1	0.8412	0.8145	0.5534	0.6329	-0.1511	0.2198	0.3226
	0.6570	0	0.7238	0.7661	0	0	0	0.0140	0.0036	0.5370	0.3659	0.1780
Mg <sup>2+</sup> sol.	-0.1072	0.9419	-0.1096	0.2157	0.8412	1	0.9370	0.3733	0.3603	-0.0652	0.2715	0.2581
	0.6623	0	0.6550	0.3752	0	0	0	0.1155	0.1297	0.7908	0.2609	0.2860
Na <sup>+</sup> sol.	-0.0296	0.9724	-0.0345	0.3466	0.8145	0.9370	1	0.4769	0.3990	-0.0989	0.3175	0.2084
	0.9042	0	0.8885	0.1461	0	0	0	0.0390	0.0906	0.6871	0.1854	0.3918
K <sup>+</sup> sol.	0.1871	0.5287	0.0441	0.2299	0.5534	0.3733	0.4769	1	0.2706	0.0248	0.0324	0.4216
	0.4432	0.0200	0.8576	0.3438	0.0140	0.1155	0.0390	0	0.2625	0.9198	0.8953	0.0722
Cl <sup>-</sup>	0.6233	0.2963	0.3234	0.5041	0.1647	0.1946	0.4048	0.3830	-0.1601	-0.2791	0.5107	0.0844
	0.0044	0.2180	0.1768	0.0278	0.5005	0.4247	0.0856	0.1055	0.5127	0.2471	0.0255	0.7311
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0.1221	-0.0995	-0.3142	-0.2852	-0.1511	-0.0652	-0.0986	0.0248	-0.1270	1	-0.1093	0.2653
	0.6185	0.6853	0.1902	0.2365	0.5370	0.7908	0.6871	0.9198	0.6045	0	0.6559	0.2723
Cl <sup>-</sup>	-0.2038	0.4833	-0.322	-0.0647	0.6329	0.3603	0.3990	0.2706	1	-0.1270	-0.0370	-0.1183
	0.4027	0.0361	0.1789	0.7926	0.0036	0.1297	0.0906	0.2625	0	0.6045	0.8804	0.6297
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0.4860	0.2576	0.3436	0.2821	0.2198	0.2715	0.3175	0.0324	-0.0370	-0.1093	1	0.1218
	0.0349	0.2869	0.1498	0.2420	0.3659	0.2609	0.1854	0.8953	0.8804	0.6559	0	0.6193
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.2084	0.2622	0.1228	-0.3907	0.3226	0.2581	0.2084	0.4216	-0.1183	0.2653	0.1218	1
	0.3918	0.2781	0.6163	0.0982	0.1780	0.2860	0.3918	0.0722	0.6297	0.2723	0.6193	0

Coefficiente de Correlación  
Nivel de Significancia

## 5.2 Resultados y discusión de la evaluación agrológica de los sitios reportados para la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco

El cuadro 26 contiene los resultados de la evaluación agrológica de los sitios de muestreo con base a la Clasificación por capacidad de uso; factores y parámetros para clasificar tierras (SARH, 1977; SARH-IMTA, 1988; CNA, 1989; INEGI, 1990; citados en Salinas 2000).

Con base en la carta topográfica Ciudad de México E14A39 (INEGI, 1994), y al valor de la pendiente determinada mediante clisímetro. Los sitios de muestreo y el área chinampera en general corresponden a terrenos casi planos que en consecuencia produce que su **riesgo de erosión** sea ligero o nulo, con una **erosión actual** nula.

En todos los perfiles; con excepción del perfil 5, se considero al **escurrimiento superficial** como medio, debido a que estos suelos presentan una porosidad mayor al 65% en todos los casos, son suelos de profundidad media a profundos, de textura fina y media (migajón arcilloso, migajón limoso y franco) y no presentan **inundación**.

El perfil 5 presenta un **escurrimiento superficial** lento debido a que el manto freático se encuentra a los 30 centímetros de profundidad, lo cual produce condiciones de encharcamiento e **inundación**, este perfil se encuentra al noroeste (NW) de la zona chinampera, cerca de la zona de inundación en época de lluvias.

El **manto freático** es moderadamente profundo en todos los perfiles, con excepción del perfil 5 que presenta un **manto freático** somero al ser menor de 50 centímetros.

Al realizar pruebas de velocidad de infiltración nunca se observo escurrimiento superficial sino más bien infiltración del agua, con **permeabilidad** muy rápida en los perfiles 2, 3, 4 y 7 por ser mayor a 50 cm/hora, rápido en los perfiles 1 y 6 con una velocidad entre 15 y 50 cm/hora; siendo el perfil 5 el que presenta la menor velocidad de infiltración con 12.5 cm/hora que corresponde a una **permeabilidad** lenta.

**Pendiente** de 2% en todos los sitios de muestreo, **relieve** casi plano.

La **textura del epipedón** es franco limoso (migajón limoso) en el perfil 2, franco arcilloso (migajón arcilloso) en los perfiles 1, 3, 5 y 7. Franco en los perfiles 6 y 4.

La **profundidad efectiva**, en todos los perfiles es moderadamente profundo (entre 50 y 100 centímetros), excepto el perfil 5 cuya profundidad efectiva es somera (30 centímetros).

**Conductividad eléctrica (salinidad)**, los perfiles 1, 3 y 7 presentan una salinidad ligera (entre 4 y 8 dS m<sup>-1</sup>), salinidad moderada (entre 8 y 16 dS m<sup>-1</sup>) en el perfil 5, salinidad fuerte (>16 dS m<sup>-1</sup>) en los perfiles 2, 4 y 6.

**PSI (sodicidad)**, fuerte (entre 25 y 35%) en los perfiles 2 y 6, extremadamente fuerte (> 35%) en los perfiles 1,3,4,5 y 7.

**Pedregosidad**, ninguno de los sitios muestreados presenta pedregosidad.

La **fertilidad potencial (CICT)** es alta en todos los casos (> 20 cmol Kg<sup>-1</sup>).

La **precipitación efectiva** (que corresponde a la precipitación promedio anual) en la zona es de 1096.6 mm, los **días secos acumulados** se presentan de 3 a 4 meses (enero – abril; ver ficha y balance hídrico en el punto 3.8 Clima, páginas 33 y 34), lo anterior hace considerar al

Cuadro 17. Clasificación por capacidad de uso; factores y parámetros para clasificar tierras (SARH, 1977; SARH-IMTA, 1988; CNA, 1989; INEGI, 1990; Ortiz, 1990; WRB, 1999).

SUBCLASES DE TIERRAS	FACTORES DE CLASIFICACIÓN	Número de Perfil							
		1	2	3	4	5	6	7	
EROSIÓN (E)	Riesgo de erosión (E1) Erosión actual (E2)	Ligero Nula – Ligera I	Ligero Nula – Ligera						
Drenaje (D)	Escurrimiento (D1) superficial	Medio	Medio	Medio	Medio	Lento	Medio	Medio	<p>Notas:</p> <p>1 Claves de texturas. A,a: Arena, arenoso C,c: Franco, francoso L,l: Limo, limoso R,r: Arcilla, arcilloso</p> <p>2 Hasta material no penetrable por las raíces.</p> <p>3 Porcentaje en peso, de fragmentos líticos &gt; 7.5 cm de diámetro.</p> <p>4 INEGI, 1990.</p> <p>5 Ortiz, 1990</p>
	Inundación: (D2) Frecuencia / año Duración	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Sólo en temporal	Ninguna	Ninguna	
	Manto freático (D3) (profundidad en cm)	Moderadamente Profundo	Moderadamente Profundo	Moderadamente Profundo	Moderadamente Profundo	Somero	Moderadamente Profundo	Moderadamente Profundo	
	Permeabilidad (D4) (cm/hora)	Rápida	Muy Rápida	Muy Rápida	Muy Rápida	Moderadamente Rápida	Rápida	Muy Rápida	
TOPOGRAFÍA (T)	Pendiente 4 (%) (T1) Relieve (T2)	2 % Casi Plano							
SUELO (S)	Textura <sup>1</sup> del Epipedón (0 – 20 cm) (S1)	Franco Arcilloso Cr	Franco Limoso Cl	Franco Arcilloso Cr	Franco C	Franco Arcilloso Cr	Franco C	Franco Arcilloso Cr	
	Profundidad 2 (S2) Efectiva (cm)	Moderadamente Profundo	Moderadamente Profundo	Moderadamente Profundo	Moderadamente Profundo	Somero	Moderadamente Profundo	Moderadamente Profundo	
	C.E (Salinidad) (S3) (dS m <sup>-1</sup> ; 0-20 cm)	Ligera	Fuerte	Ligera	Fuerte	Moderada	Fuerte	Ligera	
	Sodicidad (S4) (PSI; 0 – 20 cm)	Extremadamente Fuerte	Fuerte	Extremadamente Fuerte	Extremadamente Fuerte	Extremadamente Fuerte	Fuerte	Extremadamente Fuerte	
	Pedregosidad 3 (S5) (%; 0 – 100)	No presenta							
	Fertilidad potencial (CIC) (S6) (cmol Kg <sup>-1</sup> )	Alta							
	Cap. Acumulativa de agua aprovechable (S7) (cm; prof. <=150cm)	Muy Alta							
CLIMA	Precipitación efectiva (mm) (C1)	1096.6 mm							
	Días secos acumulados (C2)	100 – 135 días (3 – 4 meses) I	100 – 135 días (3 – 4 meses) I	100 – 135 días (3 – 4 meses) I	100 – 135 días (3 – 4 meses) I	100 – 135 días (3 – 4 meses) I	100 – 135 días (3 – 4 meses) I	100 – 135 días (3 – 4 meses) I	
	Régimen de temperatura (C3)	Térmico							
CAPACIDAD DE USO	Capacidad de uso	VS4	IVS3IVS4	VS4	VS4IVS3	VS4IIIS3IVD2	IVS3IVS4	VS4	
	Clasificación FAO-ISSS- ISRIC 1999	ATr							
	Clasificación de Tierras Campesinas 5	Ciénaga I	Blanca	Negra	Ciénaga I	Ciénaga II	Blanca	Negra	

**régimen de humedad** como Ústico (periodo de lluvias coincide con la estación cálida). Dado que la temperatura promedio anual es de 15.9 °C, el **régimen de temperatura** del suelo se considera térmico (temperatura media anual del suelo entre 15 y 22 °C. La temperatura media anual del suelo se deduce a partir de los datos de temperatura promedio anual,  $t^a$  del suelo =  $t^a$  del aire más un grado cita en WRB, 1999). En este contexto, el clima de la zona chinampera se evalúa como Clase I debido a la presencia de canales para riego.

La materia orgánica (MO) mostró valores muy altos, el valor mínimo cuantificado de MO fue de 35.88 % (en la capa de 40 a 60 centímetros, perfil 1) y el máximo fue de 46.58 % (en la capa de 20 a 40 centímetros, perfil 7), el promedio para las 19 capas fue de 42.83%, que van de 35.88 a 46.58%

El valor principal de un estudio de suelos es poder predecir cuál será la respuesta del suelo a un uso y manejo específicos

La calificación interpretativa de la Clasificación por capacidad de uso; factores y parámetros para clasificar tierras se fundamenta en los efectos combinados del clima y las características intrínsecas permanentes del suelo, sirve para determinar el uso adecuado del mismo, su riesgo a la degradación, las limitaciones para su uso, su capacidad productiva y requerimientos de manejo.

El sistema de Clasificación por capacidad de uso; factores y parámetros para clasificar tierras está compuesto por 8 Clases y 5 Subclases. Los riesgos de daños al suelo o limitaciones para su uso se incrementan progresivamente de la Clase I a la VIII. Las Clases I – IV incluyen a los suelos aptos para la agricultura, mientras que las Clases V – VIII abarcan a los suelos no aptos para este fin.

Las Subclases de Capacidad agrupan suelos con limitaciones de uso y riesgos de degradación similares. La subclase proporciona información sobre el tipo de problema de conservación o las limitaciones involucradas, mientras que la Clase de Capacidad especifica el grado o intensidad de los mismo (SARH, 1977, CNA, 1989 citados por Salinas, 2000).

De acuerdo al sistema de clasificación por capacidad de uso de la tierra, los sitios de muestreo se clasifican de la siguiente manera:

Los perfiles 1, 3 y 7 como Clase VS4 debido a una sodicidad extremadamente fuerte (mayor al 35%).

Los perfiles 2 y 6 como Clase IVS3IVS4 debido a la fuerte salinidad (mayor a 16 dS m<sup>-1</sup>) y fuerte sodicidad (de 25 a 35%) que presentan.

El perfil 4 se clasificó como Clase VS4IVS3 por presentar una sodicidad extremadamente fuerte (138.03 %) y fuerte salinidad (17.07 dS m<sup>-1</sup>).

El perfil 5 se clasificó como Clase VS4IIIS3IVD2IIIS2, por presentar sodicidad extremadamente fuerte (104.91%), inundación sólo en temporal, manto freático somero (a 30 centímetros de profundidad), salinidad moderada (11.53 dS m<sup>-1</sup>), y una profundidad efectiva somera (de 30 centímetros).

Estos suelos pertenecientes a las Clase IV y V, presentan limitaciones muy severas a causa de la sodicidad fuerte y extremadamente fuerte; así como una salinidad fuerte que restringen la selección de cultivos y/o requieren de un manejo muy cuidadoso.

Los procesos antropogénicos (WRB, 1999) característicos de la zona de estudio que dieron origen a estos suelos salino-sódicos considerados como Antrosoles (AT) con la presencia de un horizonte térrico son:

- Fertilización intensiva; aplicación continua de fertilizantes orgánicos, como restos de cosecha, abono de vaca, plantas acuáticas.
- Aplicación continua de materiales terrosos como el agua-lodo de canales y zanjas.
- Riego; aplicación continua de agua de canal contaminada, debido a la presencia de sales, sodio y metales tóxicos en el agua que se vierten en los canales que circundan a la zona chinampera, aún después del tratamiento secundario en la planta de agua residual Cerro de la Estrella.

Los suelos de chinampa se consideran como Antrosoles (AT) según el sistema WRB, 1999 porque resulta muy evidente y determinante la mano del hombre en su formación y desarrollo. Presenta un horizonte térrico (tr) que se desarrolló a través de la adición de abonos terrosos, compost o barro por un largo periodo de tiempo. Tiene una diferenciación textural no uniforme con la profundidad. Su color se relaciona con el material de origen o el sustrato subyacente. La saturación con bases (por  $\text{NH}_4\text{O}$  acetato 1M) es de más del 50 por ciento.

Los Antrosoles son los suelos que más velozmente se expanden en el mundo, su estudio es particularmente importante en los países en desarrollo, en razón de que allí las agriculturas urbanas producen gran parte de los comestibles para las ciudades, frecuentemente mediante el uso de suelos y aguas contaminadas, como es el caso de la zona chinampera de San Luís Tlaxiátemalco.

La descripción de la clave empleada aparece en Apéndice.

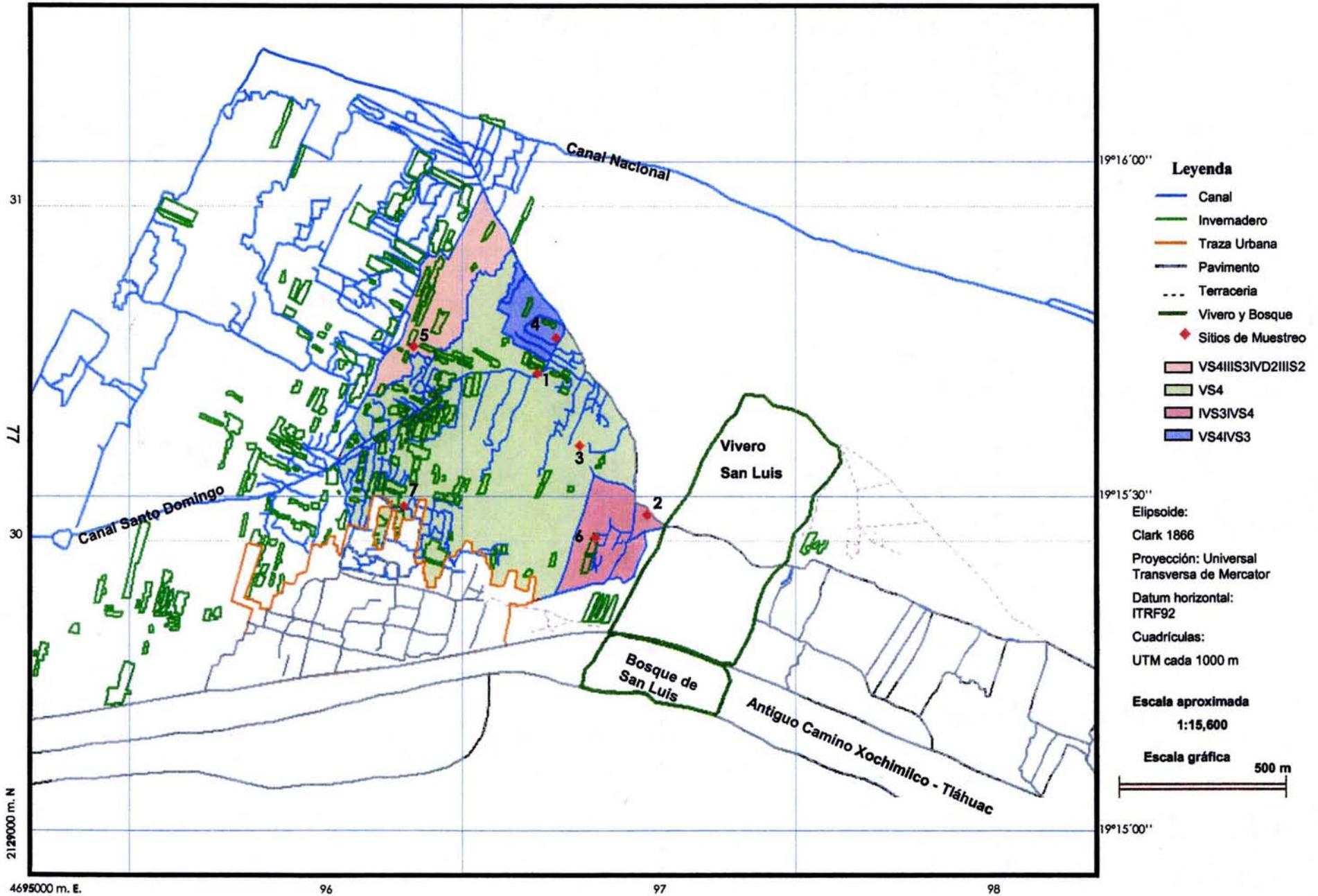
El mapa 2 muestra la Clasificación por Capacidad de Uso.

99°02'30"

99°02'00"

99°01'30"

### Mapa 2 Clasificación por Capacidad de Uso



### 5.3 Resultados y discusión de la Clasificación de Tierras Campesinas de los sitios reportados para la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco

La clasificación campesina de tierras aplicada a la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco dio como resultado la identificación y delimitación en el campo y en el plano parcelario de cuatro unidades de suelo: Blanca, Negra, Cienaga I y Cienaga II.

Los productores de la zona clasifican a las chinampas situadas en la parte norte del poblado como tierra de Cienaga, en este trabajo se tomo la decisión de dividir a la tierra de Cienaga en: Cienaga I y Cienaga II debido a que los perfiles presentan diferencias en relación con la profundidad del manto freático, profundidad efectiva, así como inundación sólo en temporal.

De las 64.87 hectáreas que cubren la superficie total de la zona chinampera en San Luis Tlaxialtemalco, el 18.37 % corresponde a tierra de Ciénaga I de textura migajón arcilloso, y franco. La Cienaga II con 12.81% con textura de migajón arcilloso. La tierra Negra cubre una extensión del 59.61% de textura migajón arcilloso. La tierra Blanca con textura de migajón limoso y franco ocupa el 9.20%. Cuadro 18.

Cuadro 18. Clasificación de tierras campesinas en la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco

Tierra Campesina	Perfil	Superficie (ha)
Blanca	2, 6	5.97
Negra	3, 7	38.67
Cienaga I	1, 4	11.92
Cienaga II	5	8.31

Al relacionar la Clasificación por capacidad de uso; factores y parámetros para clasificar tierras (SARH, 1977; SARH-IMTA, 1988; CNA, 1989; INEGI, 1990; citados en Salinas 2000), a la clasificación USDA (1982, citado en Allison *et al.*, 1985), la Clasificación de Tierras Campesinas (Ortiz, 1990) y a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB, 1999) se tiene el Cuadro 19.

Cuadro 19. Clasificación de tierras campesinas, capacidad de uso, clasificación USDA y Base Referencial Mundial de Recurso Suelo

Tierra Campesina	Perfil	Capacidad de Uso	USDA	WRB
Blanca	2, 6	IVS3IVS4	Sódico-Salino	Attr
Negra	3, 7	VS4	Sódico-Salino	Attr
Cienaga I	1	VS4	Sódico-Salino	Attr
	4	VS4IVS3	Sódico-Salino	Attr
Cienaga II	5	VS4IIIS3IVD2IIS2	Sódico-Salino	Attr

Al comparar las unidades de suelo que se obtienen de la clasificación de tierras campesinas con las unidades de suelo resultado de la clasificación por capacidad de uso, se observa la relación que existe entre: Ubicación Geográfica - Clasificación de Tierras Campesinas - Clasificación por Capacidad de Uso.

Los perfiles 2 y 6 se localizan en la parte sureste (SE), presentan salinidad y sodicidad fuerte (> 16 dS m<sup>-1</sup> y de 25 a 35 % respectivamente), pertenecen a la clasificación de tierra campesina Blanca.

Los perfiles 3 y 7 ubicados en la parte central de la zona chinampera, se clasificaron en la unidad de suelo de tierra Negra, presentan sodicidad extremadamente fuerte (> 35%).

Los perfiles 1 y 4 localizados al noreste (NE), pertenecen a la unidad de suelo de tierra Ciénaga I, presentan sodicidad extremadamente fuerte (> 35%), el perfil 4 también tiene una salinidad fuerte (> 16 dS m<sup>-1</sup>).

El perfil 5 ubicado en la porción noroeste (NW), pertenece a la unidad de suelo de tierra Ciénaga II, presenta sodicidad extremadamente fuerte (>35%), salinidad moderada (de 8 a 16 dS m<sup>-1</sup>) y problemas de inundación sólo en temporal.

Las 4 unidades de suelo resultado de la clasificación de tierras campesinas corresponden a 4 unidades en la clasificación por capacidad de uso, y solamente a 1 unidad de suelo tanto para la clasificación USDA como para la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo.

El número diferente de unidades de suelo resultante, se debe a la aplicación de diferentes criterios de clasificación que da como resultado que el número de unidades y su distribución espacial no sean iguales.

Es posible relacionar la clasificación de tierras campesinas con la cartografía formal al transformar y actualizar la información para clasificar los suelos con la versión WRB, 1999; lo cual facilita la interpretación de las unidades de suelo de manera real.

La propuesta metodológica sobre la cartografía y clasificación de tierras campesinas tiene como finalidad relacionar a los técnicos con la visión que el productor tiene sobre el recurso suelo. Además de ser un procedimiento de evaluación técnica; debe ser utilizado también, como un mecanismo para apoyar las decisiones del productor en relación a las necesidades y capacidades del suelo para determinados cultivos, y en la selección del mejor uso del suelo, considerando todas las opciones posibles y no solo para fines agrícolas, dando como resultado que la planificación del recurso suelo satisfaga las necesidades de la población y sus demandas.

El mapa 3 muestra la Clasificación de Tierras Campesinas.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

99°02'30''

99°02'00''

99°01'30''

### Mapa 3 Clasificación de Tierras Campesinas



## 5.4 Resultados y discusión de la Fotointerpretación de la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco

La figura 39 muestra la fotografía aérea blanco y negro, escala 1:29,000, con fecha 20 de octubre de 1996, de la zona chinampera de San Luis Tlaxialtemalco, conviene aclarar que la fotografía y los mapas no fueron restituidos fotogramétricamente, por lo que es de esperar que ellos muestren las deformaciones propias de las fotografías de las que fueron elaborados. Las coordenadas extremas que se reportan y la escala en cada caso se calculó con el apoyo de la información digital de la traza urbana de San Luis Tlaxialtemalco escala 1:5,000 (CIEN, INEGI 1995) y de la ubicación de los sitios muestreados mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Pioneer Magellan. En el sistema de coordenadas longitud, latitud, y en la proyección cartográfica Universal Transversa de Mercator (Universal Transverse Mercator UTM) zona 14.

El orden de la identificación de los rasgos más relevantes es la siguiente:

- 1) Caminos.
  - a.) Pavimento.
  - b.) Terracería.
- 2) Canales.
- 3) Invernaderos.
- 4) Traza urbana.
- 5) Sitios de muestreo.
- 6) Vivero.
- 7) Bosque.

En la figura 40 se observa una tendencia a la construcción de invernaderos cerca de los canales.

La combinación de la fotografía aérea, el formato digital de la traza urbana, los puntos de muestreo y la clasificación de tierras campesinas dio como resultado el mapa base (mapa 1, página 47) para el análisis espacial de la clasificación por capacidad de uso (mapa 2) y la elaboración de mapas temáticos del porcentaje de sodio intercambiable (mapa 4); conductividad eléctrica (mapa 5); así como el mapa combinado de conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable (mapa 6).

La escala de los mapas es grande 1:15,600, esta escala corresponde a un levantamiento detallado, la unidad cartográfica (mancha cartográfica que representa el área que ocupa el suelo) empleada es una unidad cartográfica simple y corresponde a una consociación (unidad sencilla, constituida por una sola clase de suelo).

Vink (1962., citado en Salinas, 2000) menciona el aspecto de legibilidad del mapa de suelos y propone un área mínima cartografiable de 0.25 cm<sup>2</sup> del mapa, superficie abajo la cual no es adecuada la representación de detalles cartográficos. Con base a la consideración anterior, Ortiz (1984) elaboró una guía que ayuda en la selección de la escala y el área mínima cartografiable (ver Apéndice); así que para la escala de 1:15,600 el área mínima cartografiable es de 0.5625 ha (5,625 m<sup>2</sup>). Los mapas publicados en este trabajo cumplen con lo anterior, puesto que el polígono de menor área tiene una superficie de 30,722 m<sup>2</sup>.

De acuerdo al sistema de clasificación por capacidad de uso, y en relación al PSI, los perfiles 2 y 6 como Clase IVS4 por presentar una sodicidad fuerte (25 – 35%), los perfiles 1, 3, 4, 5 y 7 como Clase VS4 debido a una sodicidad extremadamente fuerte (>35%), el mapa 4 muestra esta distribución.

Con relación a la conductividad eléctrica se tiene que los perfiles 1, 3 y 7 presenta la Clase IIS3 debido a una salinidad ligera ( $4 - 8 \text{ dS.m}^{-1}$ ), el perfil 5 con Clase IIIS3 por presentar moderada salinidad ( $8 - 16 \text{ dS.m}^{-1}$ ), la Clase IVS3 con fuerte salinidad ( $>16 \text{ dS.m}^{-1}$ ) se presenta en los perfiles 2, 4 y 6, el mapa 5 muestra esta distribución.

Al combinar el mapa 4 y el mapa 5 se obtiene el mapa 6 que muestra los patrones generales de distribución de sales y sodio, el análisis espacial de la ubicación de los perfiles, cantidad y cercanía de los canales que rodean a las chinampas, y su clasificación por capacidad de uso de acuerdo con la distribución de la concentración de sales y sodio, permite inferir que estas concentraciones son resultado del agua procedente de la planta de agua residual Cerro de la Estrella (que se ubica al norte de la zona) que se vierte a los canales que circundan a la zona chinampera, de los  $149.8 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  contienen en promedio (anual)  $75.72 \text{ mg. L}^{-1}$  de Na,  $0.069$  y  $0.056 \text{ mg.L}^{-1}$  de Pb y Cr totales;  $165.96 \text{ mg. L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3$  y  $57.16 \text{ mg. L}^{-1}$  de Cl (DGCOH, 2000 cita en Ramos-Bello *et al.*, 2001).

Es importante aclarar que los mapas que se muestran en este trabajo; necesitan mayor verificación en el campo y laboratorio para su validación, ya que en el sentido estricto, los 7 sitios empleados como apoyo se consideran insuficientes. A este respecto Vink (1962; cita en Salinas, 2000) establece que para un mapa edafológico 1:10,000, el número aproximado de observaciones en el campo por  $\text{km}^2$  debe ser de 100 – 500. Tomando en cuenta que la extensión aproximada de la zona chinampera en San Luis Tlaxialtemalco es de  $648.85 \text{ km}^2$  y suponiendo una densidad de muestreo de 100 sitios por  $\text{km}^2$ , entonces, el número aproximado de estos debió ser de 64,885 para darle mayor validez a los mapas.

También es indispensable mencionar que para fines de génesis y clasificación se debe hacer un muestreo cada 10 centímetros (Aguilera, 1989), en este trabajo el muestreo se realizó cada 20 centímetros, como pozo de fertilidad; el cual fue el adecuado para la clasificación por capacidad de uso.

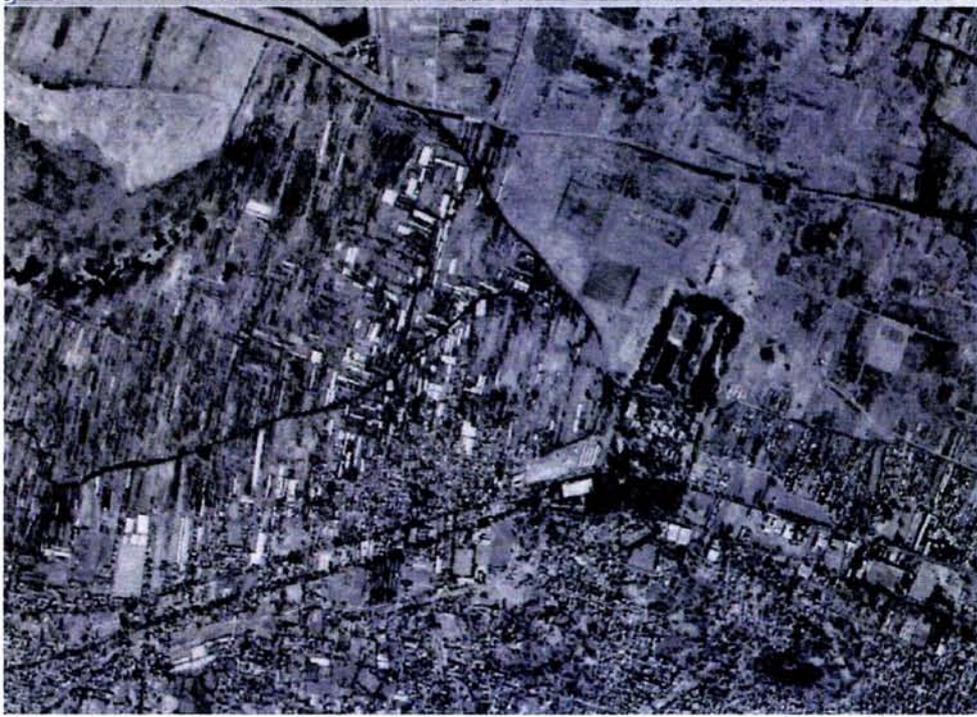


Fig. 39

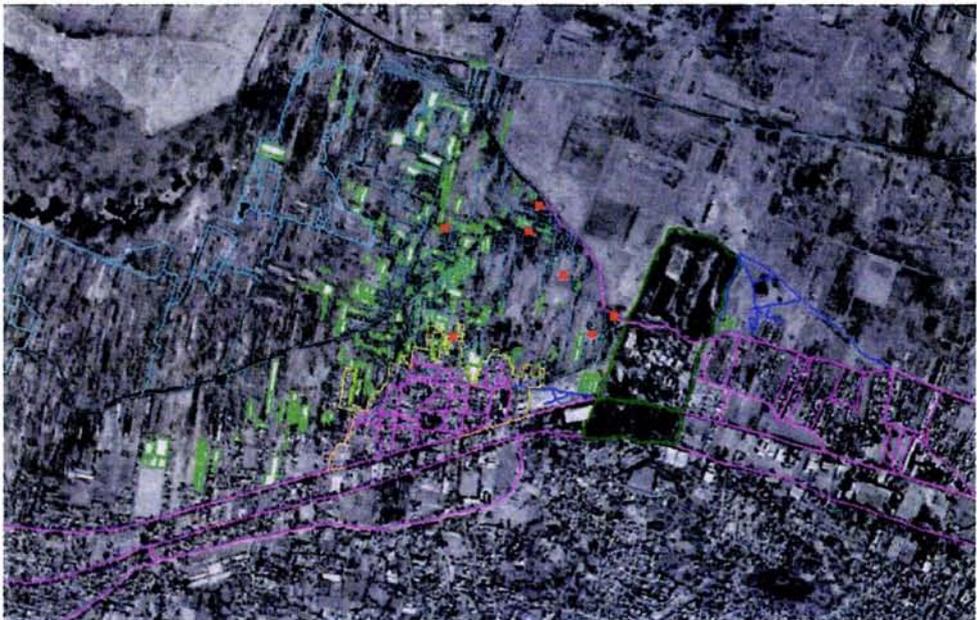


Fig. 40

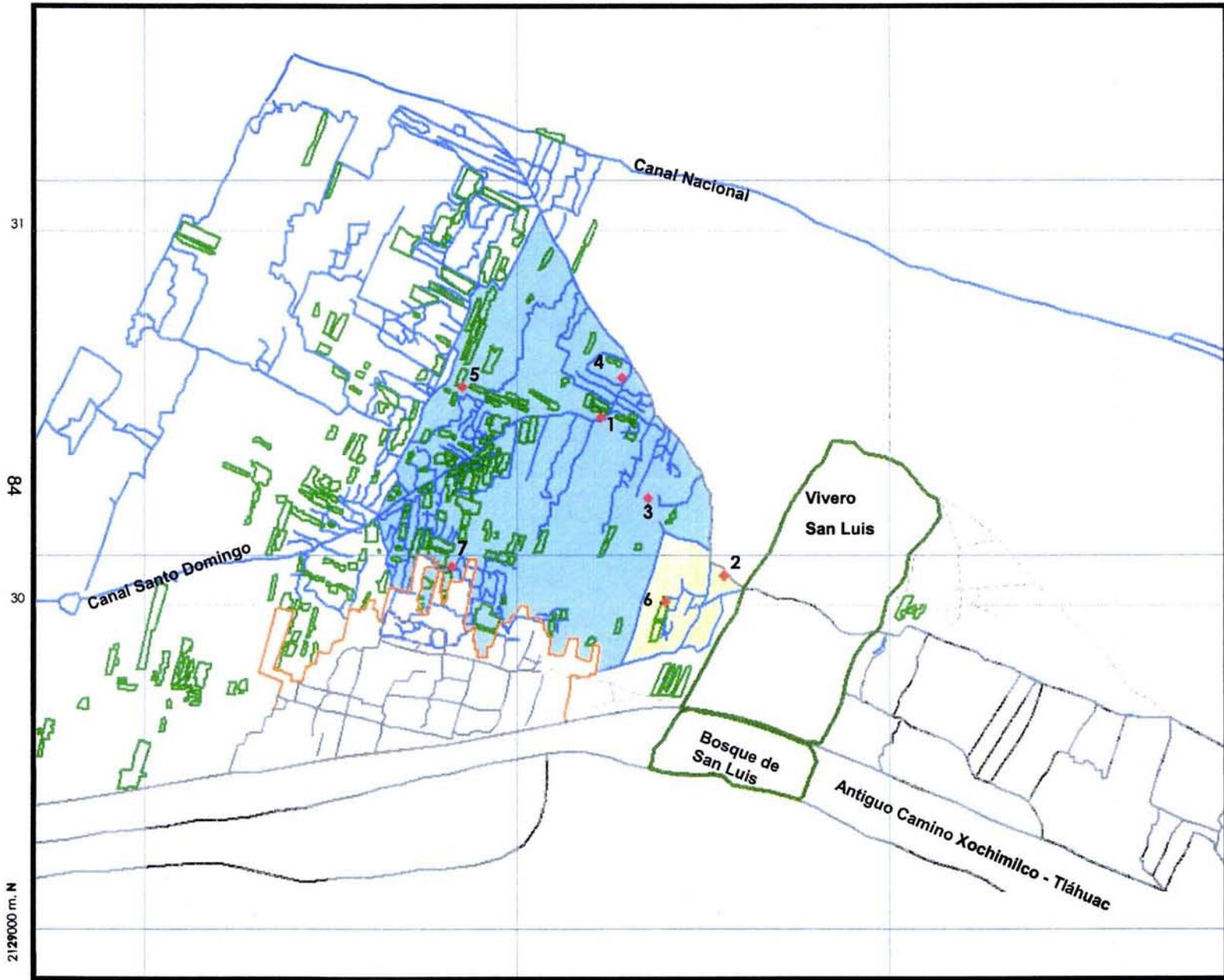
- Pavimento —
- Terracería —
- Canales —
- Invernaderos —
- Traza Urbana —
- Sitios de Muestreo ■
- Vivero y Bosque —

99°02'30''

99°02'00''

99°01'30''

# Mapa 4 Porcentaje de Sodio Intercambiable



## Leyenda

- Canal
- Invernadero
- Traza Urbana
- Pavimento
- Terracería
- Vivero y Bosque
- ◆ Sitios de Muestreo
- Fuerte 25 a 35%
- Extremadamente Fuerte >35%

Elipsoide:  
Clark 1866  
Proyección: Universal Transversa de Mercator  
Datum horizontal: ITRF92  
Cuadrículas: UTM cada 1000 m

Escala aproximada  
1:15,600

Escala gráfica  
500 m

N  
2129000 m. E.

4695000 m. E.

96

97

98

19°16'00''

19°15'30''

19°15'00''

99°02'30''

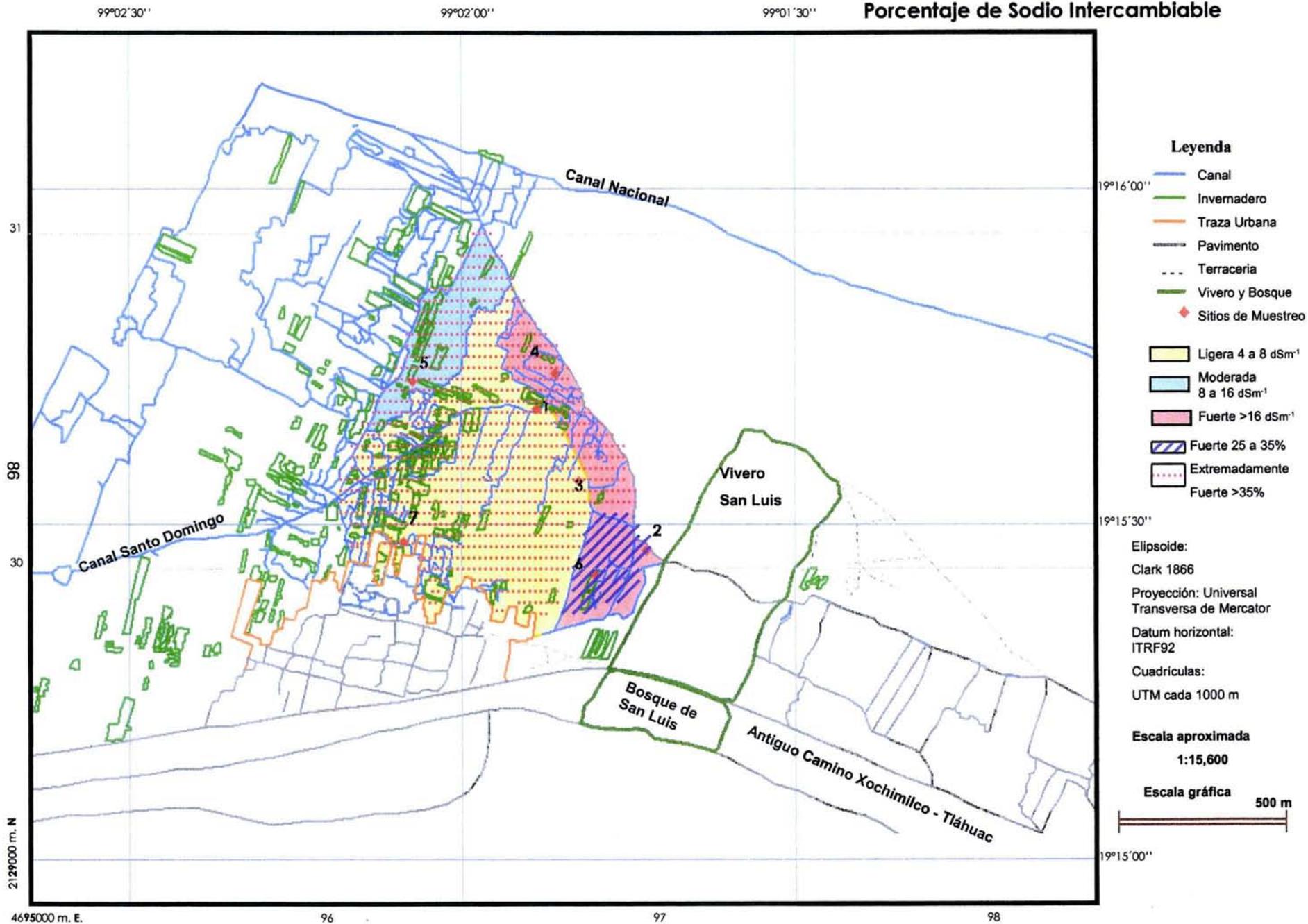
99°02'00''

99°01'30''

# Mapa 5 Conductividad Eléctrica



# Mapa 6 Conductividad Eléctrica y Porcentaje de Sodio Intercambiable



## 5.5 Estrategias generales para la rehabilitación y conservación de los suelos de la zona de estudio

La rehabilitación y conservación de suelos de chinampa es un problema complejo, que no solo involucra a la contaminación por sales y sodio; sino que también, debe de incluir la combinación de tecnologías, políticas y actividades que agrupen principios económicos junto a consideraciones ecológicas que sean económicamente viables y socialmente aceptables.

A continuación se mencionan algunas de las estrategias aplicadas para la rehabilitación de suelos salinos sódicos.

- González, García y Galicia en el 2000, realizaron una investigación en la rehabilitación de un suelo sódico salino de chinampa del paraje San Pedro, Delegación Tláhuac, donde se evaluó la respuesta del cultivo de zempasuchitl, por efecto de enmiendas biológicas. Previo a la aplicación de ácidos húmicos y composta, en tres dosis tanto para ácidos húmicos, como para composta, se aplicó una lámina de lavado de 4 centímetros. Las sustancias húmicas fueron extraídas de la composta en el laboratorio. Los ácidos húmicos intervinieron activamente en los procesos físicos y químicos del suelo; amortiguaron la salinidad y sodicidad, la composta produjo cambios favorables en las concentraciones de aniones y cationes. Los ácidos húmicos junto con la lámina de lavado produjeron la disminución de la reacción del suelo, favorecieron el desplazamiento de  $\text{Na}^+$  y sales.
- La evaluación del manejo de un suelo salino sódico utilizando composta y  $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  realizado por Sánchez (2000), encontró que la composta permite una mejor agregación de las partículas del suelo, aumenta el porcentaje de humedad y el porcentaje de materia orgánica. El  $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  disminuye rápido los efectos nocivos del sodio y sales, en comparación con la composta, que muestra resultados similares en un tiempo mayor.
- Uso de cultivos tolerantes a las sales; la acción de las raíces de las plantas tolerantes mejora los suelos alcalinos ya que favorecen la agregación y conductividad hidráulica. Entre los cultivos recomendados para este fin están: remolacha azucarera, algodón, sorgo, cebada, centeno, trébol dulce, girasol y alfalfa (Buckman y Brady, 1977). Pizarro (1978) menciona que la alfalfa es capaz de extraer por efectos de evapotranspiración hasta 25 Kg de sodio por hectárea.
- En la India se utilizan plantas tolerantes a suelos afectados por sales y sodio, con dos objetivos: el aprovechamiento industrial de la planta y la recuperación del suelo; dos de las especies empleadas para este fin son *Rosa damascena*, la cual crece en suelos con un pH de 8 a 9 y de la cual se obtiene un aceite esencial empleado en la perfumería y, *Matricaria chamomilla* L. (manzanilla), que soporta condiciones de fuerte alcalinidad (pH de hasta 9 a 9.2) y es capaz de extraer hasta 27.97 kg de sodio/hectárea (Singh, 1970).
- La siembra de cultivos en chapines, sigue siendo la forma más adecuada para que las semillas germinen en condiciones favorables y seguras, el tamaño del chapín varía según el tipo de semilla que se siembre; por ejemplo, el maíz (*Zea mays* L.) necesita chapines de 10 cm por lado, el chile (*Capsicum annum* L.) utiliza chapines de 5 cm por lado. Después se transportan las plantas a los lugares, donde terminarán su desarrollo completo. (Becerril y Díaz, 1993).

## 6. CONCLUSIONES

No hay diferencias tajantes entre los perfiles que forman a las diferentes clases de tierra campesina; al compararlos, se observó que coinciden al 100% en 8 variables físicas y químicas todos los perfiles: Densidad aparente; porosidad total; materia orgánica; cationes solubles; aniones solubles; PSI; conductividad eléctrica y pH de la solución. La densidad aparente tiende a disminuir con la profundidad de manera irregular, el porcentaje de porosidad va de 66.39 a 77.23% que corresponde a suelos esponjosos.  $PSI > 15\%$ , conductividad eléctrica  $> 4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , el pH de la solución  $< 8.5$ , con base a USDA todos los perfiles de la zona de estudio se clasifican como Salino – Sódicos. El contenido de materia orgánica es elevado (ver cuadro\* en el apéndice) varía de 13.80 a 120.75 g.Kg<sup>-1</sup> e influye en las propiedades físicas y químicas de estos suelos de chinampa. El porcentaje de saturación de bases con acetato de amonio 1M es mayor al 50% en todos los perfiles. El color del suelo en seco es gris (10YR5/1) y negro (10YR2/1) en húmedo en el 99% de los casos; con excepción de la capa de 40 a 60 centímetros en el perfil 1, que presenta en seco el color gris claro (10YR7/1) y gris oscuro (10YR4/1) en húmedo. Los cationes solubles se presentan en el orden:  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$ . El  $\text{Na}^+$  soluble es el catión dominante, se debe al agua que se vierte en los canales que circundan a la zona chinampera. Aún después del tratamiento secundario en la planta de agua residual Cerro de la Estrella (ubicada al norte de la zona de estudio). El  $\text{SO}_4^{-2}$  es el anión dominante resultado tanto de la mineralización y oxidación de la materia orgánica; así como a la presencia de material de origen volcánico fuente de azufre elemental. El  $\text{Mg}^{+2}$  intercambiable es el catión dominante en las chinampas al sur de la zona de estudio, se debe a la presencia de este elemento en los depósitos minerales procedentes de eventos volcánicos durante el cuaternario. Los procesos pedológicos característicos de la zona de estudio son:

- Salinización; acumulación de cationes y aniones de  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .
- Alcalinización; acumulación de iones de sodio en los sitios de intercambio del suelo.

La clasificación campesina de tierras dio como resultado la identificación y delimitación en el campo y en el plano parcelario de cuatro unidades de suelo: Blanca, Negra, Ciénaga I y Ciénaga II. Estas 4 unidades de suelo corresponden a 4 unidades en la clasificación por capacidad de uso, y solamente a 1 unidad de suelo tanto para la clasificación USDA como para la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. El número diferente de unidades de suelo resultante, se debe a la aplicación de diferentes criterios de clasificación que da como resultado que el número de unidades y su distribución espacial no sean iguales. Al realizar análisis de suelo en el laboratorio y comparar por clase; se tiene que en cada clase de tierra campesina, la ubicación geográfica, la clasificación por capacidad de uso; densidad real; textura; porcentaje de humedad; cationes intercambiables coinciden al interior de cada clase en el 66% de los casos.

En la clasificación por capacidad de uso, los sitios de muestreo pertenecen a las Clase IV y V, por presentar limitaciones muy severas a causa de la sodicidad fuerte y extremadamente fuerte; así como una salinidad fuerte que restringen la selección de cultivos y/o requieren de un manejo muy cuidadoso. Los perfiles 1, 3 y 7 como Clase VS4. Los perfiles 2 y 6 como Clase IVS3IVS4. El perfil 4 se clasificó como Clase VS4IVS3, y el perfil 5 se clasificó como Clase VS4IIIS3IVD2IIIS2.

Los suelos de chinampa se consideran como Antrosoles (AT) con base en el sistema WRB, 1999, porque resulta muy evidente y determinante la mano del hombre en su formación y desarrollo. Presenta un horizonte térrico (tr) que se desarrolló a través de la adición de abonos terrosos, compost o barro por un largo periodo de tiempo. Tiene una diferenciación textural no uniforme con la profundidad. Su color se relaciona con el material de origen o el sustrato

subyacente. La saturación con bases (por  $\text{NH}_4\text{O}$  acetato 1M) es de más del 50 por ciento. El mapa base a escala 1:15,600 corresponde a un mapa detallado, la clase de unidad cartográfica corresponde a una consociación por ser una unidad sencilla, constituida por una sola clase de suelo.

Los sistemas de información geográfica facilitan la interpretación de los resultados a partir de un mismo mapa base, al permitir combinar grupos de datos gráficos con datos de los atributos de los rasgos geográficos, dando como resultado productos (mapas) realizados con base en la necesidad del usuario.

La hipótesis planteada en esta investigación se acepta, ya que la clasificación de tierras campesinas es un procedimiento alternativo para elaborar mapas a nivel detalle, que permite conocer en tiempo real las clases de suelo presentes, siendo posible evaluar el grado de alteración salina y sódica mediante análisis espacial.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Aceves, N. E. 1979.** *El ensalitramiento de los suelos bajo riego.* Colegio de Postgraduados. Rama de riego y drenaje. Chapingo. México. 376 p

**Aguayo, C. E., M. S. Córdova y D. F. Sánchez. 1989.** *Evolución Geológica de la Cuenca de México.* Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del Valle de México. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C. México. 39 p

**Aguilera, H. N. 1989.** *Tratado de Edafología de México.* Facultad de Ciencias. UNAM. México. 272 p

**Allison et al. 1985.** *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.* Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Limusa. México. 172 p

**Barbosa, M. V. M. 2003.** GEOS. México. 20 megabytes.

**Barbosa, M. V. M. 2004.** *Algoritmos y formulaciones matemáticas en sistemas de información geográfica.* Tesis Actuaría (en proceso de publicación). Facultad de Ciencias. UNAM. 150 p

**Baver, L. D., H. W. Gardner y R. W. Gardner. 1991.** *Física de Suelos.* Limusa. México 529 p

**Becerril R. M. L y LL. I. F. Díaz. 1993.** *Chinampas de San Gregorio Atlapulco.* Tesis Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. 83 p

**Blake and Hartge. 1986.** Methods of soils análisis. Part 1. Physical and mineralogical methods. SSSA Book Series: 5,2<sup>nd</sup> Edition. Arnold Klute, Editor.

**Bohn, H. L., B. L. McNeal y G. A. O'Connor. 1993.** *Química del suelo.* Limusa-Noriega Editores. México. 370 p

**Bouyoucous, G. V. 1961.** Directions of making mechanical analysis on soil by hydrometer method. Soil Science: 42: 25–30.

**Bresler, E., Mc Neal B.L. and D.L. Carter. 1982.** Saline and sodic soils. Principales-Dynamics-Modelling. Springer-Verlang. N.Y., U.S.A. 236 p.

**Buckman, H. O y N. C. Brady. 1977.** *Naturaleza y propiedades de los suelos.* Montaner y Simón S.A. Barcelona, España. 590 p

**Buol. S.W., F.D. Hole y R.J. McCracken. 1986.** *Génesis y clasificación de suelos.* Trillas. México. 416 p

**Buringh, P., G.G.L. Steur y A.P.A.. Vink. 1962.** *Some techniques and methods of soil survey in the Netherlands.* Neth. J. Agric. Sci. Vol. 10, 2:157-172

**Carta Topográfica E-14-A-39. 1: 50 000. 1994.** Ciudad de México. INEGI. México.

**Castillo, A. G. I. 1993.** *Rehabilitación de suelos de chinampa a nivel invernadero, paraje Texhuilo, Xochimilco,* D. F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 88 p

**Centro de Salud Comunitario T-1.1990.** Estudio de Comunidad de San Luis Tlaxialtemalco. Dirección General de Salud Pública. México. 68 p

**Christian, C.S and G.A. Stewart. 1968.** *Methodology of Integrated Surveys. Aerial Surveys and Interpreted Studies.* Proa. UNESCO. Conf. Principles Methods Integrating Aerial Studies Nat. Res. Potencial Development. Toulouse. 300 p.

**CIEN. 1996.** *Consulta de Información Económica Nacional, censos económicos 1994.* INEGI. México. 650 megabytes

**CNA. 1989.** *Manual de clasificación, cartografía e interpretación de suelos, con base en el sistema de taxonomía de suelos (1° versión).* IMTA, Tecnología de Riego y Drenaje.

**Cortés, L.A. 1979.** *El programa de reconocimiento de suelos de Colombia.* I.G.A.C. Bogotá, Colombia. 97p.

**Cuanalo de la C, H.E. 1972.** *Algunos conceptos utilizados en el levantamiento de suelos del área de Chapingo.* Soc. Mex. De la Ciencia del Suelo. Bol. Inf. De Dic. México, D.F.

**Cuanalo de la C, H.E. 1975.** *Manual para la descripción de perfiles de suelo en campo.* Colegio de Postgraduados de Chapingo. México. 40 p

**DDF. 1989.** *Rescate ecológico de Xochimilco.* Departamento del Distrito Federal. México. 52 p

**De Sahagún, B. 1979.** *Historia general de las cosas de Nueva España.* Porrúa. México.100 p

**Domínguez, R. V. I y H. N. Aguilera. 1990.** *Metodología de Análisis Físico-Químicos de Suelos.* Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. 80 p

**Durán, M. A. 1965.** *El reto agrario, tenencia de la tierra y políticas agrarias comparadas.* Tomo I. Curso de verano ENA. Colegio de Postgraduados. Centro de economía agrícola. Chapingo. México. 28 p

**Ezcurra, E. 1990.** *De las chinampas a la megalópolis, el medio ambiente en la cuenca de México.* Fondo de Cultura Económica. México. 119 p

**F.A.O. 1976.** *Esquema para la ablución de tierras.* Boletín de suelos 32. FAO. 65 p.

**García-Calderón. N. E., S. Galicia., N. Aguilera y L. Reyes. 1994.** *Organic matter and humic substances contents in chinampa soils from Xochimilco-Tláhuac areas, (México).* 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. 3a (II):368-383

**Gibson, C. H. 1984.** *Los aztecas bajo el dominio español (1519 – 1810).* Siglo XXI. México.60 p

**Gómez-Pompa, A y J. J. Jiménez-Osorio. 1990.** *Pasado, presente y futuro de las chinampas.* *Revista reporte de sostenibilidad maya:* Mc-Arthur, world wildlife foundation. USA. 1: 16

**González, M A., G. J. Acosta., E. Duffing., A. T. Gómez, F. P. G. Gómez., A. M. E. Ortiz., L. P Romero. 1990.** *Plan para la regeneración ecológica y el desarrollo regional de la cuenca hidrológica de Xochimilco.* Grupo de Estudios Ambientales A. C. Fundación Friedrich Ebert. México. 127 p

**González, M. A. 1991.** *Xochimilco: La salvación de las aguas.* *México Indígena:* 13: 25-33.

**González, M. E., N. E. García y M. S. Galicia. 2000.** Evaluación del zempasúchitl como producto de rehabilitación de un suelo salino-sódico de Tláhuac. En R. Quintero-Lizaola., T. Reyna-Trujillo., L. Corlay Chee., A. Ibáñez-Huerta y N. E. García-Calderón (Eds). 2000. La Edafología y sus perspectivas al Siglo XXI. Colegio de Postgraduados, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Chapingo. México. II: 750-756

**González M.R. 1988.** *La clasificación campesina como un sustituto de los levantamientos detallados de suelos.* Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados de Chapingo. 77 p.

**Greigh-Smith, M.A. 1964.** *Quantitative plant ecology.* Butter Worths, London. 156 p.

**Jackson, M. L. 1982.** *Análisis Químico de Suelos.* Omega. Barcelona, España. 662p

**Jiménez, C. A y A. M. Fernández. 1988.** *Estudio Edafológico preliminar de la entomofauna acuática del sistema chinampero de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco.* ENEP Iztacala. UNAM. México. 10 p

**Kellog, C.E. 1937.** *Soil survey manual.* US. Department Agricultura. Misc. Pub. 274.

**Lleverino, G. E. 1999.** *La calidad de los mapas de suelos en el ejido Atenco, Estado de México.* Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Especialidad de Edafología. México. 132 p

**Lugo, D. F. J. 1984.** *Suelos Sódicos Salinos del ejido de Xochimilco.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 88 p

**Martín del Campo, R. 1955.** Productos biológicos del Valle de México. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos:* 14(1):1- 27

**Mata, G. B. 1991.** Agronomía en México: pasado, presente y futuro. En *La agricultura y la agronomía en México. Origen Desarrollo y Actualidad.* Universidad de Chapingo. México. pp: 197–210.

**Medina, V. J. 1993.** *Estudio edafológico de una chinampa en San Luis Tlaxialtemalco Xochimilco y terrenos colindantes con la delegación Tláhuac.* Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 127 p

**MGE Basic Nucleus. Version 07.00.00.11.** Copyright © Intergraph Corp.1997.

**Microstation 95. Version 05.05.01.65 Windows x86.** Copyright © 1995 Bentley Systems, Incorporated.

**Mooser, F. 1963.** Historia Tectónica de la Cuenca de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros:*. XV: 1- 36

**Munsell Color Company. 1975.** *Munsell Soil Color Charts.* Baltimore, Maryland, USA.

**Nery, G .H. 1976.** *Los levantamientos de suelos.* Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México. 86 p

**Ordaz Ch. 1989.** *Clasificación de tierras campesinas del ejido de San Martín Netzahualcoyotl (Boyeros)*. Colegio de Postgraduados de Chapingo. (Mimeo).

**Ortega, T. E. 1987.** *Química de Suelos*. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 152 p

**Ortiz, S. C. A y C. H. Cuanalo de la. 1984.** *Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras*. Colegio de Postgraduados: Centro de Edafología. Chapingo. México. 29 p

**Ortiz, S. C. A. 1972.** *Ordenación de suelos por métodos numéricos para la producción de maíz*. Tesis Licenciatura. Universidad de Chapingo. México. 89 p

**Ortiz, S. C. A. 1981.** *Introducción a los levantamientos de suelos*. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 80 p

**Ortiz, S. C. A. 1989.** *Clases de tierras campesinas del ejido de la Purísima, Texcoco, México*. Colegio de Postgraduados (mimeo). México. 15 p

**Ortiz, S. C. A. 1990.** *Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas*. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 62 p

**Ortiz, S. C. A. 1991.** El concepto campesino de tierra. Memorias del XXIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Pachuca. Hidalgo. México. XXIV :1-4.

**Ortiz, S. C. A. 1999.** *Los levantamientos Etnoedafológicos*. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 212 p

**Pájaro, H.D y C.A. Ortiz-Solorio. 1987.** *El levantamiento de suelos y su relación con la clasificación y cartografía de las clases de tierras campesinas*. Centro de Edafología: Colegio de Postgraduados de Chapingo. (Mimeo)

**Pájaro, H.D y C.A. Ortiz-Solorio. 1989.** *Clasificación campesina de tierras del ejido de Tocuila, Texcoco, México*. Colegio de Postgraduados de Chapingo. (Mimeo)

**Pájaro, H.D y C.A. Ortiz-Solorio. 1989.** *Clasificación campesina de tierras del ejido de Tequesistlán, México*. Colegio de Postgraduados de Chapingo. (Mimeo)

**Palma, T. A. 1989.** *Manual para elaborar el mapa base por el método de aerofototriangulación radial mecánica apoyado en cartas topográficas*. Chapingo. México. 41 p

**Palma, T. A. 2000.** *Contribuciones a la metodología del ordenamiento ecológico territorial detallado en México; estudio de caso de dos comunidades rurales de la cuenca del río Texcoco*. Tesis Doctor en Ciencia. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Especialidad de Edafología. Sección de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos. Chapingo. México. 125 p

**Pérez – Espinosa, J. G. 2000.** *Spirits of the Jaguar: The Fifth World of the Aztecs*. BBC. London.

**Petrovic, M., M. Kastelan-Macan and A.J.M. Hovart. 1999.** *Interactive sorption of metal ions and humic acids onto mineral particles*. *Water, Air & Soil Pollution*. 111(1-4): 43-56

- Pizarro, F. 1978.** *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos y sódicos.* Agrícola Española. España. 520 p
- Ramos-Bello, R., J. L. Cajuste., Flores-Román D y N. García-Calderón. 2001.** Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. Colegio de Postgraduados. *Agrociencia.* 35(4): 385-395
- Rojas, R. T. 1983.** *La Agricultura Chinampera, Compilación Histórica.* Universidad Autónoma de Chapingo. México. 50 p
- Rojas, R. T. 1984.** *La Tecnología indígena de construcción de chinampas en la Cuenca de México. Civilización 2:* 1- 45
- Rzendowski, J. 1978.** *Vegetación de México.* Limusa. México. 167 p
- Salinas, V. F. U. 2000.** *Evaluación de la salinización y sodificación de los suelos de la zona lacustre de San Gregorio, Xochimilco, D.F.* Tesis Maestría en Ciencias (Edafología). Facultad de Ciencias. UNAM. México. 126 p
- Sánchez, C. M. J. 2000.** *Evaluación del manejo de un suelo salino-sódico utilizando composta y sulfato de calcio.* En R. Quintero-Lizaola., T. Reyna-Trujillo., L. Corlay Chee., A. Ibáñez-Huerta y N. E. García-Calderón (Eds). 2000. *La Edafología y sus perspectivas al Siglo XXI.* Colegio de Postgraduados, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Chapingo. México. II: 750-756
- SARH. 1977.** *Clasificación de capacidad de uso de la tierra.* Segunda edición. Traducido por González C.A. y Flores M.G. del trabajo original: Klingebiel A.A. and P.H. Montgomery. 1961. *Land-Capability Classification.* USDA.
- SARH-IMTA. 1988.** Levantamiento detallado de suelos de una microcuenca. IMTA, Coordinación de Tecnología de Riego y Drenaje. Serie de divulgación.
- Seymour , F.D. y Balluf F.M.C. 1989.** *Salinization and solodization.* Chapter 11: 81-84. In *Soil Morphology Genesis and Classification.* John Wiley and Sons.
- Singh, S. 1970.** *Matricaria chamomilla: La camomilie aliemande contiene plusieurs composés.* Indian pediatrics. No. 7: 496-501
- Soil Survey Staff. 1998.** *Keys to Soil Taxonomy.* Eighth edition. USDA. Natural Resources Conservation Service. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C. 326 p
- Starker, L. 1982.** *Fauna Silvestre de México.* Instituto de Recursos Naturales Renovables. México. 57 p
- Tlalocan. 1951.** *Anales de San Gregorio Atlapulco 1520-1606.* México. 1: 4
- Valdez, M. G. 1995.** *Recuperación de un suelo salino-sódico en una chinampa de la laguna del toro, Xochimilco, D. F.* Tesis de Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. 78 p
- Walkley, A. L. 1947.** A rapid determination of soil organic matter. *Journal. Agronomy* 25 (598): 63-68.

**WRB. 1999.** *Base refencial mundial del recurso suelo.* Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación. Viale delle Terme di caracall, 00100 Roma-Italia. <http://www.fao.org/ag/aql/agll/wrb/keysp>.

**Young, A. 1976.** *Tropical soils and soil survey.* Cambridge University press. London.

# Apéndice

## Apéndice

De los 16 horizontes de diagnóstico de la Leyenda Revisada solamente no se retuvo el horizonte *A fímico*. Este cubre un rango demasiado amplio de capas superficiales hechas por el hombre y se reemplazo en la WRB (World Reference Base, "Base Refencial Mundial del Recurso Suelo" por los horizontes hórtico, plágico y térrico.

### HORIZONTES ANTROPEDOGÉNICOS

Los horizontes antropedogénicos comprenden una variedad de horizontes superficiales y subsuperficiales que son el resultado del cultivo prolongado y continuo. Las características y propiedades de estos horizontes dependen mucho de las prácticas de manejo del suelo utilizadas (cuadro 20). Los horizontes antropedogénicos difieren de los materiales de suelo antropogénicos, que son materiales minerales u orgánicos no consolidados que resultan en gran parte de rellenos de tierras, desechos de minería, rellenos urbanos, vertederos de basura, dragados, etc., producidos por actividades humanas. Estos materiales, sin embargo, no han estado sujetos a periodos de tiempo suficientemente largos como para recibir la marca de procesos pedogenéticos.

Los horizontes antropedogénicos son: térrico, irrágrico, plágico, hórtico, antrácuico e hidrárgico. Ocurren en áreas pequeñas en muchas partes del mundo, de manera notable en las antiguas tierras arables de Europa occidental, en antiguas planicies regadas del Cercano Oriente y China, en los antiguos paisajes aterrizados en la región Mediterránea y la península Arábiga, y en sitios aislados en Norte y Sudamérica asociados con ocupación indígena continua y prolongada, así como en las áreas donde se ha cultivado arroz inundado por largo tiempo.

Cuadro 20. Procesos antropedogénicos

Labranza profunda	Operaciones mecánicas continuas que se extienden por debajo de la profundidad normal de las operaciones de campo
Fertilización intensiva	Aplicación continua de fertilizantes orgánicos / inorgánicos sin adiciones sustanciales de materia mineral ( por ejemplo, abonos, desechos domésticos, efluentes cloacales, etc.)
Adiciones extrañas	Aplicaciones continuas de materiales terrosos que involucran adiciones sustanciales de materia mineral ( por ejemplo, tierra vegetal("sods"), arena de plava, abonos terrosos, etc.)
Riego	Aplicación continua de agua de riego con cantidades sustanciales de sedimentos (también puede incluir fertilizantes, sales solubles, materia orgánica, etc.)
Labranza inundada	Procesos asociados con submergencia durante el cultivo; enlodado ("puddling") de la capa arable; generalmente involucrando cambios en condiciones acuicas. Bajo labranza inundada pueden desarrollarse rasgos de diagnóstico en el subsuelo, tales como revestimientos iluviales de hierro-manganeso, dependiendo de la profundidad de la capa de agua, textura, presencia de materia orgánica, etc.

### Criterios de diagnóstico

Un horizonte **térrico** (del L. *terra*, tierra) se desarrolla a través de la adición de abonos terrosos, compost o barro por un largo periodo de tiempo. Tiene una diferenciación textural no uniforme con la profundidad. Su color se relaciona con el material de origen o el sustrato subyacente. La saturación con bases (por  $\text{NH}_4\text{O}$  acetato 1M) es de más del 50 por ciento.

Un horizonte **irrágrico** (del L. *irrigare*, regar y *agricolare*, cultivar) es una capa superficial de color claro (value y croma Munsell, húmedo, es más de 3), uniformemente estructurada, desarrollada a través del riego continuo y prolongado con aguas ricas en sedimentos. Arcilla y carbonatos tienen distribución homogénea y tiene mayor contenido de arcilla, particularmente arcilla fina, que el suelo original subyacente. Entre las fracciones arena media, fina y muy fina las diferencias relativas no son mayores del 20 por ciento. Tiene un contenido promedio ponderado de carbono orgánico de más de 0.5 por ciento, disminuyendo con la profundidad pero siendo por lo menos 0.3 por ciento en el límite inferior del horizonte irrágrico.

Un horizonte **plágico** (del holandés *plag*, tierra vegetal ("sod")) tiene una textura uniforme, generalmente arenosa o arenosa franca. El contenido promedio ponderado de carbono orgánico es más del 0.6 por ciento. La saturación con bases (por  $\text{NH}_4\text{Oac}$  1M) es menor del 50 por ciento, mientras que el contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  extractable en ácido cítrico al 1 por ciento es alto, por lo menos más del 0.025 por ciento dentro de los 20 cm desde la superficie, pero frecuentemente más del 1 por ciento.

Un horizonte **hórtico** (del L. *hortus*, huerta) resulta de la labranza profunda, fertilización intensiva y/o aplicación continua y prolongada de desechos humanos y animales y otros residuos orgánicos. Es un horizonte de color oscuro con value y croma Munsell (húmedo) de 3 o menos. Tiene un contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  extractable en  $\text{NaHCO}_3$  0.5 M es más de 100 mg. kg<sup>-1</sup> de tierra fina en los 25 cm superiores. La saturación con bases (por  $\text{NH}_4\text{Oac}$  1M) es 50 por ciento o más.

Un horizonte **antrácuico** (del Gr. *anthropos*, humano y L. *aqua*, agua) comprende una capa enlodada ("puddled") y un piso de arado. Característicamente, el piso de arado tiene estructura laminar. Es compactado y tiene tasa de infiltración muy baja. Muestra moteados herrumbre pardo amarillentos, pardos o pardo rojizos a lo largo de grietas y canales de raíces. La densidad aparente del piso de arado es de por lo menos 20 por ciento (relativo) mayor que la de la capa enlodada, mientras que su porosidad es 10 a 30 por ciento (relativo) inferior que la porosidad de la capa enlodada. La porosidad no capilar es 2 a 5 por ciento (alrededor de 60 por ciento (relativo) de la porosidad no capilar de la capa enlodada asociada).

Un horizonte **hidrárgico** (del Gr. *hydros*, agua, y L. *agricolare*, cultivar) es un horizonte subsuperficial asociado con la labranza inundada, con una o más de las siguientes características:

- Capas de acumulación de hierro-manganeso o revestimientos iluviales de Fe y Mn; o
- El hierro extractable en ditionito-citrato es 2 veces o más, o el manganeso extractable es ditionito-citrato es 4 veces o más, el del horizonte(s) superficial; o
- Concentración redox; o
- Empobrecimiento redox con un value  $\geq 4$  y croma  $\leq 2$  en macroporos asociados con labranza inundada; y
- Espesor de más de 10 cm.

### Identificación en el campo

Los horizontes **térrico**, **irrágrico** y **plágico** todos muestran evidencias de elevación de la superficie, lo que puede inferirse tanto de la observación en el campo como en los registros históricos. Los horizontes están completamente mezclados y generalmente contienen artefactos tales como fragmentos de alfarería, restos o desechos culturales, los que frecuentemente son muy pequeños (menos de 1 cm de diámetro) y muy desgastados. Los horizontes térrico y plágico se construyen gradualmente hacia arriba a partir de adiciones terrosas (abonos, tierra

vegetal o materiales terrosos mezclados con estiércol de corral, basura, barro, arenas de playa, etc.) y pueden contener piedras clasificadas y distribuidas al azar, mientras que el horizonte **irrágrico** se construye gradualmente hacia arriba a partir de depósitos de riego.

Son pocas las características de suelo que diferencian al horizonte **térrico** del **plágico**. El horizonte **térrico** generalmente muestra una alta actividad biológica, tiene reacción del suelo neutra a ligeramente alcalina (el pH (H<sub>2</sub>O) normalmente es más de 7.0), y puede contener calcio libre. El color está fuertemente relacionado con el material de origen o el sustrato subyacente. Pueden observarse suelos enterrados en la base del horizonte, aunque el contacto puede estar disimulado por mezcla.

El horizonte **plágico** tiene color pardusco o negruzco, relacionado con el material de origen y su reacción del suelo es ligeramente a fuertemente ácida. Muestra evidencias de operaciones agrícolas tales como marcas de palas así como antiguas capas de laboreo. Los horizontes **plágicos** generalmente están por encima de suelos enterrados aunque las capas superficiales originales pueden estar mezcladas. El límite inferior generalmente es claro.

El horizonte **irrágrico** muestra evidencias de actividad biológica considerable y tiene más del 25 por ciento en volumen de canales de lombrices rellenos. El límite inferior es claro y puede haber depósitos de irrigación por debajo.

El horizonte **hórtico** también está completamente mezclado y no se preserva estratificación si la hubo originalmente. Los artefactos y restos culturales son comunes, pero generalmente muy desgastados. Las cuevas de lombrices rellenas ocupan más del 25 por ciento del volumen. Puede haber marcas de labranza o evidencias del mezclado del suelo. Pueden preservarse suelos enterrados pero generalmente están incorporados en el horizonte.

El horizonte **anátrácuico** comprende la capa enlodada ("puddled") y el piso de arado de un suelo bajo cultivo inundado continuo y prolongado. La capa enlodada tiene colores asociados con reducción, acompañados por moteados de bajo hue y cutanes de Fe-Mn sobre caras de agregados y paredes de poros. Es muy dispersable, presenta ordenamiento de agregados y tiene poros vesiculares.

El horizonte **hidrárgico** tiene o bien rasgos de reducción en poros tales como revestimientos o halos con un hue de 2.5Y o más amarillo y un croma (húmedo) de 2 o menos, o segregaciones de hierro y/o manganeso en la matriz como resultado del ambiente oxidante. Generalmente muestra cutanes grises de arcilla y limo fino y cutanes de arcilla, limo y humus sobre caras de agregados.

## **MATERIAL DE SUELO ANTROPOGEOMÓRFICO**

Material de suelo antropogeomórfico (del Gr. Anthropos, humano) se refiere a material mineral u orgánico no consolidado que resulta mayormente de rellenos de tierras, desechos de minería, rellenos urbanos, vertederos de basura, dragados, etc., producidos por actividades humanas. No han estado, sin embargo, sujetos a un periodo de tiempo suficientemente largo como para encontrar expresión significativa de procesos pedogenéticos.

Cuadro 21. Algunos materiales de suelo antropogeomórficos

Arico	Material mineral de suelo que tiene, en una o más capas entre 25 y 100 cm desde la superficie del suelo, 3 por ciento o más (en volumen) fragmentos de horizontes de diagnóstico que no están arreglados en un orden discernible.
Gárbico	Material orgánico de desecho; relleno de terreno que contiene predominantemente productos de desecho orgánicos.
Redúctico	Productos de desecho que producen emisiones gaseosas (por ejemplo metano, dióxido de carbono) resultante de condiciones anaeróbicas en el material.
Spólico	Materiales terrosos que resultan de actividades industriales (residuos de minería, dragados de ríos, construcción de autopistas, etc.).
Urbico	Materiales terrosos que contienen escombros de construcción y artefactos (restos culturales > 35 por ciento en volumen).

### Unidades cartográficas.

En los estudios cartográficos conviene distinguir tres conceptos referidos al suelo: el suelo como cuerpo natural (ente real que podemos muestrear), el tipo de suelo (la clase taxonómica, según la clasificación utilizada) y la unidad cartográfica (mancha cartográfica que representa el área que ocupa el suelo).

Dada la compleja distribución de los suelos, es necesario distinguir.

- **CONSOCIACIONES.** Son unidades sencillas, constituidas por una sola clase de suelo.
- **ASOCIACIONES.** Se trata de unidades complejas, conformadas por más de una clase de suelo, en las que es posible establecer las pautas de distribución en el paisaje. Si la escala del mapa fuese más grande se separarían en varias unidades cartográficas.
- **GRUPOS INDIFERENCIADOS.** Unidades complejas, conformadas por más de una clase de suelo, que se presentan íntimamente asociados y en las que no es posible establecer las pautas de distribución en el paisaje.
- **AREAS MISCELÁNEAS.** Zonas de no suelo, como son las áreas urbanas, polígonos industriales, afloramientos rocosos, arenales, masas de agua, etc.

### Tipos de mapas.

Los mapas de suelos se pueden clasificar según sus objetivos y según sus escalas de trabajo.

#### Por su escala

- **Escalas pequeñas.** 1:5.000.000 a 1:250.000. Tienen fines de reconocimiento, información preliminar, para estudios generales o didácticos, para seleccionar áreas de interés para estudios más profundos. Representan países, comunidades autónomas, regiones o provincias. Son mapas de síntesis. Muy baja densidad de observaciones.
- **Escalas medias.** 1:100.000 a 1:50.000. Mapas semidetallados. Con baja o media densidad de observaciones. Aportan ya importantes datos sobre los suelos y sus relaciones con los factores formadores.
- **Escalas grandes.** 1:25.000 a 1:10.000. Mapas detallados. Estudios a nivel de finca. Necesitan de una muy alta densidad de observaciones, con constantes controles de campo (itinerarios muy próximos). Aportan mucha información sobre los suelos de la zona. Dentro de las unidades cartográficas son frecuentes las consociaciones. Son

mapas elaborados con fines prácticos, para evaluaciones de capacidades de uso y para ordenaciones del territorio

Las unidades cartográficas serán cada vez mas homogéneas conforme las escalas de los mapas sean mayores.

### Por sus objetivos

- **Básico.** Son mapas elaborados con fines exclusivamente científicos, no buscan aplicaciones. Para establecer las unidades cartográficas se utiliza una de las muchas clasificación de suelos aceptadas por la comunidad científica. En general, se usan muchas propiedades y características de los suelos, en especial aquellas que están directamente relacionadas con la génesis del suelo.
- **De propiedades.** Representaciones de cualquier propiedad del suelo: mapa de textura, de pH, de contenido en carbonatos, de materia orgánica, profundidad del suelo, etc. Se representan áreas en las que la propiedad elegida está dentro de un margen establecido. En ocasiones estos mapas pueden estar conformados por un conjunto de isolíneas (agrupación de puntos con igual valor para una determinada propiedad).
- **Temáticos.** Mapas aplicados, frecuentemente extraídos a partir de un mapa básico. Del mapa básico se seleccionan aquellas propiedades que sean relevantes para un fin determinado y se definen unas clases en función del grado de idoneidad para ese fin (por ejemplo: "sin limitaciones", "limitaciones moderadas", "severas limitaciones", "no apto"). A partir de un mismo mapa básico se pueden confeccionar numerosos mapas aplicados. Mapas de este tipo son los mapas de evaluación de capacidad de uso, mapas de aptitudes para fines específicos, de contaminación, niveles de salinidad, de riesgos, etc.

Cuadro 22. Eras geológicas.

Era	Período	Época	Millones de años	
<i>Arqueozoica ó Arcaica</i>	<i>Arcaico</i>		4600	
	Primeros seres unicelulares			
Desde la creación del mundo hasta hace 589 millones de años.	<i>Proterozoico</i>		2500	
	Primeros seres multicelulares e invertebrados.			
<i>Paleozoica ó Primaria</i>	<i>Cámbrico</i>		590	
	Primeros agnatos (peces sin mandíbulas)			
	<i>Ordoviciense u Ordóvicio</i>		505	
	Apogeo de los agnatos			
	<i>Silúrico</i>		438	
	Primeros osteíctios (peces con huesos)			
	<i>Devónico</i>		408	
	FloreCIMIENTO de los peces y los anfibios. Aparición de los primeros reptiles. Desarrollo de las plantas verdes terrestres.	Primeros insectos no voladores		
	<i>Carbonífero</i>	Mississippiense	360	
	Desaparición de los agnatos y aparición de los primeros anfibios	Pennsylvaniense	320	
<i>Mesozoica ó Secundaria</i>	<i>Pérmico</i>		290	
	Apogeo de los anfibios y aparición de los primeros reptiles			
	<i>Triásico</i>		245	
	Aparición de pterosaurios, saurisquios e ictiosaurios			
	<i>Jurásico</i>		208	
	Desde hace 245 hasta 66 millones de años.	Saurópodos pesados, estegosaurios, carnosaurios		
Era de máximo florecimiento de los reptiles en toda su variedad de formas. Surgen los mamíferos primitivos y las aves a partir de algunas formas reptilianas.	<i>Cretácico ó Cretáceo</i>		138	
	Extinción de saurópodos pesados y estegosaurios. Apogeo de anquilosaurios, carnosaurios, ceratopsios y cocodrilos			
	<i>Paleoceno</i>		65	
<i>Cenozoica ó Terciaria</i>	<i>Terciario</i>	<i>Eoceno</i>	55	
	Desde hace 65 millones de años a la época actual.	Apogeo de los mamíferos.	<i>Oligoceno</i>	38
			<i>Mioceno</i>	25
			<i>Plioceno</i>	5
	Extinción casi total de los reptiles, excepto los actuales lagartos, serpientes, tortugas, cocodrilos y tuátaras. Expansión de los mamíferos. Aparición del hombre.	<i>Cuaternario</i>	<i>Pleistoceno</i>	2
			<i>Holoceno</i>	0.01
		Especialización de los mamíferos. Aparición de los primates y el hombre.		

**Área mínima cartografiable.**- Buringh, Steur y Vink (1962) mencionan los aspectos de legibilidad del mapa de suelos y con base a ellos proponen un área mínima cartografiable de 0.25 cm<sup>2</sup> del mapa, superficie abajo la cual no es adecuada la representación de detalles cartográficos.

Con base a la consideración anterior Ortiz (1984) elaboró una guía que ayuda en la selección de la escala.

Cuadro 23. Superficies de las áreas mínimas cartografiables de acuerdo con la escala

<b>Escala</b>	<b>Área mínima cartografiable (ha)</b>
1: 1,000	0.0025
1: 2,000	0.0100
1: 5,000	0.0625
1: 10,000	0.2500
1: 15,000	0.5625
1: 20,000	1.0000
1: 30,000	2.2500
1: 40,000	4.0000
1: 50,000	6.2500
1: 70,000	12.2500
1: 90,000	20.2500
1: 100,000	25.0000
1: 250,000	156.2500

Cuadro 24. Escala material cartográfico y unidades cartográficas para los diferentes tipos de levantamientos de suelos.

<b>Tipo de levantamiento</b>	<b>Escala del mapa</b>	<b>Material cartográfico</b>	<b>Unidades Cartográficas</b>
Esquemático	1: 500,000 a 1: 2000000	Mapas topográficos o Imágenes de satélite	Asociaciones de órdenes de suelo
Reconocimiento	1:100,000 a 1: 500,000	Mapas topográficos	Asociaciones de series hasta asociaciones de grandes grupos
Semidetallado	1: 30,000 a 1: 100,000	Fotografías aéreas y Mosaicos fotográficos	Asociaciones de series y series de suelos
Detallado	1: 10,000 a 1: 30,000	Fotografías aéreas y Mosaicos fotográficos	Series y fases de series
Intensivo	Mayor a 1: 10,000	Fotografías aéreas	Series, fases de series y unidades paramétricas de propiedades individuales

**Evapotranspiración.** Es la combinación de procesos de evaporación del agua y transpiración de las plantas y animales por medio de la cuál el agua es transferida a la atmósfera desde la superficie terrestre.

**Fase sálica.** Indica suelos en los cuales, en algunos horizontes dentro de 100 cm desde la superficie, muestran valores de conductividad eléctrica del extracto de saturado mayores a  $4\text{ds.m}^{-1}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ . La fase sálica no se indica para Solonchaks, porque su definición implica un alto contenido de sales. La salinidad en un suelo puede manifestar variaciones estacionales o puede fluctuar como resultado del riego. Aunque la fase sálica indica salinidad presente o potencial, el efecto de ésta varía enormemente según el tipo de sales presentes, la permeabilidad del suelo, las condiciones climáticas y el tipo de plantas cultivadas.

**Fase sódica.** Esta fase indica suelos que tienen un porcentaje de sodio intercambiable  $\geq 6\%$  en algún horizonte dentro de 100 cm desde la superficie. La fase sódica no es indicada para unidades de suelo que tienen un horizonte "B" nátrico o que tienen propiedades sódicas, ya que un alto porcentaje de saturación por sodio ya está implicado en su definición.

**Materia orgánica.** Aguilera en 1989 elaboró una guía del contenido de materia orgánica en el suelo.

Cuadro 25. Contenido de materia orgánica

Muy bajo	0.0 – 0.2 %
Baja	0.8 – 2.0 %
Media	2.0 – 4.0
Media Alta	4.0 – 8.0
Alta	8.0 – 15.0
Muy Alta	15.0 – 30.0
Fuertemente Alta	> 30

**1 Minuto.** Es aproximadamente igual a 1,800 metros.

**Propiedades sálicas.** Este término se refiere a una conductividad eléctrica del extracto saturado  $> 15\text{dS.m}^{-1}$  a  $25^{\circ}\text{C}$  en alguna época del año, dentro de una profundidad de 30 cm desde la superficie o  $> 4\text{ds.m}^{-1}$  en la misma profundidad si el pH  $> 8.5$ .

**Propiedades sódicas.** Este término se refiere a una saturación en el complejo de cambio del 15% como mínimo, de sodio intercambiable o  $\geq 50\%$  de sodio + magnesio intercambiable.

**Regímenes de temperatura.** Hacen referencia a la temperatura media anual del suelo medida a una profundidad arbitraria de 50 cm (que se ha escogido por corresponder a la zona radicular y por no verse influenciada por los cambios diarios de temperatura, sino únicamente por los cambios estacionales).

La falta de medidas de campo supone una dificultad grande para su aplicación en esta taxonomía de suelos, por lo que suele deducirse a partir de los datos de temperatura del aire ( $t^{\text{a}}$  del suelo =  $t^{\text{a}}$  del aire más un grado).

- Régimen pergélico. Suelos con temperatura media anual inferior a  $0^{\circ}$
- Régimen géllico. Suelos con temperatura media anual entre  $0^{\circ}$  -  $8^{\circ}$ . Verano muy frío
- Régimen frígido. Suelos con temperatura media anual entre  $0^{\circ}$  -  $8$
- Régimen mésico. Suelos con temperatura media anual entre  $8^{\circ}$  -  $15^{\circ}$
- Régimen térmico. Suelos con temperatura media anual entre  $15^{\circ}$  -  $22^{\circ}$
- Régimen hipertérmico. Suelos con temperatura anual media  $> 22^{\circ}$

Cuando la temperatura media del verano y la del invierno no difieren en más de 5° a los regímenes se le añade el prefijo "iso" (por ejemplo, isotérmico, isomésico)

**Serie.-** Grupo de suelos con horizontes similares tanto en su naturaleza como en su arreglo y desarrollados a partir de un mismo material original, deben tener posiciones en el paisaje comparables. Los suelos comprendidos dentro de una serie son esencialmente homogéneos en muchas de sus características, y en otras de las características presentan heterogeneidad como pendiente, pedregosidad, grado de erosión, posición topográfica, profundidad. (Ortiz, 1984)

**Textura gruesa,.** Arenas, arenosos franco, y franco arenosos con menos del 15% de arcilla y más del 70% de arena.

**Textura media.** Franco arenosos, franco, franco arcillo arenosos, franco limosos, franco arcillo limosos y franco arcillosos con menos del 35% de arcilla y menos del 70% de arena; la fracción arena puede llegar hasta e 85% si presenta un mínimo de 15% de arcilla.

**Velocidad de Infiltración.-** esta influenciado por factores tales como su condición superficial, el estado físico, químico, manejo y distribución y cantidad de agua en el perfil. Se mide bajo condiciones de campo, los principales métodos comprenden inundación y estancamiento del agua en la superficie. La misma agua que se utiliza para riego y lavados es la que debe utilizarse para las pruebas de infiltración