

00369-5



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**“EVALUACIÓN DE LA SALINIZACIÓN Y
SODIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE LA
ZONA LACUSTRE DE SAN GREGORIO,
XOCHIMILCO, D. F.”**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

(EDAFOLOGÍA)

P R E S E N T A:

BIÓL. FERNANDO ULISES / SALINAS VELÁZQUEZ

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Gilberto Hernández Silva

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

Dedicatoria:

A mi madre Emma Velázquez Omaña de S. (†) y a mi padre Fernando Salinas Lara, por apoyarme siempre, incondicionalmente, sin esperar nada a cambio a pesar de sus propias limitaciones y sacrificios; porque en ellos siempre he encontrado consuelo y además de ser padres, han sido verdaderos amigos.

A mis abuelitas Fernanda Omaña López (†) y María Lara Muciño, y a mi tío abuelo Ángel Omaña López (†), por todo lo que me han enseñado en humildad, caridad, nobleza y por la confianza que siempre tuvieron en mí

A mis hermanos Araceli, Lilia, Patricia, Sara, Armando, Cristina, Miguel y Diana; a mis tíos Soledad Sánchez Banda y David Velázquez Omaña; a mis cuñados Néstor A. Castro (†), Daniel Flores Elías, Jesús Flores Arévalo, José Luis Flores; a mis sobrinos y a toda mi familia, por todo lo que hemos compartido, por todo lo que me han dado y ayudado de múltiples formas y cada quien a su propia manera.

A Luis Godoy, Guadalupe González Blas, Rebeca Castillo, Abdías Pérez Acuña, Gabriela Carmona Sánchez, Lourdes Vargas Gómez, María del Socorro Galicia Palacios, Judith Medina Vela, Consuelo América González Cano, Ofelia Barrientos Bernabé, Arturo Méndez Cadaqués, Arturo Aguilar Rosas, Noé A. Riande Juárez y Raúl López Bravo, por la amistad sincera, profunda y genuina que me han obsequiado.

A Dante Alighieri, quien seguramente ha sido mi compañero inseparable en mis múltiples descensos hacia, tránsito en y ascensos desde los diferentes planos del inframundo...

Nadie puede dar lo que no tiene...

Una persona con Alegría puede dar y compartir su Alegría...

Una persona con Sabiduría puede dar y compartir Sabiduría, Comprensión, Confianza y además, estimula en los demás el deseo de adquirir verdadero conocimiento y de ser siempre mejores...

Una persona con Amor en su interior puede dar y compartir Amor, Sabiduría, Misericordia, Esperanza, Fé, Caridad y Justicia...

Una persona con Verdadera Realización puede también dar y compartir su Realización...

Es muy lamentable, que muchos seres en este mundo que viven inmersos en tinieblas, con una gran infelicidad en sus corazones, con infinidad de conflictos internos, complejos, miedos, envidias, resentimientos, amarguras y soberbia, en lugar de tratar de salir de su situación y de aceptar con humildad las enseñanzas de la vida, traten mas bien de arrastrar a otros hacia su propia infelicidad, de descargar todas sus frustraciones y desdichas sobre los seres que han tenido el infortunio de encontrarse en su camino, sin comprender, que al que vieron y trataron como enemigo, pudo haber sido su amigo y compañero leal ...

Agradecimientos:

Al M. en C. Nicolás Aguilera Herrera (†), por permitirme formar parte del grupo de tesis de la Facultad de Ciencias y haberme compartido sus conocimientos y parte de su vida; por darme la oportunidad de conocer España, porque desafortunadamente, por su ausencia muchas cosas fueron como no debieron ser.

Al Doctor Gilberto Hernández Silva, por haberme ayudado en un momento en que lo necesitaba; por apoyarme en la medida de sus posibilidades para poder Yo continuar y terminar mi tesis; por haber aceptado continuar la labor de asesoría del Maestro Aguilera; por sus comentarios y su actitud dispuesta.

Al M. en C. Jesús Veruette Fuentes, por sus comentarios de apoyo y estímulo respecto a este trabajo; porque cuando cursé la materia de fotointerpretación con Él, a pesar de ser Yo el único estudiante que permaneció, Él tuvo la finísima atención de terminar el curso, y de quien me hubiera gustado aprender más.

A las Doctoras María Engracia Hernández Cerda y Amada Laura Reyes Ortigoza, por la gran disposición que me mostraron; por sus comentarios sinceros y valiosos, y por sus gestos de ayuda.

A los Doctores David Flores Román, José López García y Norma Eugenia García Calderón, por haber sido sinodales.

A los Doctores Francisco Velasco de Pedro, Gonzalo Almendros Martín, Antonio Guerra Delgado, Luis Alcalá del Olmo y José Luis Labranderero Sanz del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, por apoyarme en todo lo posible durante mi estancia en España; por ser parte de mi formación como edafólogo y motivarme a incursionar a otros campos de las ciencias del suelo.

Al Biólogo Raúl López Bravo, por haberme enseñado a manejar el paquete estadístico Statgraphics, con el cual pude Yo abordar el Análisis de Componentes principales.

Al M. en C. Gilberto Vela Correa, por facilitarme bibliografía sobre la Clasificación por Capacidad de Uso de la Tierra.

Al Biólogo Rafael Serrano Velázquez por su gran apoyo en lo referente a los diversos trámites que he tenido que realizar en la Facultad de Ciencias, tomando en cuenta que desafortunadamente, en México todo lo que corresponde a trámites significa un verdadero “vía crucis”.

A todos los demás compañeros del Laboratorio de Edafología “Nicolás Aguilera” de la Facultad de Ciencias, por todo lo que vivimos, compartimos y aprendimos unos de otros.

Deseo agradecer profundamente a las siguientes instituciones y dependencias: al Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, por apoyarme económicamente durante mi estancia en Madrid; a la Dirección de Intercambio Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México, por facilitarme el pago del viaje a España; a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM, por haberme ayudado con una beca para cursar los créditos de la maestría.

Al Sistema de Educación Pública y a la Universidad Nacional Autónoma de México, a quienes debo toda mi formación académica, así como a algunos profesores que influyeron determinadamente en mi vida.

A los que roban; a los que les gusta beneficiarse con el trabajo de otros; a los que acostumbran adjudicarse un mérito que no les corresponde; a los que defraudan una confianza, a los que abusan de su posición, de las circunstancias y de la necesidad de los demás; a los que creen que la ignorancia se puede disimular o esconder con desplantes de despotismo y prepotencia; a los que prefieren unirse a otros para hacer cosas malas, en lugar de hacer cosas buenas, creyendo que los actos sucios se pueden ocultar de los ojos de Aquél que puede ver la verdad absoluta; a todos aquellos que no han comprendido que las riquezas y el poder son cosas pasajeras ¿Qué será de todos esos seres cuando sean llamados a la Justicia Divina, ante la cual, el poder humano no vale nada?, ¿Con qué cara podrán presentarse al Ser Supremo implorando clemencia?, ¿Qué sería de este pobre y maltrecho mundo si todos esos seres, en lugar de buscar la gratificación, la adulación y el beneficio propio, adoptaran mas bien una actitud de ayuda, comprensiva, humilde y caritativa, ya no por devengar un salario u obtener una recompensa, sino por amor al prójimo, por amor al trabajo y por el amor y la voluntad consciente de servir y ayudar a esta dolida y necesitada humanidad? ...

CONTENIDO:

	Página
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tablas	x
Listas de Fotos y Mapas	xii
Resumen	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 ANTECEDENTES	11
1.2.1 MARCO HISTÓRICO	11
1.2.2 MARCO TEORICO CONCEPTUAL	14
1.2.2.1 Orígenes y causas de las sales en los suelos:	14
a) Lluvia	
b) Intemperismo de los minerales	
c) Sales fósiles	
d) Actividades del hombre	
1.2.2.2 Procesos Edafogenéticos:	16
a) Salinización	
b) Sodificación	
c) Solodización	
1.2.2.3 Características de los suelos sódicos y salinos:	17
a) Suelos salinos	
b) Suelos sódico-salinos	
c) Suelos sódicos no salinos	
d) Suelos normales	
1.2.2.4 Factores que modifican el efecto del sodio intercambiable en los suelos:	18
a) Textura	
b) Area superficial y tipo de mineral arcilloso	
c) Estado del potasio y silicatos solubles	
d) Materia orgánica	
1.2.2.5 Efectos de las sales y el sodio sobre el suelo y las plantas:	20
a) Efectos sobre el suelo	
b) Efectos sobre las plantas	
1.2.2.6 Uso o recuperación de suelos salinos y alcalinos:	21
a) Prácticas fundamentales: remoción; conversión; control.	
b) Mejoradores químicos para la rehabilitación de los suelos sódicos	
c) Técnicas auxiliares:	
c1) Técnicas mecánicas	
c2) Técnicas biológicas	
1.2.2.7 Fundamentos sobre evaluación de tierras:	
Clasificación por Capacidad de Uso de la Tierra	27
1.2.2.8 Generalidades sobre Métodos Estadísticos Multivariados y Análisis de Componentes Principales.	31

2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	32
2.1 Objetivos	
2.1.1 General	
2.1.2 Particulares	
2.2 Hipótesis	
3. MEDIO AMBIENTE DEL ÁREA DE ESTUDIO	33
3.1 Localización	33
3.2 Clima	33
3.3 Geología	37
3.4 Hidrología	38
3.5 Suelos	40
3.6 Vegetación	46
3.6.1 Natural	
3.6.1.1 Vegetación Terrestre	
3.6.1.2 Vegetación Acuática	
3.6.2 Cultivos	
3.7 Fauna	50
4. METODOLOGÍA	51
4.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	51
4.2 FOTOINTERPRETACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE LA ZONA	51
4.2.1 Elaboración de los Mapas de Uso del Suelo y Vegetación	51
4.2.2 Elaboración del Mapa Edafológico	54
4.2.3 Elaboración del Mapa de Capacidad de uso de la Tierra	54
4.3 TRABAJO DE CAMPO	54
4.4 ANÁLISIS EN LABORATORIO DE MUESTRAS DE SUELO	55
4.4.1 Análisis básicos:	55
a) Color	
b) Densidad Aparente	
c) Densidad Real	
d) Porosidad	
e) Textura	
f) Reacción del Suelo	
g) Materia Orgánica	
h) Cationes Intercambiables	
i) Capacidad de Intercambio Catiónico Total.	
j) Porcentaje de Sodio Intercambiable	
4.4.2 Análisis con los Extractos de las Pastas de Saturación para evaluar la salinidad:	55
k) Pasta de saturación	
l) pH de los Extractos	
m) Conductividad Eléctrica	
n) Cationes Solubles	
o) Aniones Solubles	

4.5 PROCESAMIENTO ESPECIAL CON LOS RESULTADOS DE LABORATORIO	56
4.5.1 Aproximación de los valores de Densidad Aparente y Porosidad	
4.5.2 Corrección de los valores de los Cationes Intercambiables y PSI	
4.5.3 Análisis de Correlación Múltiple y Componentes Principales (C 114)	
4.6 CÁLCULOS DEL BALANCE HÍDRICO PARA LA ZONA DE ESTUDIO	58
4.7 PROCESAMIENTO ESPECIAL Y EVALUACIÓN AGROLÓGICA DE ANÁLISIS DE SUELOS REPORTADOS PARA LA ZONA	61
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
5.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	62
5.1.1 Interpretación de los resultados de la calicata 114 a partir de las gráficas y los Análisis de Correlación Múltiple correspondientes	62
5.1.2 Interpretación de los resultados de la calicata 114 a partir de los Análisis de Componentes Principales	77
5.1.2.1 Primer grupo de variables	77
5.1.2.2 Segundo grupo de variables	80
5.1.2.3 Tercer grupo de variables	84
5.1.2.4 Cuarto grupo de variables	84
5.1.2.5 Integración de los ACP con las variables de la calicata 114: Organización, Jerarquización e Interrelaciones entre grupos de variables	89
5.1.3 Interpretación de los resultados de la calicata 115	91
5.2 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO	101
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA EVALUACIÓN AGROLÓGICA DE LOS SITIOS REPORTADOS PARA LA ZONA CHINAMPERA DE SAN GREGORIO	104
5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA FOTOINTERPRETACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	108
5.4.1 Usos del suelo y cambios en el uso del suelo	108
5.4.2 Unidades de Suelo y Clases de Capacidad de Uso de la Tierra	112
5.5 ESTRATEGIAS GENERALES PARA LA REHABILITACIÓN – CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS Y EL AMBIENTE DE LA ZONA DE ESTUDIO	116
6. CONCLUSIONES	117
6.1 Calicatas 114 y 115	
6.2 Balance Hídrico	
6.3 Usos del Suelo y sus Cambios	
6.4 Unidades de Suelo y Clases de Capacidad de Uso de la Tierra	
7. REFERENCIAS	120
APÉNDICES:	123
A1. Descripción de la Fórmula Climática correspondiente a la Estación Meteorológica Xochimilco	
A2. Descripción de las Categorías Edafológicas empleadas	

LISTA DE FIGURAS

Núm.	Nombre	Página
1A	Diagrama de flujo de la relación de causas y efectos de la problemática ambiental, social, económica y política de la zona lacustre de Xochimilco y Tláhuac, D.F.	3
1B	Diagrama de flujo de los efectos de la sobreexplotación de los mantos acuíferos sobre el ambiente de la zona lacustre de Xochimilco y Tláhuac.	4
1C	Diagrama de flujo de los efectos de la contaminación del agua y el suelo sobre el ambiente de la zona lacustre de Xochimilco y Tláhuac.	5
1D	Diagrama de flujo de los efectos de la urbanización en las laderas de las montañas adyacentes a la zona lacustre de Xochimilco y Tláhuac, sobre el ambiente y la población.	6
1E	Diagrama de flujo de los efectos de la falta de planeación urbana y rural sobre el ambiente y aspectos socioeconómicos.	7
1F	Diagrama de flujo de los efectos del descuido gubernamental por la agricultura y los problemas de las comunidades rurales.	8
2	Ubicación de la delegación Xochimilco en el D. F. y de San Gregorio dentro de la delegación.	34
3	Ubicación de la delegación Xochimilco y el Distrito Federal en la Cuenca de México.	34
4	Climas en la Cuenca de México.	35
5	Geología de la Cuenca de México.	35
6	Situación de los lagos de la Cuenca de México en 1325.	39
7	Principales órdenes de suelos en la Cuenca de México.	41
8	Unidades terrestres en Santa Cruz Acapulco y San Gregorio Atlapulco, Xochimilco.	42
9	Delimitación del área de estudio y localización de los sitios de muestreo de las calicatas 114 y 115	53
10	Densidades Aparente y Real, Porosidad y Materia Orgánica de las muestras de suelo de la Calicata 114, Tláhuac.	67
11	Composición textural de las muestras de suelo de la Calicata 114, Tláhuac.	67
12	Reacción del suelo, cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico total de las muestras de suelo de la Calicata 114.	68
13	Volúmenes involucrados con las pastas de saturación de las muestras de suelo de la Calicata 114.	68
14	Conductividad Eléctrica, pH y cationes solubles en los extractos de saturación de las muestras de suelo de la Calicata 114.	69
15	Conductividad Eléctrica, pH y aniones solubles en los extractos de saturación de las muestras de suelo de la Calicata 114	69

16a	Balance entre cationes y aniones solubles determinados analíticamente, contra cationes solubles calculados por la diferencia SCI-CICT (Calicata 114).	70
16b	Balance entre cationes y aniones solubles determinados analíticamente, en las muestras de suelo de la Calicata 114.	70
17	Correlaciones entre variables originales y componentes principales (Primer grupo de variables)	79
18	Correlaciones entre variables originales y componentes principales (Segundo grupo de variables)	82
19	Correlaciones entre variables originales y componentes principales (Tercer grupo de variables)	86
20	Correlaciones entre variables originales y componentes principales (Cuarto grupo de variables)	88
21	Densidades Aparente y Real, Porosidad y Materia Orgánica de las muestras de suelo de la Calicata 115, Tecalitla, Xochimilco.	92
22	Composición textural de las muestras de suelo de la Calicata 115, Tecalitla, Xochimilco.	92
23	Reacción del suelo, cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico total de las muestras de suelo de la Calicata 115.	93
24	Volúmenes involucrados con las pastas de saturación de las muestras de suelo de la Calicata 115.	93
25	Conductividad Eléctrica, pH y cationes solubles en los extractos de saturación de las muestras de suelo de la Calicata 115.	94
26	Conductividad Eléctrica, pH y aniones solubles en los extractos de saturación de las muestras de suelo de la Calicata 115.	94
27a	Balance entre cationes y aniones solubles determinados analíticamente, contra cationes solubles calculados por la diferencia SCI-CICT (Calicata 115).	95
27b	Balance entre cationes y aniones solubles determinados analíticamente en las muestras de suelo de la Calicata 115.	95
28	Balance Hídrico por el método de Thornthwaite (1948) para la estación Xochimilco (09-058).	103
29	Resumen Anual del Balance Hídrico para la estación Xochimilco (09-058).	103

LISTA DE TABLAS

Núm.	Nombre	Página
1	Disminución en la producción de varios cultivos, según los niveles de salinidad del suelo.	25
2	Clasificación de los suelos sódicos y disminución en la producción de los cultivos, según el porcentaje de sodio intercambiable.	26
3	Efectos sobre varios cultivos según diferentes porcentajes de sodio intercambiable.	26
4	Clasificación por Capacidad de Uso: Factores y Parámetros para clasificar Tierras.	29
5	Registros de Temperaturas y Precipitaciones Promedio Mensuales y Anual, y Fórmula Climática para la Estación Meteorológica Xochimilco.	36
6	Clasificación y Evaluación de los suelos de Santa Cruz Acalpíxca, en relación a su Origen, a algunos Resultados Físicos y Químicos y a sus Riesgos de Degradación.	43
7	Determinación de las Limitantes Físicas y Químicas, así como su Clasificación Agrológica de los Suelos de Santa Cruz Acalpíxca, Xochimilco.	45
8	Hortalizas que se cultivan en San Gregorio Atlapulco.	48
9	Plantas de ornato que se cultivan en San Gregorio Atlapulco en maceta y en el suelo.	49
10	Especies frutales que se cultivan en San Gregorio Atlapulco.	49
11	Resultados físicos y químicos de muestras de suelo de la Calicata 114.	63
12	Resultados físicos y químicos de muestras de suelo de la Calicata 115.	63
13	Matriz de Correlación entre el Primer Grupo de Variables de la Calicata 114.	71
14	Matriz de Correlación entre el Segundo Grupo de Variables de la Calicata 114.	73
15	Matriz de Correlación entre el Tercer Grupo de Variables de la Calicata 114.	75
16	Matriz de Correlación entre el Cuarto Grupo de Variables de la Calicata 114.	76
17	Variación Explicada de las Variables del Primer Grupo, según los Componentes Principales Generados.	78
18	Varianza Explicada (%) de cada Variable Original por cada Componente Principal (Primer grupo de variables).	78
19	Coefficientes de correlación de las Variables Originales con los Componentes Principales (Primer grupo de variables).	78
20	Variación Explicada de las Variables del Segundo Grupo, según los Componentes Principales Generados.	81
21	Varianza Explicada (%) de cada Variable Original por cada Componente Principal (Segundo grupo de variables).	81
22	Coefficientes de correlación de las Variables Originales con los Componentes Principales (Segundo grupo de variables).	81

23	Variación Explicada de las Variables del Tercer Grupo, según los Componentes Principales Generados.	85
24	Varianza Explicada (%) de cada Variable Original por cada Componente Principal (Tercer grupo de variables).	85
25	Coefficientes de correlación de las Variables Originales con los Componentes Principales (Tercer grupo de variables).	85
26	Variación Explicada de las Variables del Cuarto Grupo, según los Componentes Principales Generados.	87
27	Varianza Explicada (%) de cada Variable Original por cada Componente Principal (Cuarto grupo de variables).	87
28	Coefficientes de correlación de las Variables Originales con los Componentes Principales (Cuarto grupo de variables).	87
29	Comparación de Parámetros Relevantes entre las Calicatas 114 y 115.	96
30	Ficha Hídrica para la estación meteorológica Xochimilco (09-058).	102
31	Evaluación y Clasificación de los Suelos de San Gregorio Atlapulco, conforme a su Salinidad-Sodicidad, su Capacidad de Uso y su Categoría Edafológica según el Sistema FAO-UNESCO (1989).	105
32	Claves y Categorías del Mapa 3, conforme a los Sistemas FAO-UNESCO (1989) y de Capacidad de Uso de la Tierra (USDA, Tabla 4).	114

LISTA DE FOTOS

Número	Nombre	Página
1	Perfil del suelo correspondiente a la Calicata 114, Tláhuac.	97
2	Perfil del suelo correspondiente a la Calicata 115, Xochimilco.	97
3	Suelo de chinampa correspondiente a la Calicata 114, Tláhuac.	98
4	Chinampas adyacentes y ambiente relacionado a la Calicata 114.	98
5	Suelo de chinampa correspondiente a la Calicata 115, Xochimilco.	99
6	Chinampas adyacentes y ambiente relacionado a la Calicata 115	99

LISTA DE MAPAS

Número	Nombre	Página
1	Usos del Suelo, Vegetación y Tendencia de Cambio del Uso del Suelo del Área de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco (14/Ene/87).	109
2	Usos del Suelo, Vegetación y Tendencia de Cambio del Uso del Suelo del Área de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco (21/Ene/91).	110
3	Unidades Edafológicas y Clases de Capacidad de Uso de la Tierra del Área de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco (14/Ene/87).	113

RESUMEN

La zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac ha sido un importante centro regional de producción hidroagrícola y pecuaria desde el siglo VIII d.c. hasta la fecha. González (1991) menciona que para 1982 quedaban alrededor de 2000 hectáreas de chinampas de las 9500 que se considera existieron en el siglo XVI.

La problemática ambiental que sufre actualmente la región, incluye los siguientes aspectos: (a) crecimiento acelerado y desordenado de la urbe sobre áreas verdes y productivas; (b) sobreexplotación de los mantos acuíferos; (c) recarga del sistema lacustre con aguas residuales que contaminan el agua de los canales y los suelos de chinampa; (d) disminución de la diversidad y densidad de especies vegetales, animales, etc.; (e) hundimientos diferenciales del terreno; (f) degradación de los suelos; (g) abatimiento de la producción agrícola; (h) inundación, salinización y sodificación de los suelos de las zonas bajas; (i) deforestación y erosión de los suelos del área montañosa y cerril.

Tratando de abordar estos problemas de manera integral y de aportar posibles soluciones a algunos de ellos, los objetivos principales de esta tesis fueron: 1) evaluar la extensión y grados de alteración salina y sódica de los suelos de chinampa de San Gregorio Atlapulco; 2) generar cartografía temática sobre edafología, usos del suelo y capacidad de uso de la tierra para la zona bajo estudio; 3) reconocer las principales relaciones entre variables del suelo y detectar las variables que por su importancia y posibilidad de manejo, puedan ser consideradas para la rehabilitación de suelos salino-sódicos; 4) considerando las tendencias de *urbanización – cambios de uso del suelo* en la zona de estudio, proponer estrategias para el apropiado manejo de los suelos, así como para la conservación y/o restauración ecológica en general.

Se analizaron en laboratorio muestras de suelo de 2 calicatas (114 y 115), para un estudio comparativo de la problemática salino-sódica de sitios distintos dentro del área chinampera. Con los resultados de la calicata 114 también se realizaron análisis de correlación múltiple y de componentes principales para satisfacer el objetivo 3 antes mencionado.

Para cumplir los objetivos 1, 2 y 4 se interpretaron fotografías aéreas en blanco y negro (1: 15 000) correspondientes a San Gregorio Atlapulco y las zonas cerril y chinampera adyacentes. Los mapas de uso del suelo y vegetación se elaboraron a partir de fotos de ene/87 y ene/91, mientras que los de edafología y capacidad de uso de la tierra se elaboraron sólo con fotografías de ene/87. Para dar apoyo al trabajo fotointerpretativo, se procesaron los resultados de análisis de suelos reportados por Sánchez (1989), Ramos (1990) y Vallejo (1992) correspondientes a 20 sitios de muestreo, para el reconocimiento y la asignación de las unidades cartográficas a sus respectivas unidades edafológicas según el sistema FAO-UNESCO (1989) y de Capacidad de Uso de la Tierra (SARH, 1977; SARH-IMTA, 1988; CNA, 1989; INEGI, 1990).

También se realizaron cálculos del balance hídrico para la zona de estudio, mediante el método de Thornthwaite (1948) y Thornthwaite y Mather (1955), con el objeto de hacer una interpretación más comprensible del efecto del clima sobre la génesis de los suelos, reconocer los procesos ambientales dominantes en cuanto al movimiento (ascenso - lavado) de las sales en los suelos, así como para determinar la aptitud de los mismos, sus riesgos de erosión y las posibles medidas que pudieran adoptarse para su mejor aprovechamiento y conservación.

Las unidades edafológicas reconocidas para el área de estudio fueron: *Antrosoles*, *Cambisoles*, *Fluvisoles*, *Phaeozem*, *Leptosoles* y *Regosoles*. Los *Leptosoles*, *Cambisoles* y *Regosoles* predominan en la zona cerril y de piedemonte, mientras que en las partes más planas de origen aluvial-lacustre, predominan los *Fluvisoles* y *Antrosoles*. Los *Phaeozem* se reconocieron en áreas muy reducidas.

Los suelos de chinampa se clasificaron como *Antrosoles*. Los *Antrosoles* y *Fluvisoles* mostraron ser los suelos afectados por salinidad y sodicidad, desde niveles ligeros hasta volverse inapropiados para la agricultura. La salinidad y sodicidad de los suelos aumentan en general hacia el noreste, norte y noroeste de San Gregorio, hacia las áreas con menor altitud y sujetas a inundaciones. El nivel de degradación de los suelos en la zona por salinidad y sodicidad es muy agudo, ya que según las categorías de capacidad de uso de los *Antrosoles* y *Fluvisoles*, el predominio de las clases, tanto en superficie como en número de subclases, se da en orden descendente, es decir, V, IV, III, II y I.

Las principales limitaciones para el uso agrícola de los suelos de la zona cerril son: ser someros o muy someros, la presencia de fase lítica o rúdica, el riesgo de erosión, las pendientes pronunciadas y la baja capacidad de almacenamiento de agua y nutrimentos para las plantas. Para los suelos de la zona aluvial-lacustre, sus principales limitaciones son: salinidad, sodicidad, manto freático elevado y riesgo de inundación.

Los análisis de correlación múltiple y componentes principales (ACP) con los resultados de la calicata 114 generaron 9 subgrupos de variables, de los cuales, la salinidad y sodicidad del suelo mostraron ser el factor dominante en el mismo, a tal grado, que la composición textural y la materia orgánica (MO), fueron rebasados en su importancia edafológica. Sin embargo, la MO fue importante por las relaciones que tuvo con el limo, los iones solubles e intercambiables, las densidades aparente y real, la porosidad y el agua que puede retener el suelo o la que puede necesitar para su lavado.

Los altos porcentajes de arcilla en la calicata 114 han promovido mayor salinización y sodificación del suelo que en la calicata 115. Ambas se consideraron salino – sódicas y al compararlas, se apreció con mayor claridad la importancia de la MO en el suelo, además de que se reforzaron las aseveraciones establecidas en los ACP sobre las interrelaciones entre la MO y las demás variables estudiadas. Dentro de los resultados que destacaron al comparar ambas calicatas y que pueden atribuirse a la materia orgánica están: *a mayor contenido de MO*: mayor proporción de limo y menor de arcilla; menores densidades aparente y real; mayor porosidad y aireación del suelo; mayor capacidad de intercambio catiónico total y proporción de cationes en forma intercambiable, y disminución en sus formas solubles; predominio de aniones solubles respecto a los cationes solubles; mayor capacidad de retención de sales y número de lavados para removerlas; amortiguamiento de las condiciones desfavorables para el suelo y las plantas ocasionadas por el sodio y las sales en general.

Los resultados obtenidos mediante el método de Thornthwaite (1948), indicaron que de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona y los suelos con problemas de salinidad y sodicidad, el proceso dominante es el ascenso y acumulación de las sales en la superficie del suelo, además de que los terrenos que no se manejen apropiadamente o se rehabiliten respecto a salinidad y sodicidad, disminuirán su diversidad y densidad vegetal, lo cual a su vez, incrementará la evaporación desde el suelo y retroalimentará la degradación del mismo.

Entre las tendencias de cambio de uso del suelo en el área de estudio, la urbanización es la fuerza dominante. El crecimiento urbano ha aumentado rápidamente en las partes bajas de los cerros y en las chinampas del norte de San Gregorio y Santa Cruz, en los terrenos sin uso, con pendientes bajas, cercanos a caminos transitables y áreas urbanas. Como la urbanización ha promovido y acelerado la degradación del ambiente, entonces, la conservación de éste implica la reactivación de la agricultura y reforestación de la zona, para que se disminuya el ritmo de urbanización.

Para la conservación de los suelos agrícolas del área cerril y de piedemonte es conveniente formar terrazas y plantar árboles alrededor de éstas como cortinas rompevientos; Para los suelos no agrícolas conviene reforestar, especialmente con árboles frutales.

Aunque la MO pudiera considerarse para la rehabilitación de los suelos salino – sódicos de la zona, su mejoramiento sería por un tiempo limitado, especialmente porque los suelos se encuentran muy degradados, en una cuenca cerrada, con una desecación progresiva y con el aporte continuo de aguas contaminadas, por lo tanto, su rehabilitación se consideró de la siguiente manera: extraer las sales en exceso, aprovechando el ascenso y acumulación de las sales en la superficie del suelo con la ayuda de mejoradores químicos que formen sales solubles de Mg y Na y que a la vez, cambien las proporciones de los cationes intercambiables a un nivel óptimo para la producción de cultivos; otra opción sería lavar los suelos de toda la zona (con el uso de mejoradores) desde las áreas con mayor altitud hasta las más bajas, para acumular y extraer las sales.

Como medidas adicionales de conservación del ambiente se plantearon: mejorar la calidad de depuración de las plantas de tratamiento de aguas residuales y aumentar el número de las mismas; dar apoyo técnico a los campesinos respecto al uso de fertilizantes, mejoradores, agua, cultivos viables y técnicas para rehabilitar los suelos, etc.

1. INTRODUCCION

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La tremenda presión ejercida sobre los recursos naturales por poblaciones humanas que crecen rápidamente y tratan de satisfacer demandas en conflicto tales como alimento, vivienda, recreación y otras necesidades de vida, ha incrementado aceleradamente. Esto frecuentemente ocasiona en los países sobreexplotar, desperdiciar o usar inapropiadamente sus limitados recursos, resultando en una viciosa espiral descendente de degradación del ambiente y declinación de la productividad de la tierra, lo cual a su vez, merma la capacidad de estos países para sostener a sus poblaciones.

Frente a esta crisis, los planeadores del manejo de los recursos naturales, administradores y políticos son mayormente solicitados para proporcionar respuestas apropiadas y oportunas a una serie de problemas relacionados a la difícil tarea de maximizar beneficios a la sociedad, a partir de los limitados recursos naturales, mientras al mismo tiempo minimizar riesgos de daño al ambiente y a la salud humana (Antoine, 1990).

La degradación y pérdida de los recursos naturales es un problema que agobia al planeta entero, en especial a los países en desarrollo; en México, que es reconocido por su riqueza natural, es penosa la pérdida de sus bosques y selvas, el no aprovechamiento de sus zonas áridas, la contaminación y degradación de sus litorales, la no autosuficiencia alimentaria o la falta de actividades productivas que se fundamenten en la utilización racional de dichos recursos, que puedan generar fuentes de empleo y ayuden a erradicar la miseria y la crisis económica que predomina en la mayor parte de su población

Uno de estos ejemplos también lo ocupan las chinampas de Xochimilco-Tláhuac, último reducto del tipo de paisaje que alguna vez caracterizó a la Cuenca de México y de un *Patrimonio Cultural Mundial* (Rojas, 1990).

La discusión sobre el rescate ecológico de Xochimilco, iniciada a mediados de 1989, ha colocado en la atención ciudadana la paradoja profunda que enfrenta nuestra gran megalópolis mexicana: si bien la ciudad necesita áreas verdes suficientes, alimentos baratos y de buena calidad y un sano balance hidrológico para su desarrollo, que no desestabilice su subsuelo ni su abasto futuro de agua, el desarrollo urbano actual produce todo lo contrario el explosivo crecimiento metropolitano se extiende sobre las áreas verdes y productivas; una política hidráulica de corto plazo sobreexplota los acuíferos del Valle de México, desecando y contaminando el productivo lecho lacustre y además, la expansión de la vida urbana desestabiliza la vida comunitaria y las actividades agropecuarias de todos los poblados rurales alrededor de la urbe (González *et al.*, 1990).

En ese proceso esencialmente destructivo, se amenaza no sólo la continuidad de la existencia de los pueblos campesinos y chinamperos de la zona de Xochimilco-Tláhuac y de la serranía del Ajusco-Chichinautzin, sino también la sustentabilidad ambiental del área metropolitana de la Ciudad de México, afectándose la salud y la calidad de vida, en general, de todos sus habitantes.

Es evidente no sólo la conveniencia, sino también la necesidad de reorientar el desarrollo de la metrópoli para que su crecimiento se complemente con un sano desarrollo regional en el que se tenga un buen balance ambiental y un equitativo desarrollo de los espacios rurales y urbanos

Aún quedan unas 2000 ha de chinampas de las 9500 que se reseña existieron en el área en el siglo XVI (Parsons, 1982; cita en González, 1991). Los cinco pueblos que subsisten con chinampería: Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco, Mixquic y Tláhuac, también tienen tierras ejidales y propiedades rústicas que les permiten mantener una vida agrícola.

Según Beatriz Canabal y colaboradores (1989; cita en González *op. cit.*), Xochimilco sigue siendo un importante centro regional de producción hidroagrícola y pecuaria en el D.F.; además, es un importante mercado de productos agropecuarios que vienen de tierras calientes del sur, y de trabajo agrícola y de la construcción para los pobladores de los valles aledaños

La problemática global de la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac se organizó, sintetizó y en algunos casos se amplió a partir de los trabajos de Carbajal (1985), Cruickshank (1988) y González *et al.* (1990) como una relación de causas y efectos de diferente jerarquía en las Figuras 1A-1F (diagramas de flujo de las páginas siguientes).

En esta problemática, destaca como el factor más importante de los expuestos (tanto como proceso histórico como proceso ambiental) el agua, y todos los aspectos inherentes a ella, por consiguiente, en este trabajo se especificarán los problemas más relevantes vinculados con el agua, a partir de los datos que aporta González (1991):

Desde 1913 al iniciarse el bombeo de las aguas de sus manantiales, el lago empezó a resentir sus efectos secándose sus ciénagas más someras. Se comenzó extrayendo $2 \text{ m}^3/\text{s}$, pero no hubo mucho problema porque se estima que la recarga natural del acuífero subterráneo es de $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$; además, el lago recibe un promedio de $0.056 \text{ m}^3/\text{s}$ a lo largo del año por el flujo de aguas superficiales.

Sin embargo, al inaugurar un nuevo conjunto de pozos de extracción al final de los años cuarenta, empieza una extracción excesiva que se va ampliando hacia la ladera de la Sierra del Chichinautzin, llegando a alcanzar un gasto de $10.8 \text{ m}^3/\text{s}$ tomando en cuenta la extracción que se hace en toda la cuenca de Xochimilco (datos de 1987; Rojas (1990) menciona que de la zona sur Xochimilco-Mixquic-Xotepingo, se extraen 7700 l/s). Prácticamente se desecó el lago y gracias sólo a la vigorosa defensa popular y legal que hicieron los campesinos de su ambiente, pudo atenuarse la extracción de agua.

El gobierno disminuyó la extracción y prometió reintegrar agua de drenaje adecuadamente tratada, para restablecer el equilibrio hidráulico en la cuenca, pero no lo cumplió. Considerando que la planta de tratamiento de aguas de Iztapalapa le aporta $1 \text{ m}^3/\text{s}$ y que la de San Luis Tlaxialtemalco aporta otros $0.225 \text{ m}^3/\text{s}$ según datos de la DGCOH (DDF, 1989), la recarga del sistema lacustre para 1989 se encontraba así:

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

En consecuencia, el área lacustre tiene un desbalance continuo que, promediado a lo largo del año, es del orden de $- 5,219.0 \text{ l/s}$, o lo que es lo mismo $- 450,921.0 \text{ m}^3/\text{día}$, o bien $- 164,586,170.0 \text{ m}^3/\text{año}$. Esto explica con elemental claridad los hundimientos diferenciales del área: en nuestro tiempo llega a más de 50 cm/año en promedio para el área que anteriormente fue un lecho lacustre.

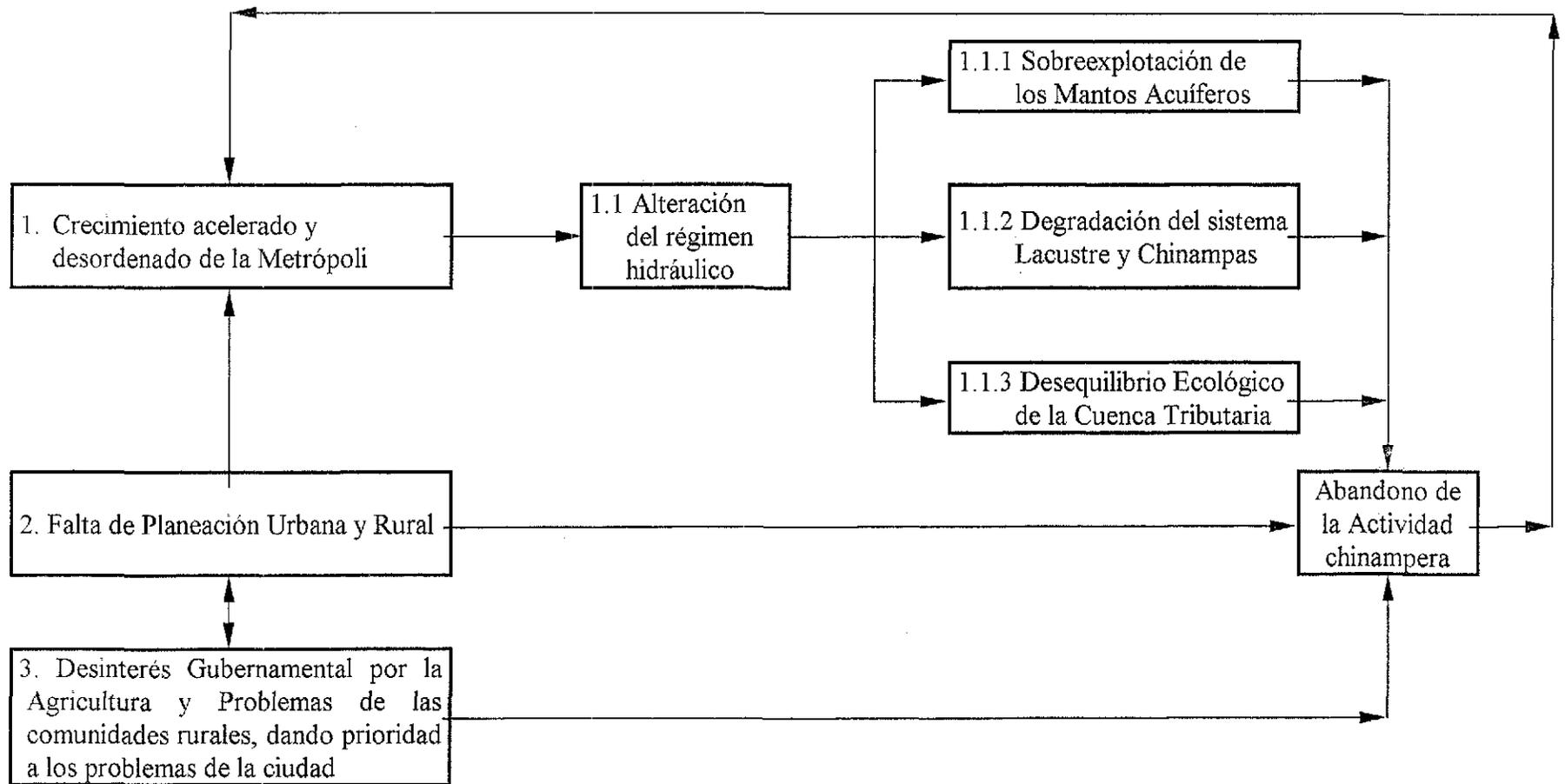


FIGURA 1A. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RELACIÓN DE CAUSAS Y EFECTOS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, SOCIAL, ECONÓMICA Y POLÍTICA DE LA ZONA LACUSTRE DE XOCHIMILCO Y TLÁHUAC, D.F.

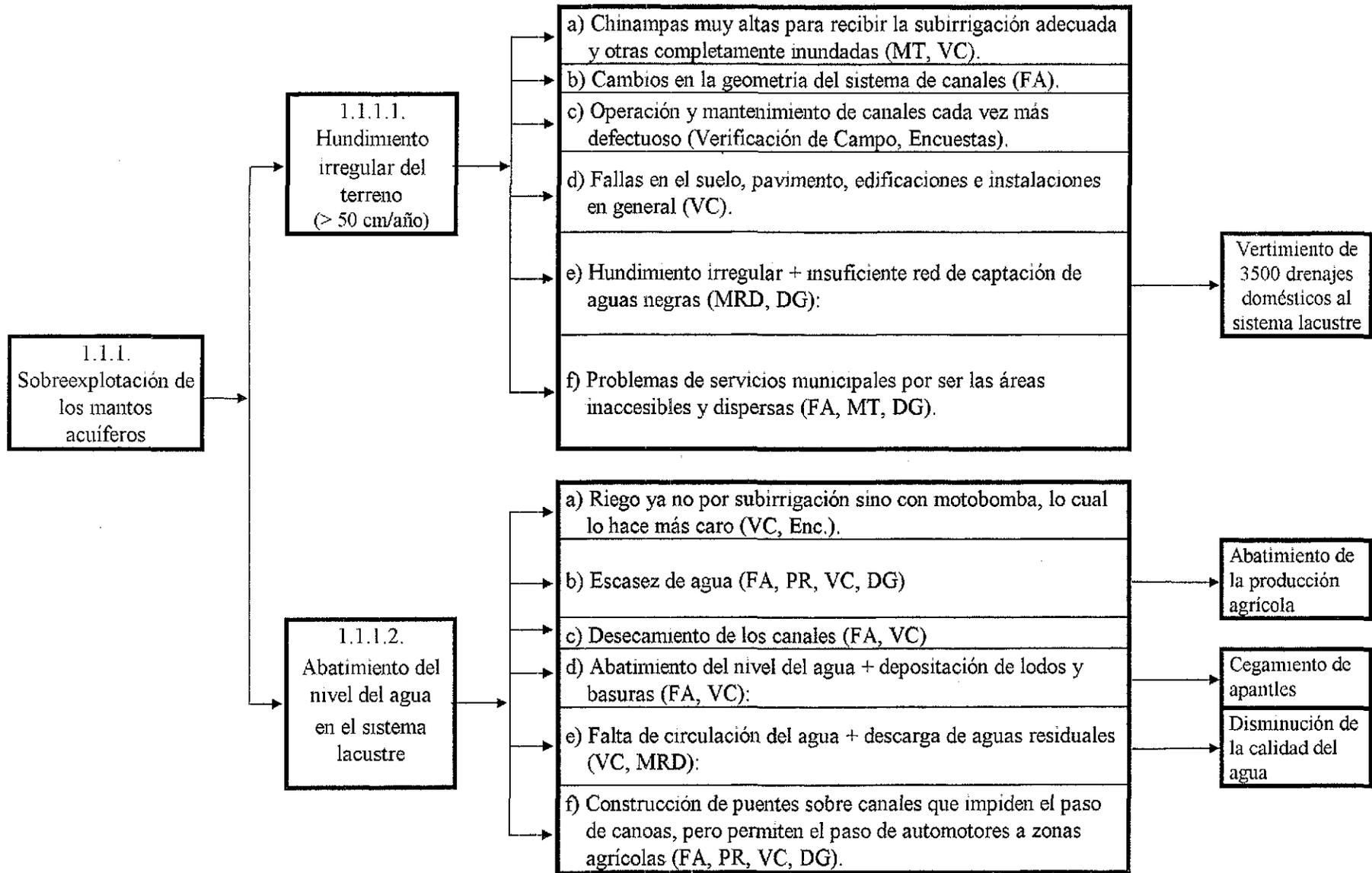


FIGURA 1B. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS EFECTOS DE LA SOBREEXPLOTACIÓN DE LOS MANTOS ACUÍFEROS SOBRE EL AMBIENTE DE LA ZONA LACUSTRE DE XOCHIMILCO Y TLÁHUAC.

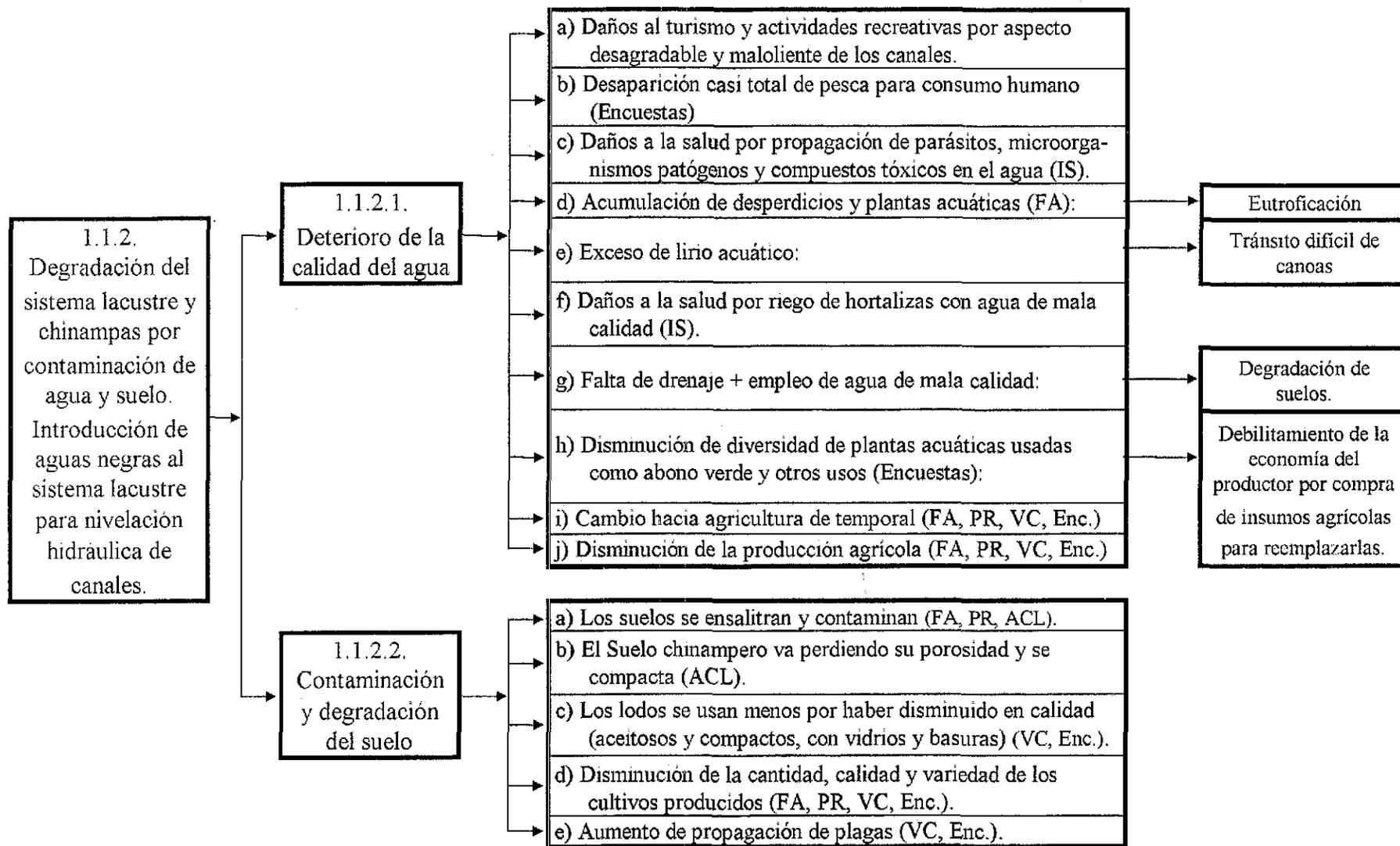


FIGURA 1C. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y EL SUELO SOBRE EL AMBIENTE DE LA ZONA LACUSTRE DE XOCHIMILCO Y TLÁHUAC.

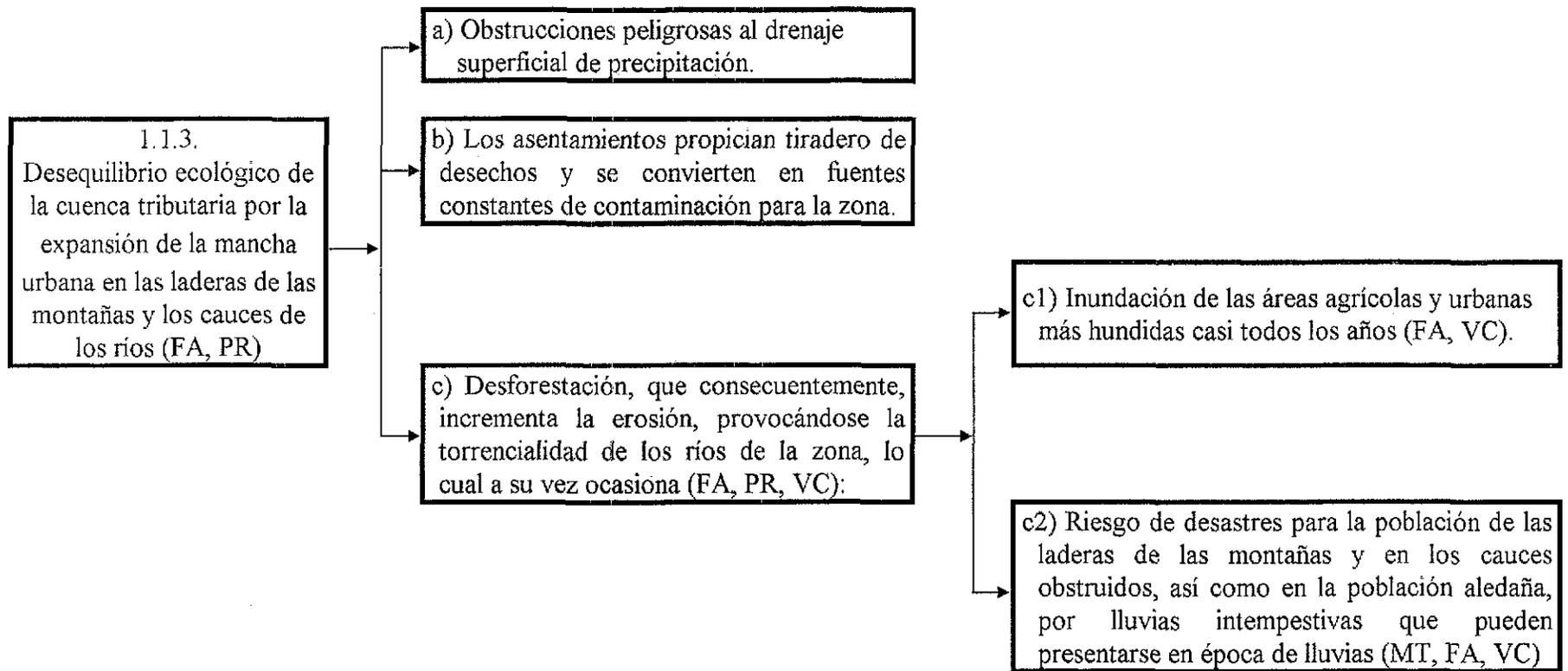


FIGURA 1D. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN EN LAS LADERAS DE LAS MONTAÑAS ADYACENTES A LA ZONA LACUSTRE DE XOCHIMILCO Y TLÁHUAC, SOBRE EL AMBIENTE Y LA POBLACIÓN.

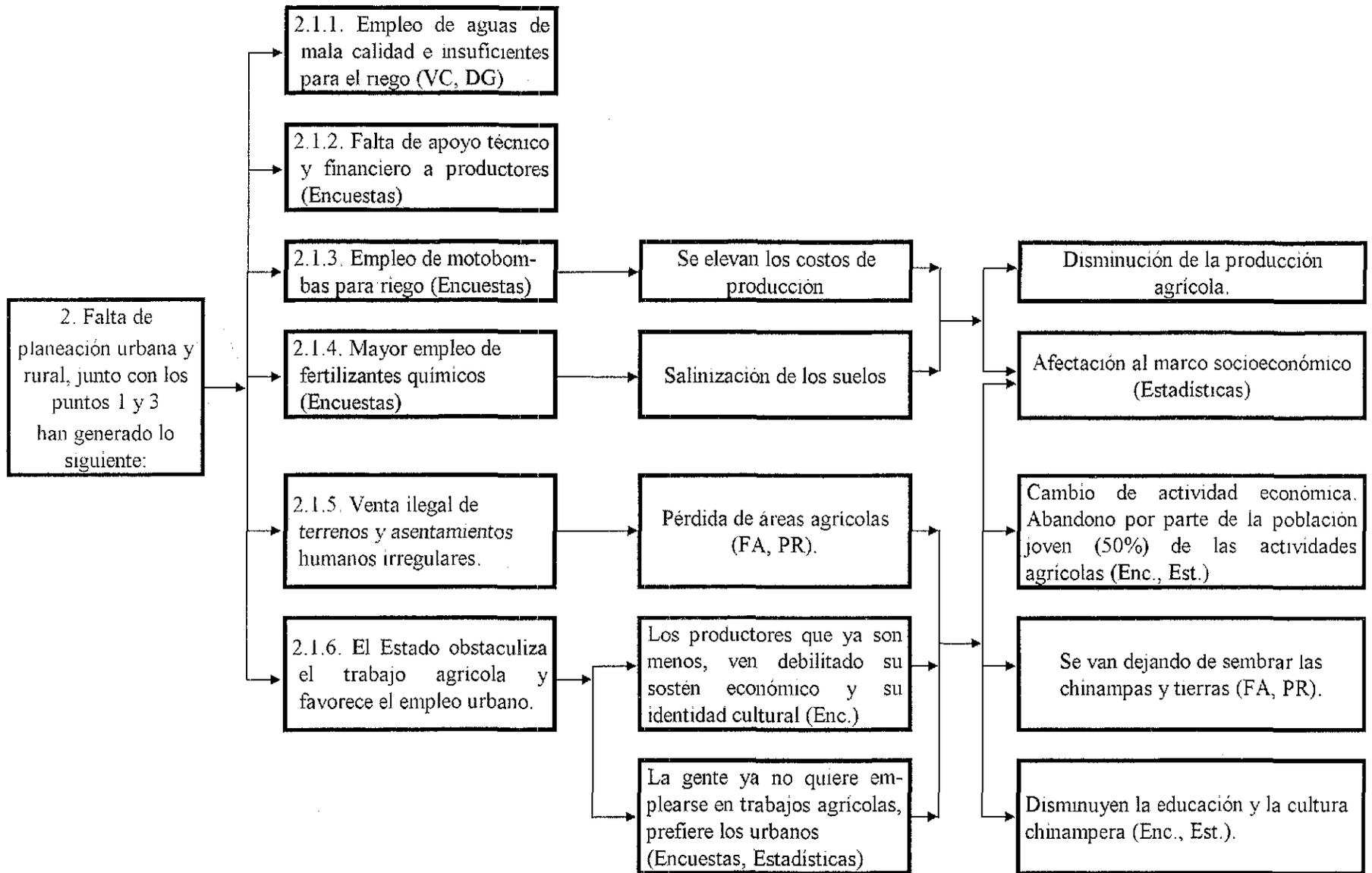


FIGURA 1E. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS EFECTOS DE LA FALTA DE PLANEACIÓN URBANA Y RURAL SOBRE EL AMBIENTE Y ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.

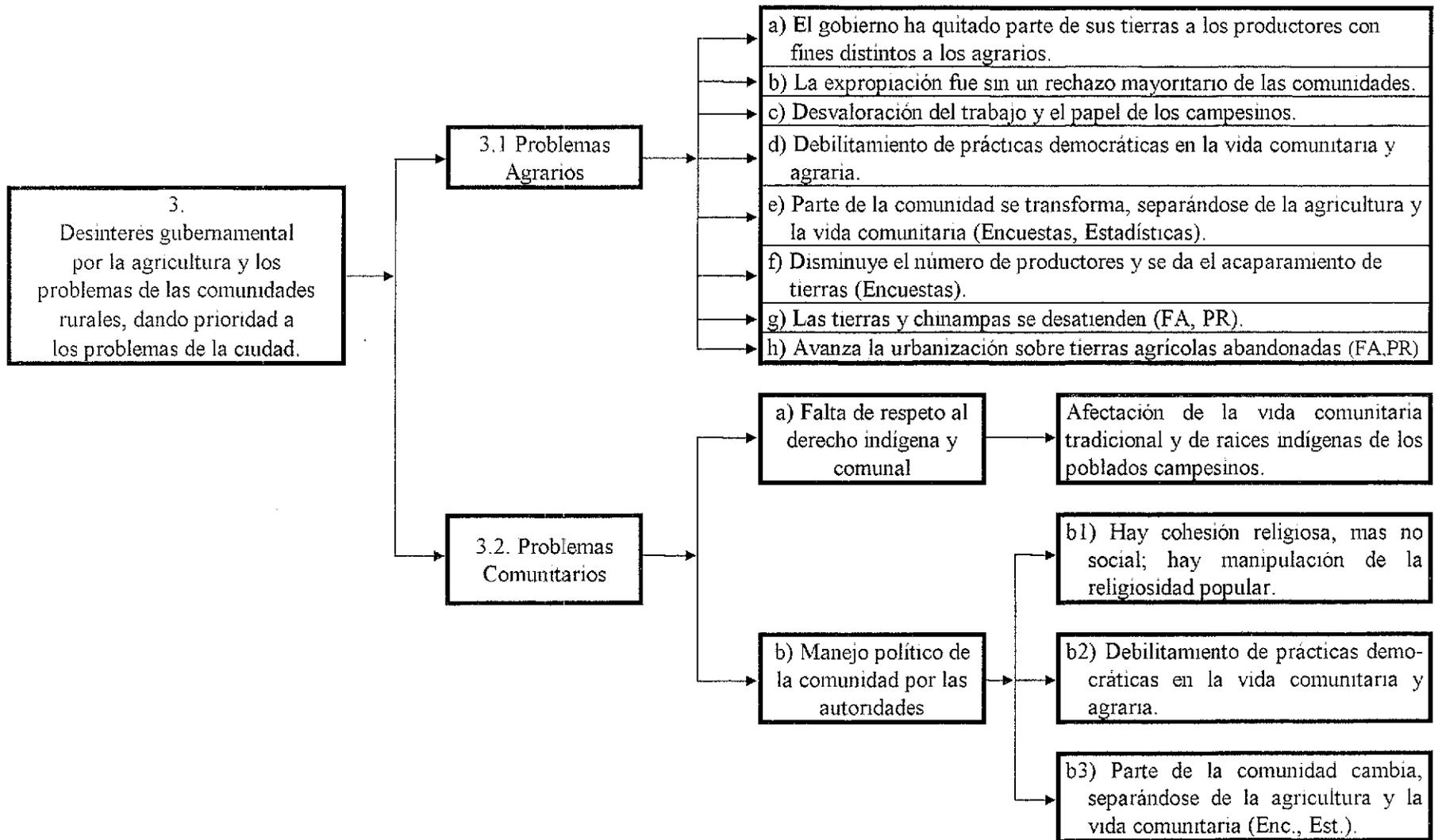


FIGURA 1F DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS EFECTOS DEL DESCUIDO GUBERNAMENTAL POR LA AGRICULTURA Y LOS PROBLEMAS DE LAS COMUNIDADES RURALES.

Los daños agroecológicos consecuentes son también progresivamente crecientes: al disminuir la humedad ambiental, el rico ecosistema del área lacustre chinampera, que nutría la dieta de los habitantes de la región con peces, batracios, aves y aún animales de pezuña, además de toda su riqueza agrícola, pierde eficiencia y productividad

Si bien la sobreexplotación del acuífero es el factor principal que afecta la sustentabilidad ecológica del uso hidroagrícola del área, existen 2 factores más de índole hidráulica que afectan al vaso lacustre:

Contaminación: El agua negra solo recibe un tratamiento primario, a lo que se suma la contaminación de las descargas domiciliarias (3500 drenajes domésticos) que van a dar a los canales, de los asentamientos irregulares en las chinampas. A esto hay que añadir que los arrastres de las lluvias que llegan de la sierra del Chichinautzin también incluyen los drenajes no controlados de los pueblos de la parte alta.

Desniveles del agua Las chinampas, canales y tierras ejidales de humedad se están hundiendo con mayor intensidad en el norte de la delegación Xochimilco y en el poniente de Tláhuac. Esto ha generado que las chinampas más al sur como las de Mixquic y San Gregorio Atlapulco, queden hasta 4 m por encima del nivel del agua en sus canales, lo que ha provocado que éstos se "sequen" por su elevación, o tengan muy poca agua mantenida a nivel sólo con diques, como es el caso de los diques-grúa de Caltongo y Xilopa, construidos en 1983-84 para mantener por lo menos medio metro de agua en el canal turístico de Nativitas-Santa Cruz. En la chinampería y en los ejidos del norte ocurre al revés: allí las chinampas se inundan con los excesos de agua de las lluvias estacionales, convirtiéndose en "lagunetas" de profundidad variable con más de 18 años de existencia.

Como se aprecia en las Figuras 1A-1F, el abandono de la actividad chinampera como consecuencia convergente de varios aspectos expuestos en ellas, ha producido a su vez un círculo vicioso, es decir, que avance la urbanización sobre las tierras agrícolas no trabajadas y sobre la zona lacustre en general

Dada la amplitud y complejidad del problema ambiental, social, económico y político de la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, resalta la necesidad de abordar el problema de manera integral, que involucre no sólo la degradación sódica y salina de los suelos, el uso de los mismos, o los cultivos, sino también los cambios del uso del suelo, la expansión de la mancha urbana sobre los suelos de chinampa, la calidad del agua que llega a los canales, la red de drenaje que pudiese verter sus aguas a los canales o la que colectase parte de las aguas negras de la población de la zona y las canalizaran hacia afuera de la cuenca, etc.

Con base en las Figuras 1A-1F, dado que la amplitud y complejidad del problema es considerable, además de las limitaciones de tiempo, recursos, información y equipo, entonces, no se abordaron la totalidad de los puntos expuestos, sino sólo aquellos que se consideraron más útiles y susceptibles de evaluarse con métodos vinculados a las ciencias del suelo. Es por esto, que a la derecha de ciertos módulos de los diagramas de flujo se mencionan las maneras como pudiesen valorarse u obtener información al respecto, es decir, mediante fotografía aérea (FA), percepción remota (PR), mapa topográfico (MT), mapa de la red de drenaje (MRD), verificación en el campo (VC), análisis de campo y laboratorio (ACL), encuestas (Enc.), estadísticas (Est), en dependencias de Gobierno (DG), instituciones de salud (IS), etc

Tanto para el problema en cuestión, como para el manejo de recursos terrestres en general, la planeación racional y la asignación óptima del uso del suelo resulta de complejos procesos de toma de decisiones que involucran combinaciones óptimas de varios factores físicos, ambientales y socioeconómicos que condicionan la producción y conservación del suelo (Antoine, 1990)

Esto requiere la obtención, organización y análisis de grandes cantidades de diferentes tipos de información: suelos, climas, vegetación, usos presentes y potenciales de los suelos, localización de poblados, carreteras, vías férreas, cañerías, precios de productos en mercados, población, salud, nutrición, etc.

La generación de información para propósitos de planeación requiere elaborados procedimientos de análisis de datos. Para una apropiada toma de decisiones y planeación del manejo del uso del suelo, los datos deben ser transformados mediante interpretaciones formalizadas y procedimientos de evaluación hacia información manejable para propósitos específicos. Este tipo de operación se realiza generalmente por un proceso de asociación, que consiste en comparar los datos disponibles, con los datos requeridos por algún esquema de referencia usado como modelo (Antoine, *op. cit.*)

La planeación es en esencia, un proceso para anticipar situaciones futuras, por lo tanto, implica una necesidad para la simulación. La información generada por el proceso de manipulación de datos y expresada como conveniencias de la tierra permite crear escenarios de uso del suelo y de su manejo, proporcionando varias opciones para tomas de decisión. En este sentido, la modelación espacial interacciona mapas en forma digital, cuyos elementos temáticos referidos geográficamente son integrados de una manera dinámica. El álgebra de mapas es un componente básico de la simulación espacial operada por planeadores y administradores, en particular, planeadores de recursos terrestres. Por consiguiente, éstos requieren de una herramienta apropiada para manejar la gran cantidad de datos básicos, información estadística, espacial y temporal, para proceder efectivamente en la toma de decisiones.

Los sistemas de información terrestre son necesarios para generar de una manera flexible, versátil e integrada, productos de información en forma de mapas, reportes escritos o tablas. Estos sistemas deben ser capaces de proporcionar los elementos necesarios para preparar planes de acciones actuales, para simular valores futuros y para proponer alternativas en planes de desarrollo sostenido futuros. Actualmente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son los que hacen posible para el planeador del manejo de recursos naturales, producir rápidamente una combinación de mapas y tablas que muestren juntos "Dónde" (localización de recursos), "Qué" (tipo de recursos) y "Cuánto" (cantidad/limitación de recursos) (Antoine, *op. cit.*)

A pesar de que el presente trabajo no pudo ser desarrollado con el apoyo de un SIG por falta del equipo de cómputo y software correspondientes, se consideró conveniente abordar el problema mediante fotointerpretación del terreno en cuestión y haciendo uso del Sistema de Capacidad de Uso de la Tierra, por ser éste fundamental para reconocer las aptitudes, limitaciones y riesgo de uso de las unidades de suelos, así como una ayuda importante para la planeación del uso de las unidades del terreno.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 MARCO HISTORICO

De los numerosos sistemas agrícolas intensivos que existieron en Mesoamérica en la época prehispánica, el de chinampas es sin duda el más célebre. Las chinampas y las grandes obras hidráulicas que los antiguos mexicanos construyeron, han fascinado a varias generaciones de visitantes y estudiosos desde el siglo XVI. La celebridad actual de las chinampas puede ser atribuida en primer lugar, a su prolongada persistencia en un medio en el que otras tecnologías no tuvieron soluciones tan exitosas desde el punto de vista productivo y ecológico, ya que los métodos y técnicas chinamperos actuales no difieren demasiado de los antiguos, además de que las parcelas están allí, con sus canales y ahuejotes. Pero en todo esto, lo más importante es sin duda, que los chinamperos existen y con ellos los conocimientos y la cultura que sustentan a esta tradición agrícola valiosísima y varias veces centenaria (Rojas, 1990).

Los últimos reductos de la chinampería y del tipo de paisaje que alguna vez caracterizó a la Cuenca de México, se encuentran en los términos de 5 pueblos de las actuales delegaciones de Xochimilco y Tláhuac: Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco, San Pedro Tláhuac y San Andrés Mixquic.

La extraordinaria riqueza de los recursos naturales de la Cuenca de México, atrajo a poblaciones humanas desde etapas muy tempranas en la colonización del continente, hace unos 22 mil años (grupos de cazadores-pescadores-recolectores), según lo testimonian recientes evidencias de herramental hallado alrededor del Cerro de Tlapacoya (Rojas, *op. cit.*, González, 1991)

Estudios de Parsons (1982), Lorenzo (1986) y Serra (1988) indican que existieron poblados playeros alrededor del lago Chalco-Xochimilco desde hace 5000 años (citas en González, *op. cit.*) con un modo de vida sedentario, en un contexto sin cerámica y pre o protoagrario (Rojas, *op. cit.*)

Los poblados playeros fueron apropiándose de los lagos poco a poco. Desarrollaron primero la tecnología del tlattel (plataforma elevada para basamentar la vivienda rústica) y posteriormente, con cierta experiencia agrícola, la chinampa (parcela elevada artificialmente sobre el fondo lodoso del juncal).

El paso de la vida de cazadores-recolectores a agricultores-chinamperos fue lento. Unos 15 mil años como pueblos nómadas y 5 mil años como poblados playeros desarrollaron una agricultura más rica que llevó, hace cerca de mil años, según evidencias establecidas por Niederberger (1987; cita en González, *op. cit.*), a las chinampas.

Rojas (1990) menciona que la aparición de las chinampas probablemente sucedió por el año 800 de nuestra era, aunque otros especialistas lo sugieren 200 años a.c. pero en forma limitada. Lo que es un hecho es que la expansión máxima del sistema se dio en el período azteca, de 1300 a 1500 aproximadamente. Los habitantes indígenas de otras regiones de América descubrieron también, como los de la Cuenca de México, la forma de aprovechar para la agricultura los pantanos y otras tierras con exceso de humedad o inundables periódicamente. En Mesoamérica misma y en el resto del continente, incluyendo el área andina, existieron sistemas semejantes a las chinampas, llamados por los especialistas campos drenados o elevados, o bien camellones. Sin embargo, casi ninguno resistió los estragos de la colonización, en especial el exterminio demográfico y pronto desaparecieron. Otros sistemas habían sido abandonados previamente. El de chinampas fue una de

las notables excepciones, al grado de sobrevivir hasta los umbrales del año 2000 (que no es poca hazaña)

La agricultura de chinampas funcionó como un foco de atracción de población, pues requería de un suministro constante y abundante de mano de obra. Las aldeas, poblados y ciudades lacustres proliferaron en el área chinampera de los vasos de agua dulce de Xochimilco, Chalco, México y Xaltocan durante el periodo mexicano. Sólo en Chalco y Xochimilco se calcula que en ese lapso existieron 9000 hectáreas de chinampas (12 000 incluyendo canales y lagunitas) que cubrían casi la totalidad de los vasos. La edificación de obras hidráulicas de control de los niveles (diques) y de desagüe y circulación de agua (canales), fueron como ahora, elementos básicos tanto para el funcionamiento óptimo de la agricultura, como para que los poblados lacustres no se inundaran.

Desde sus orígenes, la gran urbe México Tenochtitlán y la chinampería han sido interdependientes ésta requiriendo de la población urbana para colocar su producción excedente de alimentos y flores, mientras que la ciudad necesita tanto de los alimentos como de los servicios de sus campesinos y la recreación que la zona proporciona. La flora y fauna lacustres (de gran riqueza, hoy casi extinta), fueron igualmente elementos importantes en el intercambio.

La relación de la chinampería con la ciudad es tan antigua como difícil, pues lo mismo ha traído beneficios a los chinamperos, que graves daños y muchos perjuicios. En la época colonial, cuando llovía en exceso y la ciudad de México podía inundarse, las autoridades virreinales ordenaban el cierre de la compuerta de Mexicaltzingo para impedir la entrada del agua proveniente del sur. La consecuencia de estas medidas era la elevación del nivel del agua y la inundación masiva de las chinampas y poblados ribereños e insulares de Tláhuac y Xochimilco.

Más tarde, entre 1865 y 1885, como consecuencia de los proyectos estatales de drenaje total en la Cuenca de México, que se iniciaron en 1607 con las obras de Huehuetoca, se procedió a la desecación de Chalco y parte de Xochimilco, mediante la excavación de grandes drenes que se conectaron al canal de Garay en el lago de Texcoco, y luego al Canal del Desagüe. Las haciendas, en especial la de Xico, en Chalco, se apoderaron de los terrenos así “liberados” para la agricultura y la ganadería, y las comunidades tuvieron que esperar hasta después de la Revolución para recuperar sus territorios en forma de ejidos. Pese a la desecación, Mixquic, Tezompa y Tetelco conservaron sus chinampas hasta aproximadamente 1950, gracias a la existencia de manantiales locales; hoy sólo Mixquic las tiene (Rojas, *op.cit.*)

Las leyes de desamortización de la época juarista y las de colonización porfiriana más tarde, sentaron las bases “legales” para que particulares y compañías privadas intentaran y en ocasiones lograran, el despojo a las comunidades de sus terrenos pantanosos para explotar la turba o para establecer o ensanchar sus haciendas y ranchos. Las comunidades corrieron con suertes diversas y algunas lograron retener sus ciénagas (el caso mejor documentado es el de San Gregorio, que pudo mantener el dominio sobre casi toda la suya, que más tarde pasó a formar el ejido).

Por su parte algunos lugareños aprovecharon la oportunidad para adjudicarse en propiedad privada las chinampas que ya gozaban como hijos de los pueblos, o para apropiarse de porciones pantanosas para construir nuevas. Mas tarde, con la reforma agraria, los pueblos pudieron recuperar sus territorios bajo la forma de ejidos y al mismo tiempo, conservar sus chinampas privadas.

Los problemas más graves para la chinampería de Tláhuac y Xochimilco se iniciaron cuando, en el siglo XIX, se desviaron algunos de sus ríos tributarios (San Juan de Dios, Churubusco y La Piedad)

hacia el Canal del Desagüe; después, sus manantiales de mayor caudal sirvieron para abastecer de agua potable a la ciudad de México. Para este propósito, en 1905 se comenzó el tendido del acueducto de cemento armado con capacidad para captar 2100 l/s, que concluyó hasta 1914

Años después, en los 40's y 50's, los manantiales dejaron de alimentar a los canales y lagunas de la región Las chinampas de Tulyehualco, Acalpixca y Nativitas casi desaparecieron, y las de Xochimilco, San Gregorio, San Luis y Tláhuac se redujeron drásticamente al quedar sin agua. Los chinamperos iniciaron entonces una lucha sin cuartel para que el Departamento del Distrito Federal los dotara del agua necesaria para continuar con sus actividades productivas. Como respuesta, en 1957 se comenzó la alimentación artificial de los canales, primero con los ríos Churubusco y San Buenaventura, por el cauce abierto del Canal Nacional, y en 1959, con aguas negras tratadas de la planta de Aculco, Coyoacán

En 1971, la planta del Cerro de la Estrella aportó el agua residual a los canales de Xochimilco, San Gregorio, San Luis Tlaxialtemalco y Tláhuac, a través de una red subterránea. Sin embargo, esto no ha compensado ni en cantidad ni en calidad, la pérdida sufrida por los chinamperos.

A lo largo de casi 500 años a partir de la conquista, los chinamperos han logrado sortear con mucha dificultad una multitud de escollos y adversidades para conservar sus parcelas y transmitir sus conocimientos a las nuevas generaciones. Ahora se enfrentan a nuevos retos. La "modernidad" también los está alcanzando y con ella un futuro incierto que quizá signifique el fin de su tradición agrícola y de sus famosos *jardines en los pantanos*. Las chinampas y Xochimilco en particular volvieron a ser noticia en '87 y '89 por declararse a Xochimilco (junto con la ciudad de México) Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO (dic. de 1987), y porque las autoridades del Departamento del Distrito Federal hicieron público el llamado *Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco* (26/sep/89), para lo cual solicitaron y obtuvieron del Ejecutivo Federal la expropiación del ejido de Xochimilco (780 has) y parte del de San Gregorio Atlapulco (258 has) (21/nov/89) (Rojas, 1990).

En septiembre de 1989 el Gobierno del Distrito Federal puso a "consideración de la ciudadanía" un plan de rescate ecológico que proponía "*obras para mejorar la situación ambiental en Xochimilco*" (DDF, 1989). Sin dar el tiempo para que la ciudadanía lo considerara adecuadamente, desde agosto del mismo año el DDF solicitó la modificación del uso del suelo en el área para favorecer tal plan y al tiempo que lo presentaba a la ciudadanía en el Museo de la Ciudad el 25 de septiembre, el propio regente veía publicada en el Diario Oficial de la Federación su solicitud para expropiar tierras de los ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, para desarrollar ahí las obras básicas que consideraba su plan (González, 1991).

El proyecto gubernamental apareció legalmente inconsistente y planeado unilateralmente al proponer expropiar, urbanizar disfrazadamente y convertir en áreas verdes recreativas lo que ya eran áreas verdes productivas

Las comunidades ejidales se opusieron de diversas maneras: formularon un *Plan Ejidal* alternativo al del DDF, con el apoyo de algunos asesores técnicos (octubre/1989); impugnaron la modificación de la zonificación del uso del suelo que el DDF impuso para sus ejidos (dic. 1989) y se ampararon legalmente en nombre de su comunidad (enero 1990) buscando, que el gobierno detuviera las obras y tomara en cuenta la voluntad de las comunidades para concertar un plan que buscara restablecer el equilibrio ecológico regional (incluyendo los aspectos hidráulicos)

El 4 de diciembre de 1990 el gobierno de la ciudad de México dio a conocer un amplio documento (3 páginas enteras en los grandes periódicos nacionales) que recogía el *Acuerdo de Concertación para el Rescate Integral de Xochimilco*, formulado por el DDF y firmado por un gran conjunto de ejidatarios de Xochimilco y San Gregorio y sus respectivos comisarios ejidales; también lo firmaban más de 100 organizaciones sociales, ejidales, de productores, comerciantes, colonos, artistas y profesionistas de la región; por más de 30 miembros académicos del *Consejo Asesor del Proyecto de Rescate de Xochimilco* y por los funcionarios respectivos del DDF.

Tal documento era significativamente diferente del que el DDF había puesto a "consideración de la ciudadanía" en 1989, ya que recogía un conjunto de demandas que diversos sectores de la sociedad xochimilquense, algunos analistas del medio académico y la sociedad civil había venido haciendo a lo largo de 1989-1990 para presionar hacia un proyecto regional más justo y en el cual se tomara en cuenta a la comunidad de Xochimilco

El acuerdo no desandaba, sin embargo, el camino de lo expropiado, y mantenía un núcleo de las propuestas originales que el DDF estableció desde 1989 (y aún desde antes). Así, se entendía que las autoridades capitalinas negociaban con la comunidad local, y que a través de ese Acuerdo ganaban cierto consenso para su gran proyecto de obras hidráulicas, viales y recreativas para la ciudad, comprometiéndose a realizar a cambio, un amplio paquete de acciones para el beneficio regional, solicitadas por las propias comunidades y grupos ciudadanos.

Como aspecto trascendente, el problema de Xochimilco en el proceso generalizado de expropiación de tierras ha sido de los más considerados: en él, si bien a destiempo, se ha tomado en cuenta un gran conjunto de participaciones ciudadanas, se han pagado indemnizaciones más oportunamente que en otros casos, y tal vez siente precedente de concertación con planificación participativa para subsiguientes obras de desarrollo en el área metropolitana, y de mayor respeto para las comunidades productoras en la periferia de la ciudad (González, *op. cit.*)

1.2.2 MARCO TEORICO CONCEPTUAL

1.2.2.1 ORÍGENES Y CAUSAS DE LAS SALES EN LOS SUELOS

La alcalinidad se presenta cuando existe un alto grado de saturación de bases. La presencia de sales, especialmente Ca, Mg y Na en forma de carbonatos, da también preponderancia a los iones OH^- sobre los H⁺ en la solución del suelo:



Bajo tales condiciones el suelo es alcalino y a veces, fuertemente alcalino, sobre todo si está presente el carbonato de sodio, no siendo raro el pH = 9-10. Los suelos alcalinos son desde luego, característicos de las regiones áridas y semiáridas (Buckman y Brady, 1977).

En zonas áridas y en otras por efecto de la roca basal, topografía, clima y drenaje, se 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 endorreicas (Aguilera, 1989)

En los suelos de las regiones áridas y semiáridas las aguas de lavado 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, *op. cit.*)

En estos suelos se iluvian las sales, pero la movilización está dominada por la eluviación como resultado del régimen xérico que hace aflorar las sales como sucede en los suelos de Solonetz, Sierozem y, particularmente, en los Solonchacks; en estos últimos se forman costras delgadas o gruesas, blandas o endurecidas como el Takyr (arcillas-sales)(Aguilera, *op. cit.*)

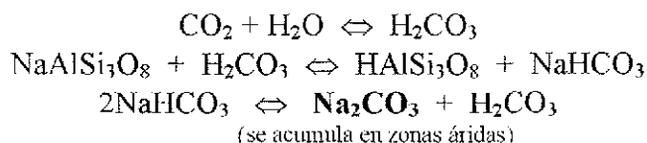
Las principales fuentes de sales en los suelos son la lluvia, el intemperismo de los minerales, sales "fósiles" y varias aguas superficiales y subterráneas que redistribuyen las sales acumuladas, y también, como un resultado de las actividades del hombre (Bresler *et al.*, 1982). Cada una de estas fuentes se menciona a continuación:

a) Lluvia: aunque las sales comúnmente presentes en los océanos se originaron inicialmente del intemperismo mineral en la corteza terrestre, los océanos ahora constituyen una fuente mayor y separada de salinidad para las áreas costeras, áridas y semiáridas. Una manera como se redistribuyen las sales en la corteza terrestre es cuando las gotas del agua del mar dispersadas 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

Las pequeñas partículas de sal higroscópica transportadas 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 el 25-50% de las sales atmosféricas incidiendo sobre un área terrestre (Junge y Gustafson 1957, Eriksson 1960, citas en Bresler *et al.*, *op. cit.*). Una concentración relativamente uniforme de sales atmosféricas generalmente alcanza una distancia de 50-150 km de la costa, su distribución exacta depende especialmente de la topografía local. La concentración de sales en el agua de lluvia varía con la topografía, dirección de vientos dominantes, intensidad y distribución geográfica de la lluvia.

b) Intemperismo de los minerales.- Un atributo mayor de los suelos de las zonas áridas y semiáridas es su naturaleza relativamente no intemperizada, excepto para áreas extremadamente antiguas como Australia. Los minerales primarios (no intemperizados) constituyen una excelente fuente de nutrimentos para las plantas, pero también una fuente renovable de salinidad especialmente en las zonas áridas, porque las sales pueden acumularse y afectar adversamente el crecimiento de las plantas.

El CO₂ juega un papel importante al formar con el agua, ácido carbónico que ataca los minerales



Reacciones similares explican el origen de carbonatos y bicarbonatos de Ca, Mg y K a partir de olivinos, micas, feldespatos, etc.

La formación de sulfatos se debe a la oxidación de pirita o azufre volcánico (Seymour y Balluf, 1989)

c) Sales fósiles.- a pesar de la apreciable acumulación de sales en muchas áreas por el intemperismo mineral o por la precipitación de sales atmosféricas, los casos más dramáticos de acumulación de

sales (especialmente en regiones áridas) son por mucho, los involucrados con las sales "fósiles" derivadas de depósitos previos de sal, o de soluciones atrapadas en sedimentos de origen marino (roca basal). Tal liberación puede ocurrir naturalmente o como un 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 mayores desde el Cámbrico. Hay pocas áreas en el mundo en donde las sales fósiles no necesiten 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.

d) Actividades del hombre.- concentraciones altas de compuestos de nitrógeno y azufre (NO_x , SO_2) son encontradas frecuentemente cerca de áreas industriales; éstos pueden incrementar la cantidad de sales agregadas anualmente de la atmósfera a los suelos, al reaccionar con los componentes de los mismos y transformarse en nitritos, nitratos y sulfatos. 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 para irrigación, o puede apoderarse de agua almacenada sobre estratos geológicos altamente salinizados, como en el caso de la generación de electricidad por geotermia.

1.2.2.2 PROCESOS EDAFOGENÉTICOS

De acuerdo con Gedroits (1927), Kellogg (1934,1936), Seymour y Balluff (1989)(citas en estos últimos), los procesos naturales que conducen a la formación de suelos salinos-alcalinos son: Salinización, Sodificación y Solodización, que se consideran secuenciales.

a) 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, 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*.

Según los conceptos clásicos (Kellogg, 1936, en Seymour y Balluff, *op. cit*), el suelo Solonchak es la etapa inicial del proceso para producir un Solonetz.

b) 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 con sodio. Por hidrólisis del sodio del complejo de intercambio o a partir del Na_2CO_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 (B_{tn}).

Hay varias maneras para originarse un horizonte nátrico, que no requieren un Solonchak como etapa inicial: el intemperismo de minerales como la albita pueden liberar sodio, permitiendo la formación de un horizonte nátrico aún en un clima más o menos húmedo si no existe el lavado del suelo (Feherenbacher *et al.*, 1963; Wilding *et al.*, 1963, citas en Seymour y Balluff, 1989).

Si un suelo ha sido ácido, procesos de reducción por descomposición de la materia orgánica bajo condiciones anaerobias, pueden producir alcalinidad y aumentar el pH del suelo (van Breemen y Brinkman 1976). El sodio de la natrojarosita puede también ser liberado si el ión férrico de la estructura de la jarosita es reducido (Mermut *et al.*, 1985). Relaciones entre la reducción del azufre y otros elementos, y la producción de alcalinidad han sido evidenciadas por varios investigadores (Whittig y Janitzky, 1963; todas las citas en Seymour y Balluff, *op. cit.*).

c) 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 zona de materia orgánica dispersa y arcilla (horizonte nátrico) se mueve por eluviación-iluviación a más profundidad dentro del suelo.

1.2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS SÓDICOS Y SALINOS

Por lo que respecta al problema de salinidad, el laboratorio de salinidad del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha propuesto una clasificación de los suelos que comprende 4 grandes categorías basadas en propiedades químicas que conducen a cierta información básica. Los suelos están clasificados en salinos y no salinos de acuerdo con la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE). El criterio en que se basa esta determinación es que la conductividad de la corriente eléctrica está en relación con el contenido de sales presentes en el extracto, así como con la energía libre del agua (Ortega, 1987).

La otra propiedad empleada es el porcentaje de saturación con sodio del complejo de intercambio. Este porcentaje provee un índice de dispersión de las partículas del suelo, así como ciertas condiciones referentes a la nutrición de las plantas, ya sea que existan de hecho en el suelo o bien que se desarrollen como resultado de la eliminación de las sales solubles (Ortega, *op. cit.*).

a) Suelos salinos: El término se aplica a suelos con $\text{CE} > 4$ mmhos/cm a 25°C , con un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) < 15 , usualmente $\text{pH} < 8.5$; corresponden a los suelos Solonchak. En éstos, el establecimiento de un drenaje adecuado permite eliminar por lavado, las sales solubles, volviendo a ser suelos normales. Se reconocen por la presencia de costras blancas de sal en su superficie (Richards, 1985).

El sodio rara vez representa más de la mitad del total de los cationes solubles y por lo tanto, no es adsorbido en forma importante. Las cantidades relativas de calcio y magnesio presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio, varían considerablemente. Tanto el K^+ soluble como el intercambiable son constituyentes de menor importancia, aún cuando ocasionalmente se tornen en constituyentes mayores. Los principales aniones son el cloruro, el sulfato y a veces el nitrato. Pueden presentarse pequeñas cantidades de bicarbonato, pero los carbonatos solubles casi no se encuentran. Pueden contener sales de baja solubilidad como yeso y caliza

b) Suelos sódico-salinos: Su $CE > 4$ mmhos/cm a $25^\circ C$, el $PSI > 15$. Siempre que contengan un exceso de sales, su apariencia y propiedades son similares a las de los suelos salinos. Cuando hay exceso de sales raramente el $pH > 8.5$ y las partículas permanecen floculadas. Si el exceso de sales solubles es lavado, las propiedades de estos suelos pueden cambiar notablemente, siendo idénticas a las de los sódicos no salinos. A medida que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de Na, que a su vez, puede cambiar a carbonato de sodio. En cualquier caso, el lavado de un suelo puede hacerlo mucho más alcalino ($pH > 8.5$), las partículas se dispersan y el suelo se vuelve desfavorable para la entrada de agua y para las labores de labranza (Richards, 1985)

c) Suelos sódicos no salinos: Su $PSI > 15$, $CE < 4$ mmhos/cm a $25^\circ C$, el $pH \geq 8.5$; corresponden a los Solonetz, la materia orgánica al estar dispersa y ser muy soluble, puede moverse y acumularse en la superficie causando un enegrecimiento del suelo. Al aumentar la proporción de Na intercambiable, el suelo tiende a ser más disperso y el pH aumenta en ocasiones hasta 10. En la solución del suelo los aniones presentes son en su mayor parte cloruros, sulfatos y bicarbonatos y también, pequeñas cantidades de carbonatos. A pH muy alto y en presencia de iones carbonato, el Ca y el Mg se precipitan, de manera que usualmente sólo pequeñas cantidades de potasio intercambiable y soluble pueden presentarse en algunos de estos suelos (Richards, *op. cit.*)

d) Suelos normales: conforme a las categorías anteriores, resulta obvio que estos suelos presentan una $CE < 4$ mmhos/cm a $25^\circ C$, un $PSI < 15$ y un $pH = 6-8$ (tendiendo hacia la neutralidad). Los agregados y estructura del suelo no están afectados por las sales ni el sodio; la asimilación de macro y micronutrientes por las plantas es favorable.

1.2.2.4 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 bien 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 sódicos y salinos (Richards, *op. cit.*).

a) Textura: Es bien sabido que la distribución de tamaños de las partículas tiene influencia en las propiedades de retención y transmisión de humedad en los suelos. Por regla general, 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. En general, 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

b) Área superficial y tipo de mineral arcilloso: Se puede considerar que las partículas del suelo tienen una superficie externa y otra interna. Los minerales primarios tales como el cuarzo y los feldespatos, y los minerales arcillosos caolinita e illita, tienen únicamente superficies externas. Los minerales arcillosos con estructura expandible (expansión interlaminar), como la montmorillonita, tienen superficies externas e internas. 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 m², 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 m² 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 equivalentes de arcillas no expandibles, como la caolinita o la illita, sobre todo, cuando contienen cantidades considerables de sodio intercambiable.

c) 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, eliminándose el exceso de sodio intercambiable sin recurrir a la aplicación de mejoradores.

Las características comunes de tales suelos fueron: pH \geq 9.0, porcentaje de potasio intercambiable entre 25 - 40, y concentraciones de silicatos solubles en los extractos de saturación desde 5 hasta 40 meq/l, pero los excesos de sodio y este anión, son eliminados con lavados

La saturación con potasio 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 potasio y silicatos solubles, son menos susceptibles al desarrollo de condiciones físicas adversas.

d) 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-humíferos y turbosos con cantidades apreciables de sodio intercambiable, presentan buenas condiciones físicas

Se ha encontrado que la aplicación de estiércol a razón de 123.5 ton/ha a un suelo sódico con manchones aceitosos, aumenta el grado de agregación del suelo superficial y que 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.

1.2.2.5 EFECTOS DE LAS SALES Y EL SODIO SOBRE EL SUELO Y LAS PLANTAS

A) 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 calcio es el catión más abundante en el complejo de cambio y los suelos mantienen su estructura. Cuando el sodio y magnesio intercambiables y solubles aumentan, las fuerzas de atracción entre las partículas arcillosas disminuyen mucho y éstas tienden a dispersarse, provocando que el suelo pierda su estructura, su porosidad, se compacte, se encharque fácilmente, se generen condiciones anaeróbicas, la nitrificación se detenga, etc. (Pizarro, 1978)

Conforme aumenta la saturación con sodio aumentan el pH del suelo y la movilidad de la fracción coloidal (Ortega, 1987). Si los suelos contienen carbonato sódico, aumenta mucho 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, *op. cit.*)

El pH es afectado por la alta concentración de sales. En suelos alcalinos se ha comprobado que al aumentar la concentración de NaCl, CaSO₄ y KCl, el pH disminuye (Aceves, 1979). En general, las sales afectan el valor del pH, pero a su vez, éste, junto con el exceso de sodio soluble, tienden a provocar precipitaciones del calcio y magnesio solubles en forma de carbonatos (Ortega, *op. cit.*)

En un suelo cultivable con un pH \approx 7.5, se encuentra mucho calcio, magnesio y molibdeno disponibles para las plantas, poco o ningún aluminio tóxico, una moderada aunque activa cantidad de humus y un aprovechamiento real de nitrógeno. Sin embargo, si el pH es demasiado alto, los aluminosilicatos tóxicos llegan a disolverse, el K⁺ y el Ca⁺⁺ se adsorben con dificultad debido a la competencia del Na⁺ y Mg⁺⁺, se produce una baja disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Zn y sobre todo, de fósforo y boro (Buckman y Brady, 1977; Ortega, *op. cit.*)

B) Efectos sobre las plantas

Las plantas que pueden desarrollarse en los suelos salinos son por lo general, pequeñas y su follaje presenta un color azul-verdoso oscuro. Este color es consecuencia de un alto contenido de clorofila y 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, provocado 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, *op. cit.*)

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 nitrógeno, además de otros elementos ya señalados, a causa del pH y sodio altos, así como intoxicación con aluminosilicatos (López y López, 1985, citado por Castillo, 1993)

El contenido alto de sodio intercambiable es capaz, independientemente del pH, de afectar el crecimiento vegetal por inducir deficiencia de otros nutrimentos, siendo las de calcio y magnesio las

más notables. También se ha reportado el efecto específico nocivo del magnesio cuando se le comparó con sodio y calcio, por una deficiencia de calcio inducida por una exclusión parcial de este catión en la planta, en presencia de un exceso de magnesio (Ortega, *op. cit.*)

La tolerancia de las plantas a las sales es variable; el principal daño se presenta en la germinación y en sus primeras etapas de desarrollo (Ayers, 1952; Donahue *et al.*, 1977; citas en Castillo, 1993)

Ciertas plantas cultivadas en medios salinos alteran su metabolismo, acumulando aminoácidos libres, algunos de los cuales tienen efectos tóxicos como la leucina, alanina y tirosina; así, el tabaco y el maíz 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 sus 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 (Flowers *et. al.*, 1977; cita en Castillo, 1993).

1.2.2.6 USO O RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS Y ALCALINOS

A) PRÁCTICAS FUNDAMENTALES

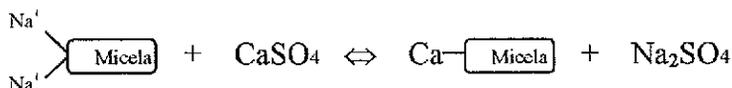
En cuanto a los suelos salinos y alcalinos Buckman y Brady (1977) mencionan que hay 3 formas generales en que pueden utilizarse, evitando al menos parcialmente los efectos desfavorables para las plantas:

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 y, 3) Separación.

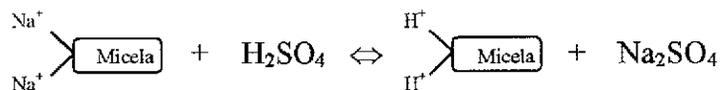
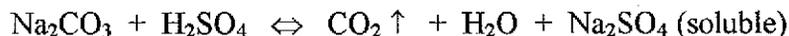
La remoción es apropiada cuando se inunda después de haber drenado (con tubos); en regiones irrigadas pueden hacerse densas y repetidas aplicaciones del agua. Las sales que se solubilizan son lavadas del solum y desaguadas a través de los tubos de drenaje

El método de lavado trabaja bien sobre todo con suelos salinos permeables, cuyas sales solubles son neutras y ricas en Ca y Mg. Al tratar simplemente con agua suelos salinos y salino-alcalinos, ello puede intensificar su alcalinidad por removerse las sales neutras solubles; esto se puede evitar por el método siguiente:

Conversión: En este caso se emplean mejoradores químicos; se convierten el carbonato y bicarbonato sódico (tóxicos) en sulfato sódico, por previo tratamiento del suelo con aplicaciones de yeso o azufre. El suelo debe mantenerse húmedo para acelerar la reacción, colocando el yeso 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 sulfato sódico. El yeso reacciona con el carbonato sódico y con el sodio adsorbido así:



El azufre es útil en suelos salinos cuando abunda el carbonato sódico. El azufre después de oxidarse produce ácido sulfúrico. Las reacciones del H_2SO_4 con compuestos de Na se representan:



En estos casos, no todo es carbonato sódico cambiado a sulfato (sal casi neutra), pero el radical carbonato 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 (primavera). 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.

B) MEJORADORES QUÍMICOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LOS SUELOS SÓDICOS (RICHARDS, 1985 Y ORTEGA, 1987)

La clase y cantidad del agente químico que debe usarse como mejorador para el desplazamiento del sodio intercambiable en un suelo sódico, depende del contenido de calcio y pH del suelo, del tiempo o rapidez con que se desee desplazar el sodio y del costo del mejorador por unidad de calcio soluble que done éste al suelo, directa o indirectamente, reaccionando con el calcio del suelo.

Las experiencias de Bower y Goertzen (1958, cita en Ortega, *op. cit.*) han demostrado que cuando se añade agua a un suelo que contiene sodio adsorbido y carbonato libre, ocurre una reacción de hidrólisis y el calcio disuelto desplaza algo del sodio 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 CaCO_3 presente, la reacción continúa hacia la derecha debido a la eliminación de iones de HCO_3^- , OH^- y Na^+ .

El CO_2 liberado por las raíces de las plantas, facilita de manera apreciable el desplazamiento del Na^+ adsorbido en suelos calcáreos, según se expresa en la siguiente ecuación:



Los agentes químicos que se usan para desplazar al sodio son de 3 tipos:

- 1) **Sales cálcicas solubles:** cloruro cálcico (CaCl_2), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- 2) **Ácidos o compuestos que forman ácidos:** H_2SO_4 , azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio, cal-azufre o polisulfuro de calcio (CaS_5)
- 3) **Sales cálcicas de baja solubilidad que pueden contener sales de magnesio:** piedra de carbonato cálcico o dolomita 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 3 grupos.

- I.- Suelos que contienen carbonatos alcalinotérreos
- II.- Suelos sin carbonatos alcalinotérreos con $\text{pH} > 7.5$
- III - Suelos sin carbonatos alcalinotérreos con $\text{pH} < 7.5$

En los suelos del grupo I pueden usarse las sales cálcicas solubles, los ácidos y formadores de ácidos, pero el carbonato calizo se descarta. 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 carbonato calizo molido, el cual puede ser efectivo cuando la reacción sea con $\text{pH} < 7$, pues la solubilidad del CaCO_3 disminuye mucho con el aumento del pH.

Generalmente la reducción del pH alcalino de los suelos de las regiones áridas hasta $\text{pH} = 6-6.5$, 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 azufre 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 ácido sulfúrico.

C) TÉCNICAS AUXILIARES (Pizarro, 1978):

C1) Técnicas mecánicas:

Arados profundos: consisten 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 sodio y a más profundidad existía una capa rica en yeso.

Subsolados: 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.

C2) Técnicas biológicas:

Abonados orgánicos: la incorporación de materia orgánica al suelo, a través de la adición de estiércol, compostas o enterrando rastrojos o hierbas aún verdes, ayuda a mejorar sus propiedades físicas y químicas, dentro de las cuales se pueden mencionar: agregación, estructura, porosidad, aireación, permeabilidad, retención de humedad, suministro de diversos macro y micronutrientes (especialmente el nitrógeno); durante la descomposición de la materia orgánica se libera CO_2 , que al combinarse con el agua forma ácido carbónico, el cual a su vez, facilita la solubilidad de las sales de calcio 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 tierras salinas y/o alcalinas. La acción de las raíces de las plantas tolerantes mejora los suelos alcalinos que tienen una condición física pobre, ya que favorecen su agregación y conductividad hidráulica. Entre los cultivos especialmente 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 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 perfumería y, *Matricaria chamomilla* L. (manzanilla), que soporta condiciones de fuerte alcalinidad (pH = 9 – 9.2) y es capaz de extraer hasta 27.97 kg de sodio/hectárea; de la manzanilla se puede extraer un aceite que funciona como droga, se emplea como antiespasmódico, sedante y diurético (Singh, 1970, cita en Castillo, 1993).

Los cultivos con elevada ETP 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.

En las Tablas 1 y 2 se reportan la disminución en el rendimiento de varios cultivos o cultivos en general, en función de la salinidad y sodicidad del suelo respectivamente, mientras que en la Tabla 3 se describen los principales efectos de diferentes niveles de PSI sobre algunos cultivos.

TABLA 1. DISMINUCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE VARIOS CULTIVOS, SEGÚN LOS NIVELES DE SALINIDAD DEL SUELO (Pizarro, 1978).

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

TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SÓDICOS Y DISMINUCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS, SEGÚN EL PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (Pizarro, 1978).

CLASE	PSI	% DE 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

TABLA 3 EFECTOS SOBRE VARIOS CULTIVOS SEGÚN DIFERENTES PORCENTAJES DE SODIO INTERCAMBIABLE (Pizarro, 1978)

PSI	CULTIVOS	EFFECTOS
2 – 10	MUY SENSIBLES: Frutales y cítricos.	Síntomas de toxicidad debidos al sodio, aún a niveles bajos.
10 – 20	SENSIBLES: Alubia, maíz.	Reducción del crecimiento aún con suelos en buenas condiciones físicas.
20 – 40	TOLERANTES: Zanahoria, avena, sorgo, trébol, arroz, rábano, espinaca, lechuga.	Ligeros síntomas de toxicidad debidos al sodio; el deterioro del suelo es más importante.
> 40	MUY TOLERANTES: Trigo, cebada, tomate, alfalfa, algodón.	Los cultivos se ven afectados únicamente por el deterioro de las propiedades físicas del suelo.

**FUNDAMENTOS SOBRE EVALUACIÓN DE TIERRAS:
CLASIFICACIÓN POR CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA**

En los países como México, que se encuentran en subdesarrollo económico y social, se hace más imperante la necesidad de promover las actividades productivas que componen su estructura económica básica. Para ello es necesario contar con información relevante y confiable sobre los recursos naturales, principalmente respecto a los bienes y servicios que éstos pueden aportar directamente o mediante su transformación, al tipo y posibilidades de uso que dichos recursos permiten, y a su comportamiento y expectativas frente a las condiciones que impone cada sistema de aprovechamiento utilizado (INEGI, 1990).

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 clasificación interpretativa de Capacidad de Uso de las Tierras se realiza con fines agrícolas, ganaderos, forestales, de vida silvestre, recarga de acuíferos, conservación de suelos, etc.; se fundamenta en los efectos combinados del clima y las características intrínsecas permanentes del suelo, y 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 (SARH, *op. cit.* ; CNA, *op. cit.*).

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 capaces 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 (SARH, *op. cit.*). Los suelos de la clase VIII no son adecuados para usos agropecuarios ni forestales.

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 mismos.

Cuando el Departamento de Agricultura de los EUA creó la clasificación por capacidad de uso 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 y
- 4) Clima (SARH, 1977).

En una versión más actualizada y empleada por la CNA (1989) y en este trabajo, se consideran 5 subclases de capacidad:

- 1) Erosión (E),
- 2) Drenaje del Suelo (D),
- 3) Topografía (T),
- 4) Suelo (S), y
- 5) Clima (C), (Tabla 4).

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. La descripción de las clases es la siguiente:

TIERRAS APROPIADAS PARA CULTIVOS:

CLASE I.- Suelos con muy pocas restricciones para su uso; 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 nutrimentos para las plantas y tienen una alta 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 de la tierra 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 y presentan salinidad, sodicidad o ambas en bajo grado, 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.- Son suelos con severas limitaciones que reducen la elección de cultivos y/o requieren prácticas especiales de conservación y labranza. Las prácticas de conservación son generalmente más difíciles de aplicar y mantener.

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 su 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, etc. Estos suelos pueden usarse para la agricultura, praderas, pastizales, bosques maderables o sustento para la vida silvestre y cubierta vegetal.

CLASE IV.- Suelos con 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.

TABLA 4. CLASIFICACIÓN POR CAPACIDAD DE USO: FACTORES Y PARÁMETROS PARA CLASIFICAR TIERRAS (SARH, 1977; SARH-IMTA, 1988; CNA, 1989; INEGI, 1990).

SUBCLASES DE TIERRAS	FACTORES DE CLASIFICACIÓN	CLASES DE TIERRAS							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
EROSIÓN (E)	Riesgo de erosión (E1) Erosión actual (E2)	Ligero Nula - Ligera	Moderado Moderada	Moderada 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.
DRENAJE (D)	Escurrimiento superficial (D1)	Medio	Moderadamente Lento a Medio	Lento o Moder. Rápido	Encharcado 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	
TOPOGRAFÍA (T)	Pendiente ³ (%) (T1) Relieve (T2)	0 - 2 Casi plano	2 - 6 Liger. ondulado	6 - 10 Moder. ondulado	10 - 15 Fuert. ondulado	15 - 25 Casi plano	25 - 40 Muy fuert. ondul.	40 - 100 Escarpado	NOTAS: 1. Claves de texturas: A, a: Arena, arenoso C, c: Franco, francoso L, l: Limo, limoso R, r: Arcilla, arcilloso 2. Hasta material no penetrable por las raíces 3. Porcentaje en peso, de fragmentos líticos > 7.5 cm de diámetro 4. Soil Taxonomy, USDA - SCS 5. INEGI, 1990
SUELO (S)	Textura ¹ del Epipedón (0 - 30 cm) (S1)	C, Ca, Cl, Cra, Crl, L, Arcillas no plásticas	C, Ca, Cl, Cr, Cra, Crl, L, Ra, Rl; R < 60 %; No Vertisoles	Todas excepto Ac y A	Todas excepto A	Todas	Todas	Todas	
	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) (mmhos/cm; 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 (%; 0 - 100 cm) (S5)	< 15	< 35	< 60	< 60	< 80	< 85	< 90	
	Fertilidad potencial (CICT) (meq/100 g; 0-100 cm) (S6)	Alta > 20	Media 15 - 20	Baja 5 - 15	Muy Baja < 5	Baja 5 - 15	Muy Baja < 5	Muy Baja < 5	
	Cap. acumulativa de agua aprovechable (cm; prof. ≤ 150 cm) (S7)	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	
CLIMA (C)	Precipitación efectiva (mm) (C1)	> 800	600 - 800	500 - 600	400 - 500	300 - 400	300 - 400	100 - 300	
	Días secos acumulados (C2)	< 110	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 Temperatura ⁴ (C3)	(Iso)mesico (Iso)termico (Iso)hipertermico	Frígido Isofrígido				Crítico		

Los terrenos presentan pendiente 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 drenarlos o regarlos con infraestructura, pueden presentar un alto grado de salinidad, sodicidad o ambas; el clima se considera moderadamente adverso.

**TIERRAS LIMITADAS EN SU USO, NO APROPIADAS PARA CULTIVOS ANUALES,
PERO SÍ PARA CULTIVOS PERENNES O VEGETACIÓN NATURAL:**

CLASE V.- Suelos 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 piedras, 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 pratericultura (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; 7) baja capacidad de retención de humedad, 8) salinidad y/o sodicidad severas, 9) clima severo, etc..

CLASE VII.- Suelos con limitaciones tan severas, que se restringe su uso solo 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 ni 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. Por lo general 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 desierto), las áreas atravesadas por numerosas cárcavas profundas y las áreas muy escarpadas y rocosas.

Considerando la Tabla 4, 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.

1.2.2.8 GENERALIDADES SOBRE MÉTODOS ESTADÍSTICOS MULTIVARIADOS Y ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.

Estos métodos se han usado principalmente en Ecología de Comunidades Vegetales (Popma, 1988), y su aplicación ha sido para análisis:

- a) **Descriptivos**.- Estructura y composición, análisis de gradientes, patrones espaciales de distribución, mapeo, etc.
- b) **Dinámicos**.- sucesión primaria y secundaria, regeneración, variación estacional, perturbación y modelación de estos procesos.
- c) **Funcionales**.- producción primaria, ciclos de nutrientes y agua, interacciones bióticas y modelación de ecosistemas.

Los Métodos Multivariados se dividen en:

- 1) **Métodos de Agrupación**.- su objetivo es reunir muestras similares en grupos, los cuales tienen dentro de ellos una semejanza máxima y entre ellos mínima, se utilizan para analizar asociación o coocurrencia de especies, para definir tipologías, para construir mapas de vegetación y analizar relaciones entre la vegetación y el ambiente físico.
- 2) **Métodos de Ordenación**.- su objetivo es presentar gráficamente la similitud entre muestras o especies, de manera que la distancia entre 2 muestras en una gráfica es indicativa de su semejanza en términos de su composición de especies. Los resultados indican las fuentes principales de variación intrínseca en los datos y su relación entre gradientes ambientales. Dentro de este grupo se encuentra el Análisis de Componentes Principales.

Las razones por las que se eligió el Método de Componentes Principales para el presente trabajo, fueron por sus potencialidades, reconocidas por Jeffers (1978) y Pla (1986):

- a) Examen de correlaciones entre variables por separado.
- b) Reducción de las dimensiones básicas (de la variabilidad expresada por las unidades de muestreo individuales) hasta el más pequeño número de dimensiones significativas
- c) Eliminación de variables que aporten relativamente poca información al estudio
- d) Examen de las agrupaciones de las unidades de muestreo individual que dan más información, o las implicaciones de alguna estructura *a priori* impuesta sobre las unidades de muestra.
- e) Determinación de la ponderación objetiva de las variables en la construcción de índices de variación.
- f) Identificación de unidades de muestreo individuales de origen dudoso e incierto
- g) El reconocimiento de muestras mal identificadas o determinadas.

No todos estos puntos son de igual importancia en algún estudio en particular, y en algunos pueden estar ausentes

2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 GENERAL

Evaluar la extensión y grados de alteración salina y sódica de los suelos de chinampa de San Gregorio Atlapulco y seleccionar de entre las medidas establecidas hasta la fecha para la rehabilitación de suelos con estas características, las que pudiesen ajustarse mejor a las circunstancias del problema.

2.1.2 PARTICULARES

- A) Caracterizar las propiedades físicas y químicas de 2 suelos de chinampa y hacer un análisis comparativo de su condición salina y sódica
- B) Hacer análisis de correlación múltiple y componentes principales, para dilucidar las principales relaciones entre variables del suelo y detectar las que por su importancia y posibilidad de manejo, puedan ser consideradas para la rehabilitación de los suelos salino-sódicos de San Gregorio Atlapulco.
- C) Generar cartografía temática sobre edafología, usos del suelo y capacidad de uso de la tierra en la zona correspondiente a San Gregorio Atlapulco.
- D) Determinar los cambios en urbanización y usos del suelo del área bajo estudio, mediante la interpretación de fotografías aéreas de diferentes momentos
- E) Considerando las tendencias de urbanización – cambios de uso del suelo y las aptitudes y limitaciones de uso de los suelos de la zona, proponer estrategias para el manejo apropiado de los mismos, así como para la conservación y/o restauración ecológica en general.

2.2 HIPÓTESIS

- A) Conociéndose la manera como se correlacionan, asocian e interactúan las variables involucradas con la salinidad y sodicidad de un suelo, puede dilucidarse tanto la relación causa-efecto entre dichas variables, como su respectiva importancia, de manera que conocidos ambos aspectos e interpretándolos con respecto a los factores ambientales a mayor escala, pueden entonces definirse las mejores estrategias para mejorar a dicho suelo.
- B) Para cada grado de alteración salina y sódica de un suelo pueden encontrarse el mejor conjunto de alternativas técnicas, de mejoradores (minerales, químicos, orgánicos) y cultivos, que permitan tanto su rehabilitación, como el mejor provecho económico, y hacerlo progresivamente más productivo hasta un nivel en el que no se acentúe el problema de su degradación.
- C) Aunque la salinidad y sodicidad de los suelos cambia con el tiempo, existen intervalos de variación y tendencias de cambio de éstas, que pueden ser conocidos, y a partir de los cuales puede establecerse el estado de degradación de un suelo en un momento dado.

3 MEDIO AMBIENTE DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACION

El área bajo estudio se localiza dentro de la Delegación Xochimilco (Figura 2), entre los paralelos 19° 13' 46" - 19° 16' 49" de latitud norte y los meridianos 99° 02' 25" - 99° 04' 52" de longitud oeste, abarcando el poblado de San Gregorio Atlapulco y sus alrededores.

San Gregorio Atlapulco se localiza a los 2238 msnm, en la porción noreste de la Delegación Xochimilco, entre los 19° 15' 00" y 19° 15' 35" de latitud norte y los 99° 02' 50" y 99° 04' 15" de longitud oeste. Al suroeste colinda con el cerro de Tejomuco y Santa Cruz Acalpixca y al oeste con la chinampería de Caltongo (S.A.R.H., 1980).

La Delegación de Xochimilco es una de las 16 que constituyen al Distrito Federal (Figura 3) y tiene una extensión de 128.1 km², que corresponde al 8.97 % de la superficie de éste (1499 km²) (S.A.R.H., *op. cit.*). Esta Delegación se ubica al sureste del D.F., entre los paralelos 19° 09' 20" y 19° 19' 10" de latitud norte y los meridianos 98° 57' 27" y 99° 09' 37" de longitud oeste. Como límites políticos tiene: al norte las Delegaciones de Coyoacán, Tláhuac e Iztapalapa, al sur la Delegación de Milpa Alta; al este la de Tláhuac y al oeste la de Tlalpan (D.D.F., 1989).

El Distrito Federal pertenece a la Cuenca de México, la cual se localiza en el extremo sur de la Altiplanicie Mexicana, sobre el paralelo 19° N, que coincide con la situación de Eje Neovolcánico, a una altura promedio de 2240 msnm. Abarca una superficie aproximada de 9600 km², de la cual, alrededor de 40 % es plana y 60 % accidentada a causa de los lomeríos y vertientes de las sierras que la delimitan. En esta área tienen jurisdicción política el D.F. (14 % del territorio) y los estados de México (50 %), Hidalgo (26 %), Tlaxcala (9 %) y Puebla (1 %) (Figura 3, COLMEX-DDF, 1987).

Los extremos altitudinales en el sur de la Cuenca de México son: altura mínima, el vaso lacustre de Tláhuac y Xochimilco con 2234 msnm y altura máxima, el volcán Ajusco con 3960 msnm. De acuerdo con dichos límites y las características topográficas, se reconocen diferentes unidades de relieve: la *zona lacustre* o el nivel base por donde drenan las corrientes de agua a los 2240 msnm; la *zona cerril y de piedemonte*, de los 2300 a los 2600 msnm; la *ladera montañosa*, de los 2600 a los 3000 msnm, y por último, la *zona de montaña*, entre los 3000 y 3960 msnm (González *et al.*, 1990).

3.2 CLIMA

El clima en la Cuenca de México es predominantemente templado con variaciones en humedad, alcanzando ésta sus máximos valores en el área rural al sur y oeste de la Cuenca. En contraste, el clima seco del NE está extendiéndose hacia la parte urbana, debido a la transformación del paisaje natural hacia uno artificial (Jáuregui, 1987) (Figura 4).

En la cuenca se distinguen 2 épocas estacionales bien diferenciadas *la húmeda* de mayo a octubre, con mayor precipitación de junio a septiembre, y *la seca* de noviembre a abril, con un déficit hídrico más severo entre febrero y abril. Casi toda la precipitación es de tipo orográfica y convectiva en la temporada lluviosa. Los vientos alisios son las principales fuentes de humedad, cuyos vientos altos logran cruzar la Sierra Madre Oriental y llegan a la Cuenca de México con una dirección NE - SO (Fernández, 1988).

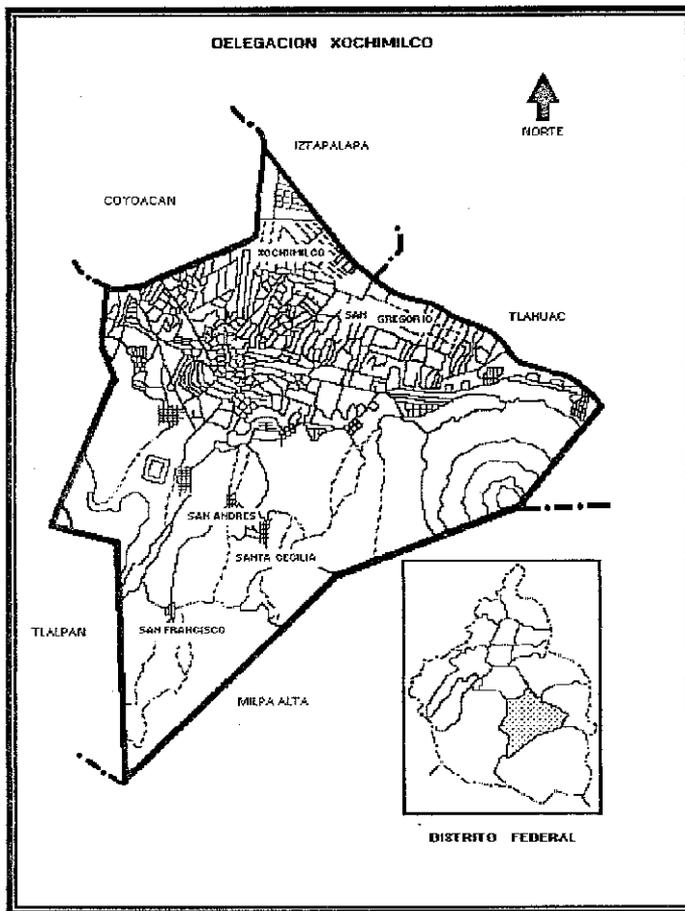


FIGURA 2. UBICACIÓN DE LA DELEGACIÓN XOCHIMILCO EN EL D.F. Y DE SAN GREGORIO DENTRO DE LA DELEGACIÓN (DDF, 1989).

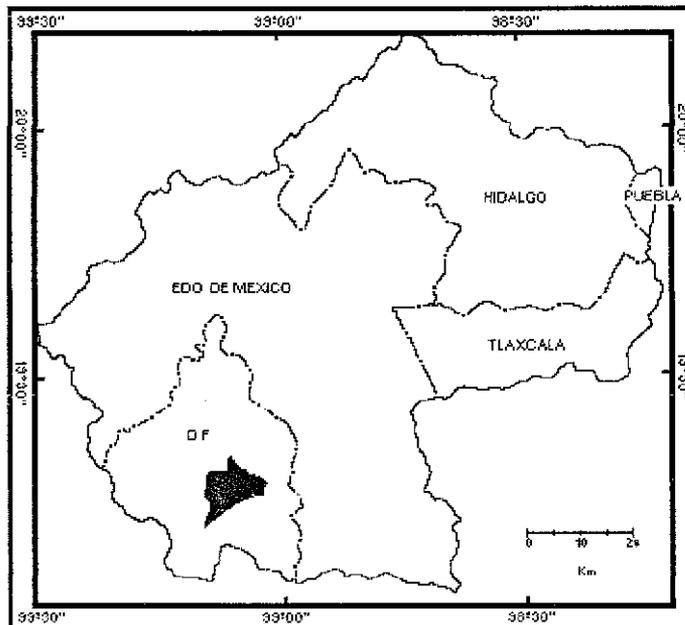


FIGURA 3. UBICACIÓN DE LA DELEGACIÓN XOCHIMILCO Y EL D.F. EN LA CUENCA DE MÉXICO (COLMEX-DDF, 1987)

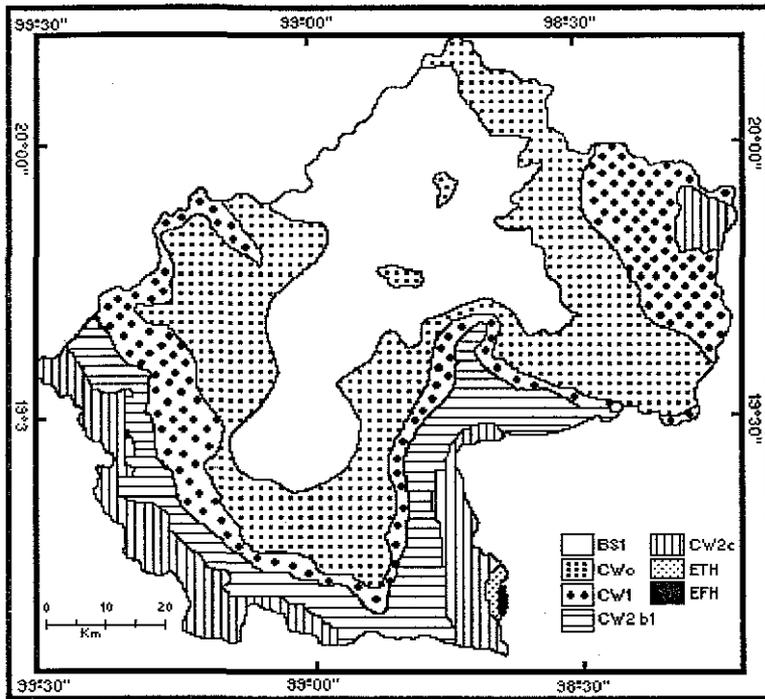


FIGURA 4. CLIMAS EN LA CUENCA DE MÉXICO (Jáuregui, 1987)

NOTAS:

BS:; Clima seco semiárido con lluvias en verano;
cociente P/T > 22.9; el menos seco de los BS

C(w): Clima templado subhúmedo con lluvias en verano:

C(w₁): cociente P/T < 43.2;

C(w₂): cociente P/T entre 43.2 y 55.0;

C(w₃): cociente P/T > 55.0;

b: con verano fresco largo;

c: con verano fresco corto;

E: Clima frío:

E(T)H: temperatura media anual entre -2 y 5°C

temperatura media mes más caliente entre 0 y 6.5°C

EFH: temperatura media anual < -2°C;

temperatura media mes más caliente < 0°C.

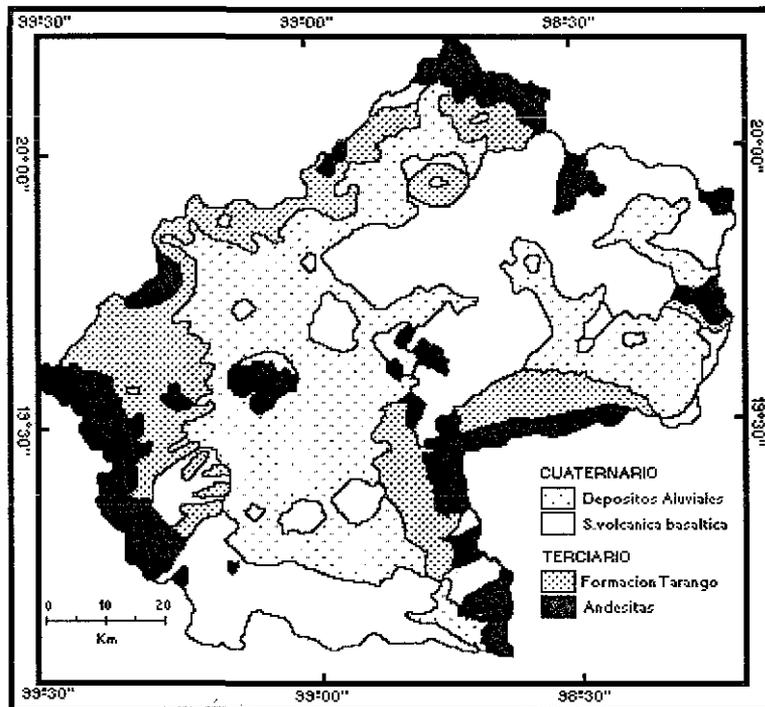


FIGURA 5. GEOLOGÍA DE LA CUENCA DE MÉXICO (Mooser, 1987).

A nivel del área de estudio, la variación ambiental es notable a causa de los cambios en orografía: la isoterma media anual de 15° C se encuentra en la base de la Sierra del Chichinautzin y coincide aproximadamente con la curva de nivel de 2300 msnm, mientras que la isoterma media anual de 4° C se encuentra en las cimas montañosas a los 3700 msnm. La Sierra del Ajusco-Chichinautzin ocasiona una gran captación de humedad, sin embargo, la intensa deforestación y la falta de vegetación en las partes altas cercanas, contribuye a que dicha condición se pierda. Ello provoca que el medio paulatinamente se haga más seco y la oscilación térmica tienda a ser más extremosa, principalmente en los días invernales cuando la frecuencia de las heladas va en aumento, así como la de tolvaneras, dando por resultado un medio cada vez más desfavorable para las actividades agrícolas propias del lugar (García, 1988).

Las heladas son fuertes y frecuentes en los meses de diciembre, enero y febrero (50 – 70 heladas al año), aunque se reporta que se presentan desde octubre hasta marzo (Bastida y Maciel, 1986). Se llegan a presentar también nevadas invernales en las cimas montañosas (INEGI, 1986).

Para tratar de definir las condiciones climatológicas existentes en la zona de estudio, se tomaron como referencia los datos reportados por García (*op. cit.*) de la estación meteorológica de Xochimilco (Tabla 5).

TABLA 5. REGISTROS DE TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES PROMEDIO MENSUALES Y ANUAL, Y FORMULA CLIMATICA PARA LA ESTACIÓN METEOROLOGICA XOCHIMILCO.

Clave de la Estación:	09 - 058	
Altitud:	2240 msnm	
Coordenadas:	19° 16' N	99° 06' W
Años de registro:	T = 17	P = 26
MES	Temperatura prom. (°C)	Precipitación prom. (mm)
Enero	12.0 (mín)	7.4
Febrero	13.2	9.0
Marzo	16.1	14.3
Abril	17.3	29.3
Mayo	18.2	95.5
Junio	18.7 (máx)	172.2
Julio	17.4	122.0
Agosto	17.5	249.6
Septiembre	17.5	257.1
Octubre	16.4	103.1
Noviembre	14.4	24.7
Diciembre	12.6	12.6
ANUAL	15.9	Total 1096.8
P/T	68.8	> 55.0
% P invernal	2.7 %	< 5 %
Oscilación Térmica	6.7 °C	< 7 °C
Tipo de Clima	C(w ₂)(w)b(i ⁷)w ⁷	

El tipo de clima definido para la zona es C(w₂)(w)b(i⁷)w⁷. *Templado Subhúmedo con Lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco y largo, con poca oscilación térmica y con presencia de canícula.* La descripción climática se hace en detalle en el Apéndice A1.

3.3 GEOLOGIA

Mooser (1961, 1987) divide a las formaciones de la Cuenca de México en 3 periodos *Terciario Medio*, *Terciario Superior* y *Cuaternario*, tanto por su orden de aparición y posición estratigráfica, como por el grado de erosión.

El **Terciario Medio** comprende todos los productos volcánicos emitidos entre el Oligoceno Superior y el Mioceno. Las formas volcánicas superiores fueron destruidas o sepultadas por el vulcanismo del Cuaternario, por lo que sólo se aprecian restos de volcanes estratificados, corrientes de lava, tobas y brechas. La Sierra de Xochitepec, al suroeste de Xochimilco, es un ejemplo de esta época, encontrándose en ella, basaltos, andesitas basálticas, andesitas francas con anfíbolas y piroxenos, dacitas, lutitas y riolitas.

Durante el **Terciario Superior** tuvo lugar la formación de la Sierra de Guadalupe y la Formación Tarango, así como la Sierra de Santa Catarina, formada por grandes acumulaciones de material piroclástico de composición intermedia y básica, constituido por arenas, cenizas y pequeñas interdigitaciones de derrames lávicos basálticos.

Los depósitos del **Cuaternario** son el resultado del último ciclo del vulcanismo (de 600 mil años), iniciándose en el Plioceno y alcanzando su máximo en el Pleistoceno. Durante este último período dominaron las bajas temperaturas y altos grados de humedad, lo que originó 2 Sistemas Fluviales:

El mayor tenía su cabecera en Zumpango y Pachuca, pasando al oeste de la Sierra de Guadalupe, después hacia el sur, por donde se localiza actualmente el pueblo de Xochimilco, hasta llegar a la región de Cuernavaca.

El sistema fluvial menor nacía en las faldas de la Sierra Nevada, corriendo por abajo de Chalco y Amecameca, para desembocar en el Alto Amacuzac, en la región de Cuautla.

En el **Cuaternario Superior**, una intensa actividad tectónica provocó hundimientos en la zona Clarión, que ocasionó a su vez el vulcanismo responsable de la formación de la sierra Chichinautzin, formada por potentes derrames lávicos basálticos, así como acumulación de brechas y cenizas. Esta sierra formó una barrera que interrumpió el drenaje hacia el sur de los sistemas fluviales antes mencionados, provocando un represamiento de aguas y materiales que dieron origen a la Cuenca de México. Con el azolve de la cuenca, se dio lugar a la acumulación de agua, lo cual dio origen a la aparición de lagos someros.

Durante la última manifestación de vulcanismo se dio el nacimiento de conos escoriáceos de la Sierra de Santa Catarina y de varios volcanes pequeños cercanos al Ajusco, entre los cuales está el Teuhtli y el Xitle. Los depósitos Cuaternarios constituyen la unidad más reciente y extensa, formada por depósitos aluviales y lacustres (Figura 5).

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

El origen geológico de la Cuenca de México queda enmarcado así, en la Formación Local y Regional de Cuencas Endorreicas del Terciario y Cuaternario de la Provincia del Eje Neovolcánico Transmexicano (Mooser, 1987).

3.4 HIDROLOGIA

El gran lago que existía en la Cuenca de México, se transformó (por alteraciones en el régimen pluviométrico y actividad tectónica) en 3 subcuencas o sistemas de lagos, con sus respectivas toponimias: al norte, Zumpango, Xaltocan y San Cristóbal; al centro México- Texcoco y al sur Chalco-Xochimilco (Figura 6). Actualmente solo quedan algunos lagos pequeños y aislados, prácticamente desecados

En el presente, el exlago de Xochimilco lo constituyen una serie de canales de aproximadamente 184 km, y la delegación, aunque no tiene corrientes de agua importantes, su relevancia hidrológica es precisamente por las innumerables zanjas y canales que limitan a las chinampas y sirven de comunicación entre las mismas (Valdez, 1995)

Entre los canales más importantes están: Chalco, Cuemanco, Nacional, Caltongo, San Cristóbal, El Bordo, Apatlaco, Japón, La Noria, Texhuilo. Las lagunas relevantes son: El Toro, La Virgen, Tlilac, Tlicuili, Tezhuilotl, Caltongo y Xaltocan (Escobedo, 1987).

Los principales afluentes son (González *et al.*, 1990)

- a) El Canal Nacional, que acarrea las aguas residuales de la ciudad de México, e incluye agua del río Churubusco y de la planta tratadora del cerro de la Estrella por el canal de Garay,
- b) Ríos temporales que descienden de las montañas cercanas, así como aportes aluviales;
- c) Descargas de aguas residuales hacia el subsuelo (zona de pedregales) o hacia los canales del vaso lacustre (González *et al.*, *op. cit.*; Castillo, 1993).

Los sistemas de escurrimiento principales en la subcuenca de Xochimilco se integran por los arroyos (González *et al.*, *op. cit.*)

- a) San Buenaventura - con cabecera en el volcán Ajusco y nivel base en el canal del mismo nombre que corre paralelo al Periférico;
- b) Santiago - con cabecera en el volcán Pelado en las inmediaciones del poblado de Parres y con nivel base en la presa de San Lucas;
- c) San Lucas - con cabecera en el volcán Cuautzin;
- d) San Gregorio - con cabecera en la franja montañosa de Milpa Alta, y
- e) El desaparecido San Juan de Dios - absorbido por la mancha urbana y del que ahora sólo quedan los escurrimientos subsuperficiales que obedecen a la alta permeabilidad de los pedregales de lava del Xitle.

Los arroyos San Buenaventura, Santiago, San Lucas y San Gregorio, presentan durante la época de lluvias entre sus cabeceras y la cuenca media, un escurrimiento de tipo torrencial, lo que hace a los terrenos bastante susceptibles a la erosión y más cuando los suelos han sido desprovistos de la cubierta vegetal. En la época de estiaje presentan un escurrimiento débil que responde al abastecimiento de algunas fuentes subterráneas, sin embargo, tanto en la época de lluvias como de estiaje, el cauce de los arroyos es alimentado por aguas residuales de los poblados suburbanos por los que cruzan (González *et al.*, 1990)

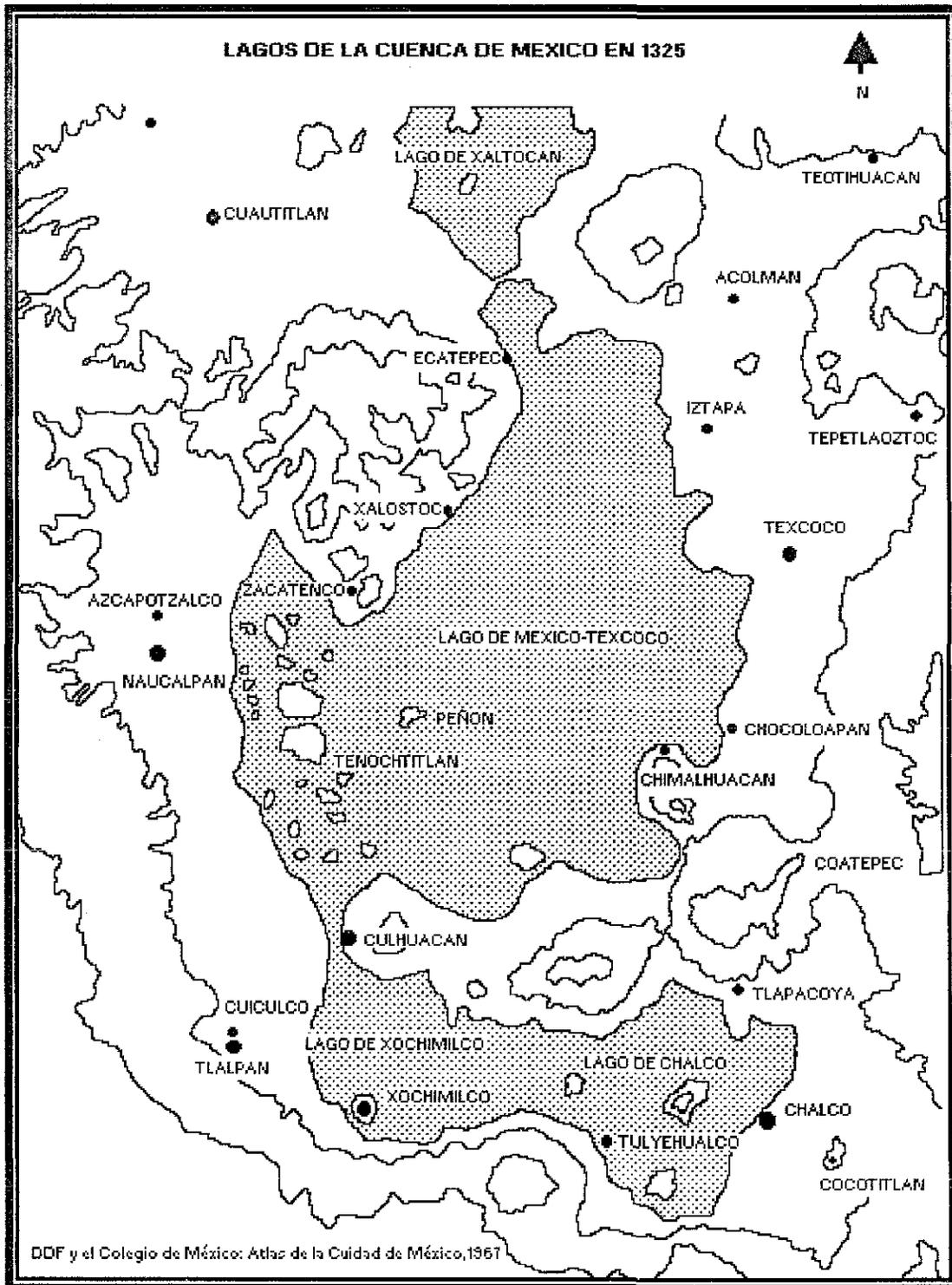


FIGURA 6 SITUACIÓN DE LOS LAGOS DE LA CUENCA DE MÉXICO EN 1325 (COLMEX-DDF, 1987)

Muy importantes fueron los manantiales que reabastecían el lago de Xochimilco que manaban al pie de las colinas de la parte sur y sureste, como los manantiales de Nativitas, La Noria, San Juan Tzomonolco, San Luis Tlaxialtemalco, El Niño, Xaltocan, San Gregorio Atlapulco, San Juan Acuezomac, Santa Cruz Acalpixca y Santiago Tulyehualco entre otros. Las aguas de los manantiales de San Luis, Santa Cruz, Nativitas y La Noria están entubadas y abastecen a la ciudad de México. El resto de los manantiales se ha secado, por lo que el nivel del agua en los canales ha bajado de manera alarmante (Castillo, 1993; Valdez, 1995).

3.5 SUELOS

En la Figura 7 se ilustra la distribución de asociaciones de suelos en la Cuenca de México, considerándolos a nivel de Orden, según el sistema *Soil Taxonomy-7ª Aproximación* del Soil Survey Staff (1975) (COLMEX-DDF, 1987).

Por su génesis y posición relativa, los suelos de la subcuenca de Xochimilco-Tláhuac pueden ser identificados en 3 zonas (González *et al.*, 1990):

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 Cuautzin.

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, etc.

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.

Similarmente a lo anterior, los suelos de San Gregorio Atlapulco y Santa Cruz Acalpixca se agrupan, atendiendo a su origen y distribución (Figura 8, Tabla 6; Saulés, 1986) en:

a) *Suelos in situ derivados de rocas ígneas extrusivas*. - se caracterizan por presentar un perfil de tipo A₁₁, A₁₂, 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 o pedregosidad que limita los primeros 100 cm de profundidad y que dificultan las labores agrícolas (Tablas 6 y 7) Estos sitios constituyen las unidades U1 (sitio 2), U2 (sin muestreo) y U4 (sitio 11).

b) *Suelos residuales de origen aluvial*. - caracterizados por presentar un perfil del tipo A, B, C. De estos suelos se ha detectado una superficie reducida en la zona de estudio, ocupando geoformas mas o menos planas y sin limitaciones físicas o químicas; se les considera regionalmente con un alto valor agrícola; éstos constituyen la unidad U3 (sitio 1).

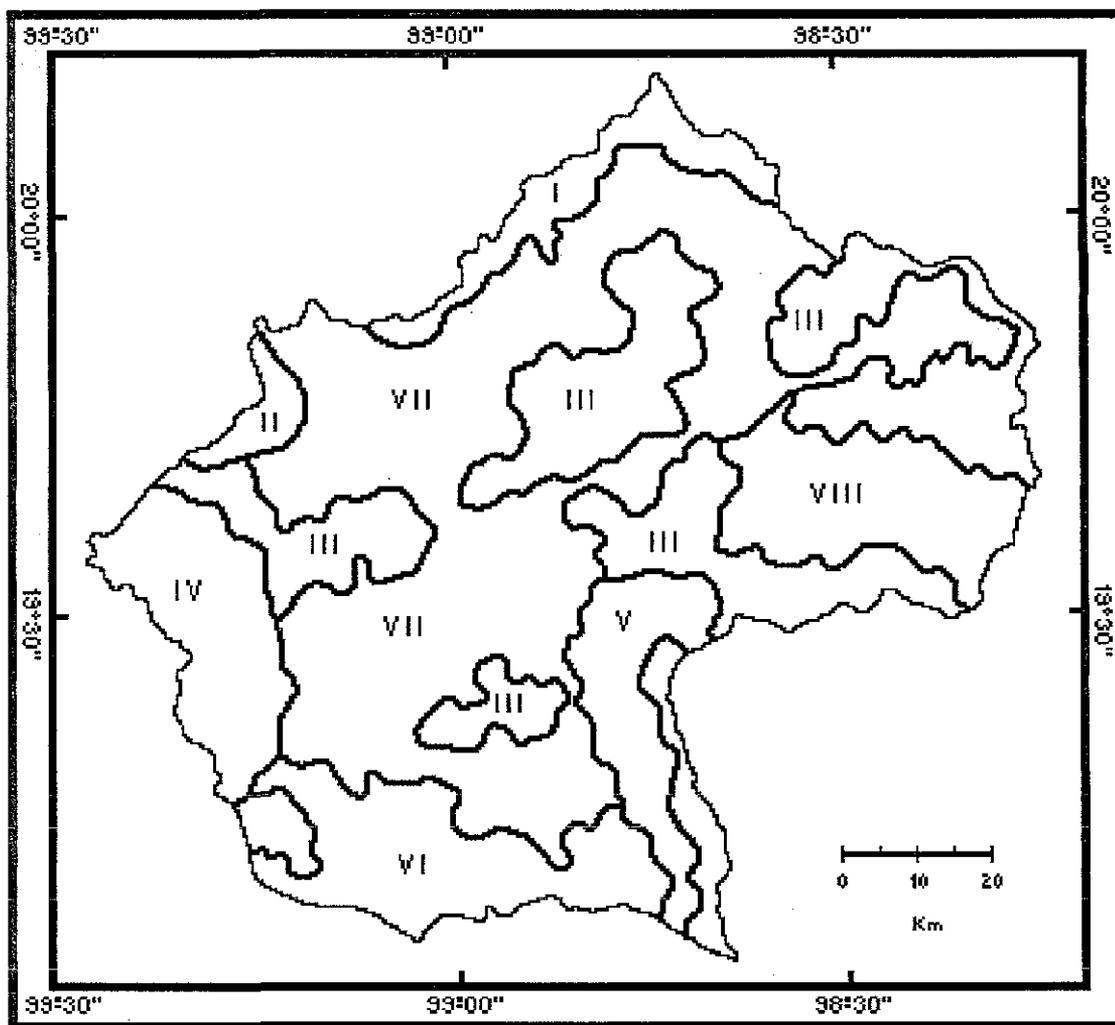


FIGURA 7. PRINCIPALES ÓRDENES DE SUELOS EN LA CUENCA DE MÉXICO (COLMEX-DDF, 1987).

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, Histosol.
- VIII. Mollisol.

FIGURA 8. UNIDADES TERRESTRES EN SANTA CRUZ Y SAN GREGORIO, XOCHIMILCO

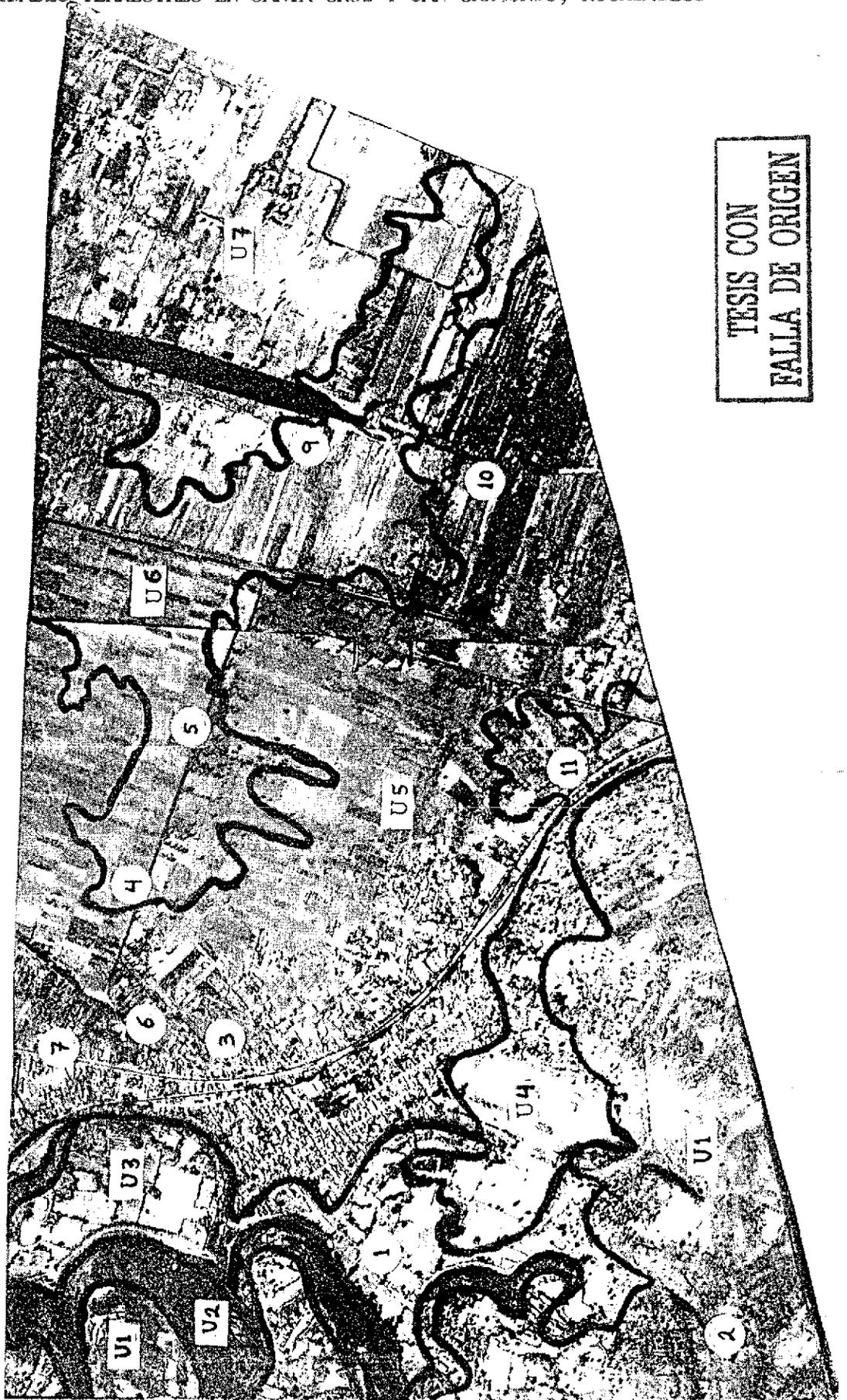


TABLA 6. CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS SUELOS DE SANTA CRUZ ACALPIXCA, EN RELACIÓN A SU ORIGEN, A ALGUNOS RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS Y SUS RIESGOS DE DEGRADACIÓN (SAULÉS, 1986).

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ORIGEN DEL SUELO	UNIDAD(ES) EDÁFICA(S)	FASE LIMITANTE	CLAVE SITIOS DE MUESTREO (Figura 8)	CLASIFICACIÓN TEXTURAL	M.O. %	RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL Ton/ha/Año
CUAILAMAC U1	Suelos <i>in situ</i> , derivados de rocas ígneas extrusivas	Feozem háplico (Hh)	Lítica profunda (Lp)	2	Migajón arenoso	2.61	16.10 (Baja)
TLACPAYELI U2	Suelos <i>in situ</i> y coluviales derivados de rocas ígneas	Feozem háplico (Hh) Regosol éutrico (Re)	Lítica (L) Pedregosa (P)	No se muestreó			
ALUVIÓN SANTA CRUZ U3	Suelos residuales derivados de aluviones recientes	Feozem háplico (Hh)	Sin fases físicas ni químicas	1	Migajón arenoso	1.47	17.78 (Baja)
PLANOS DE SANTA CRUZ U4	Suelos <i>in situ</i> , derivados de rocas ígneas extrusivas	Cambisol éutrico (Be) Feozem háplico (Hh)	Sin fases físicas ni químicas	11	Franco	7.78	11.07 (Muy Baja)
LA CIÉNAGA DE SANTA CRUZ U5	Suelos residuales derivados de aluviones fluviales y lacustres	Vertisol pélico (Vp) Feozem háplico (Hh)	Moderadamente Salina (ms)	3	Migajón arcilloso	3.38	38.91 (Moderada)
				6	Migajón arcilloso	4.58	32.87 (Moderada)
				7	Migajón arcilloso	6.51	32.87 (Moderada)
				10	Migajón limoso	6.82	30.19 (Moderada)
CALTONGO U6	Suelos residuales derivados de aluviones fluviales y lacustres ricos en sales y sodio	Solonchak órtico (Zo) Vertisol pélico (Vp)	Salina (s) Sódica (n)	4	Arcilla	6.58	60.39 (Alta)
				5	Migajón arcilloso	10.24	69.78 (Alta)
				8	Migajón arcilloso	6.97	30.19 (Moderada)
				9	Migajón arcilloso	8.24	26.84 (Moderada)
MOYOTEPEC U7	Suelos residuales derivados de aluviones fluviales y lacustres con acumulación de sales y sodio de origen geológico	Solonchak órtico (Zo) Solonetz (So)	Salina (s) Sódica (n)	No se muestreó			

TABLA 6. (CONTINUACIÓN)

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CLAVE SITIOS DE MUESTREO (Figura 8)	FÓSFORO ASIMILABLE (ppm)	FIJACIÓN DE FÓSFORO (%)	pH 1:2.5	C.E. mmhos/cm	PSI	CLASIFICACIÓN SALINIDAD-SODICIDAD	RIESGO POTENCIAL DE SALINIZACIÓN Y/O SODIFICACIÓN
CUAILAMAC U1	2	4.33	71.41	7.47	0.77	2.4	No Salino – No Sódico	NULO
TLACPAYELI U2	No se muestreó							NULO
ALUVIÓN SANTA CRUZ U3	1	5.26	81.37	7.25	0.54	5.3	No Salino – No Sódico	MUY LIGERO
PLANOS DE SANTA CRUZ U4	11	3.30	11.50	8.15				MUY LIGERO
LA CIÉNAGA DE SANTA CRUZ U5	3	9.26	52.50	7.72	8.9	7.4	Salino	MODERADO
	6	12.30	56.80	7.70	5.6	3.2	Salino – No Sódico	
	7	5.81	0.0	7.47	6.6	3.4	Salino – No Sódico	
	10	3.06	65.63	8.72	4.6	6.4	Salino – No Sódico	
CALTONGO U6	4	9.91	78.34	8.60	41.5	75	Salino – Sódico	ALTO
	5	2.25	61.66	7.45	17.5	26	Salino – Sódico	
	8	8.43	63.65	7.80	11.5	2.6	Salino	
	9	9.34	65.94	7.80	19.5	15	Salino – Sódico	
MOYOTEPEC U7	No se muestreó							EXCESIVO

NOTA:

En el trabajo consultado no se especifica ningún criterio de muestreo: elección de cada sitio, época de muestreo, profundidad de cada perfil, horizontes o capas presentes, espesor de éstos, etc.

TABLA 7. DETERMINACIÓN DE LAS LIMITANTES FÍSICAS Y QUÍMICAS, ASÍ COMO SU CLASIFICACIÓN AGROLÓGICA DE LOS SUELOS DE SANTA CRUZ ACALPIXCA, XOCHIMILCO (SAULÉS, 1986).

FACTOR LIMITANTE	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
DEFICIENCIA DE AGUA	CLASE 2 C	CLASE 2 C	CLASE 2 C	CLASE 2 C	CLASE 2 C	CLASE 2 C	CLASE 2 C
PENDIENTE	CLASE 3 T 6 - 10 %	CLASE 7 T 40 - 70 %	CLASE 1 T 0 - 2 %	CLASE 2 T 2 - 6 %	CLASE 1 T 0 - 2 %	CLASE 1 T 0 - 2 %	CLASE 1 T 0 - 2 %
PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO	CLASE 2 P 50 - 100 cm	CLASE 5 P 15 - 25 cm	CLASE 1 P 100 cm	CLASE 1 P 100 cm	CLASE 1 P 100 cm	CLASE 1 P 100 cm	CLASE 2 P 50 - 100 cm
OBSTRUCCIONES/ PEDREGOSIDAD	CLASE 3 O 10 - 15 %	CLASE 7 O 70 - 90 %	CLASE 1 O 0 - 5 %	CLASE 1 O 0 - 5 %	CLASE 1 O 0 - 5 %	CLASE 1 O 0 - 5 %	CLASE 1 O 0 - 5 %
INUNDACIÓN	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	CLASE 7 I	CLASE 8 I
SALINIDAD	CLASE 1 S No hay	CLASE 1 S No hay	CLASE 1 S No hay	CLASE 1 S No hay	CLASE 3 S	CLASE 7 S	CLASE 8 S
SODICIDAD	CLASE 1 N 0 - 10 %	CLASE 1 N 0 - 10 %	CLASE 1 N 0 - 10 %	CLASE 1 N 0 - 10 %	CLASE 1 N 0 - 10 %	CLASE 3 N 15 - 40 %	CLASE 4 N 40 - 60 %
FIJACIÓN DE FÓSFORO	CLASE 5 F	CLASE 5 F	CLASE 3 F	CLASE 3 F	CLASE 4 F	CLASE 5 F	CLASE 5 F
EROSIÓN	CLASE 2 E Erosión leve	CLASE 4 E Laminar fuerte	CLASE 1 E Nula o imperceptible	CLASE 2 E Erosión leve	CLASE 2 E Erosión leve	CLASE 3 E Laminar moderada	CLASE 4 E Laminar fuerte
DRENAJE	CLASE 1 D	CLASE 1 D	CLASE 1 D	CLASE 1 D	CLASE 1 D	CLASE 2 D	CLASE 2 D
CAPACIDAD AGROLÓGICA	CLASE 3 T	CLASE 7 T	CLASE 2 C	CLASE 2 C	CLASE 3 S	CLASE 7 S	CLASE 7 S I

c) *Suelos aluviales-lacustres considerados residuales*.- han derivado de materiales aluviales y lacustres del Pleistoceno. De modo general, el perfil de estos suelos está constituido por horizontes A, B, y C (A ótrico y B cámbico). Son menos frecuentes en la zona de estudio los suelos con horizontes A mólicos y B argílicos, que presentan generalmente un horizonte nátrico (Solonetz). Los suelos de este grupo se caracterizan por presentar limitaciones químicas (salinidad y sodicidad), las cuales se acentúan hacia las pendientes menores, teniendo éstas una dirección aproximada de SO-NE (figura 8, tablas 6 y 7); esta condición topográfica ha generado la existencia de diferentes cotas de concentración de sales. Los suelos comprendidos en esta categoría corresponden a las unidades U5 (sitios 3, 6, 7 y 10), U6 (sitios 4, 5, 8 y 9) y U7 (sin muestreo).

Las unidades edafológicas definidas son: Feozem háptico (U1 – U5), Regosol étrico (U2), Cambisol étrico (U4), Vertisol pélico (U5, U6), Solonchak ótrico (U6, U7) y Solonetz (U7).

La fertilidad de los suelos de chinampa se ha mantenido con el uso continuo de materia orgánica en forma de residuos no aprovechables de los cultivos, la incorporación de plantas acuáticas, excrementos animales, agua-lodo, compostas (preparadas principalmente con maleza) y la rotación de cultivos; en resumen, los suelos de chinampa son el resultado del uso intensivo de mano de obra (Jiménez, 1989; citado en Valdez, 1995)

Aguilera (1987; citado en Valdez, *op. cit.*), considera a los suelos de chinampa como *Antroposoles* debido al manejo continuo por parte del hombre, sin embargo, otros autores como Calderón (1983; citado en Valdez, *op. cit.*), los clasifican 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 (Intergrado 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), a estos suelos los clasifican dentro de las categorías Gleysol étrico, Solonchak, Solonetz e Histosol (Valdez, *op. cit.*)

3.6 VEGETACIÓN

3.6.1 NATURAL

En la delegación Xochimilco existe una gran diversidad de flora, tanto de hábitat terrestre como acuático

3.6.1.1 VEGETACIÓN TERRESTRE

Al sur de la delegación, en las partes altas, se desarrolla una vegetación de bosque mixto de pinos (*Pinus* spp), cedros (*Cupressus* spp), encinos (*Quercus* spp), madroños (*Arbutus* sp), ailes (*Alnus* sp), tepozanes (*Buddleia* sp) y ahuehuetes (*Taxodium* sp). En los lomeríos se encuentran capulines (*Prunus capuli*), pirules (*Schinus molle*), eucaliptos (*Eucalyptus* sp), tejocotes (*Crataegus mexicana*), aguacate (*Persea americana*), duraznos (*Prunus persica*), membrillos (*Cydonia oblonga*) y cítricos (*Citrus* spp), también se encuentran algunas xerófitas, pastos y hierbas silvestres (Mendoza, 1961; Ramos, 1990; Valdez, 1995)

En las chinampas y a sus orillas se encuentran los ahuejotes *Salix bomplandiana* y *S. humboldtiana*, así como el aile (*Alnus* sp), tepozán (*Buddleia* sp) y pirul (*Schinus molle*), estos 2 últimos con menor frecuencia (Sánchez, 1989).

Dentro de las chinampas no cultivadas se encuentran diferentes zacates: zacate robusto (*Echinochloa* spp), zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*), zacate criollo (*Hordeum adscendens*) y carrizos (*Gynerium sagittatum*); estas especies sirven como forraje al ganado (Reyes 1985; cita en Castillo, 1993) También puede encontrarse a la ortiga (*Urtica dioica*) o halófitas como: *Distichlis spicata*, *Heliotropium curassavicum*, *Suaeda diffusa* o *Suaeda nigra* (romeritos) y *Datura stramonium* entre otras (Novelo y Gallegos, 1988, Sánchez, 1989; Becerril y Díaz, 1993)

3.6.1.2 VEGETACIÓN ACUÁTICA

Novelo y Gallegos (1988) dividen el medio acuático relacionado con las chinampas en 4 ambientes:

- a) Acalotes o canales principales - la vegetación acuática está constituida principalmente por hidrófitas flotadoras libres como: lirio acuático (*Hydrocotyle ranunculoides*), lentejilla (*Wolffia columbiana*), ombligo de venus (*Hydrocotyle ranunculoides*, *H. verticillata*), *Spirodella polyrrhiza* y *Liliaeopsis schaffneriana*.
- b) Apantles o canales entre chinampas - de igual manera, aquí se encuentran hidrófitas flotadoras libres como: lirio acuático, tepecalate (*Hydromystria laevigata*) y lentejilla (*Lemna gibba* y *Wolffia columbiana*), en los bordes de los canales se establecen hidrófitas enraizadas emergentes como: *Berula erecta*, *Bidens aurea*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *H. verticillata*, *Jaegeria bellidiflora*, *Liliaeopsis schaffneriana*, *Polygonum amphibium*, *P. lapathifolium*, *P. persicarioides* y *Scirpus americanus* (zacatule).
- c) Ciénaga o pantano - las principales hidrófitas emergentes son: *Nymphaea mexicana*, *Eleocharis macrostachya*, *Liliaeopsis schaffneriana* y *Scirpus americanus*; como especies asociadas están: *Berula erecta*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *H. verticillata*, *Polygonum amphibium*, *P. lapathifolium*, *P. persicarioides*; entre las hidrófitas flotadoras libres se encuentran: *Hydromystria laevigata*, *Lemna gibba* y *Wolffia columbiana*.
- d) Lagunas - en estos cuerpos de agua se encuentran muy pocas especies, debido a que son dragados constantemente, sin embargo, se presentan algunas especies enraizadas firmemente en el fondo, como *Potamogeton pectinatus* y *Ceratophyllum demersum*.

De los 4 ambientes, en los apantles es donde se encuentra la mayor diversidad de especies vegetales acuáticas, porque hay acumulación de grandes cantidades de detritus y el movimiento del agua es casi nulo; por el constante dragado en las lagunas y en los canales principales casi no se alcanzan a desarrollar plantas acuáticas superiores.

En chinampas inundadas, la vegetación que destaca es *Typha latifolia* (tule ancho) y *Scirpus americanus* (tule esquinado o zacatule)

3.6.2 CULTIVOS

En la zona chinampera se distinguen 2 tipos de huertos: los familiares (para autoconsumo) y los comerciales. En los primeros se siembran hortalizas, forrajes, plantas de ornato y medicinales. En los segundos, la producción es para venderse y en las chinampas del centro del conjunto de éstas.

Según Becerril y Díaz (1993), el cultivo de plantas ornamentales en San Gregorio se considera reciente, pues el pueblo es por tradición productor de hortalizas. Los principales cultivos que se practican son de 3 tipos: 1) hortalizas, 2) plantas de ornato y 3) frutales, los cuales se resumen en las Tablas 8, 9 y 10, respectivamente

Como otra categoría de plantas que se cultivan en menor proporción, están las medicinales, listándose dentro de las principales a las siguientes: ajeno, albahaca, anís, borraja, cedrón, epazote, flor de azahar, hinojo, manzanilla, romero, ruda y hierbabuena (Becerril y Díaz, 1993).

TABLA 8. HORTALIZAS QUE SE CULTIVAN EN SAN GREGORIO ATLAPULCO (Sánchez, 1989; Ramos, 1990; Becerril y Díaz, 1993).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Acelga	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i> L.
Alcachofa	<i>Cynara scolymus</i> L.
Alegria	<i>Amaranthus leucocarpus</i>
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>
Apio	<i>Apium graveolens</i> L.
Berenjena	<i>Solanum melongena</i>
Betabel	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>crassa</i>
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>cauliflora</i>
Calabacita	<i>Cucurbita mexicana</i>
Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i> L.
Camote	<i>Ipomoea batata</i>
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>
Cebolla	<i>Allium cepa</i> L.
Chayote	<i>Sechium edule</i>
Chícharo	<i>Pisum sativum</i> L.
Chilacayote	<i>Cucurbita ficifolia</i> (Couche)
Chile	<i>Capsicum annum</i> L.
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i> L.
Col	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i>
Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>brotytis</i>
Epazote	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.
Espárrago	<i>Asparagus officinalis</i> L.
Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i> L.
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
Haba	<i>Vicia faba</i> L.
Hierbabuena	<i>Mentha sativa</i>
Jitomate	<i>Lycopersicum esculentum</i>
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.
Maiz	<i>Zea mays</i> L.
Nabo	<i>Brassica napus</i> L.
Perejil	<i>Petroselinum crispum</i>
Porro	<i>Allium porrum</i> L.
Quelite	<i>Chenopodium album</i> L.
Rábano	<i>Raphanus sativus</i> L.
Romerito	<i>Suaeda torreyana</i> L.
Tomate verde	<i>Physalis ixocarpa</i>
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i> L.
Zanahoria	<i>Daucus carota</i> L.

TABLA 9. PLANTAS DE ORNATO QUE SE CULTIVAN EN
SAN GREGORIO ATLAPULCO EN MACETA (m)
Y EN EL SUELO (s) (Sánchez, 1989).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Alhelí (s)	<i>Matthiola incana</i> L.
Aretillo (m)	<i>Fuchsia fulgens</i>
Alcatraz (s)	<i>Zantedeschia aethiopica</i>
Adelfa (m)	<i>Nerium oleander</i> L.
Bugambilia (m)	<i>Bougainvillea plabra</i>
Clavel (s)	<i>Dianthus caryophyllus</i> L.
Crisantemo (m)	<i>Chrysanthemum</i> sp. L.
Cempaxóchitl (s)	<i>Tagetes erecta</i> L.
Ciclamen (s)	<i>Cyclamen persicum</i> L.
Clavelina (s)	<i>Dianthus</i> sp.
Clorofito (m)	<i>Chlorophytum comosum</i>
Ciso (m)	<i>Cissus antarctica</i>
Dalia (m)	<i>Dahlia coccinea</i>
Diefembaquia (m)	<i>Dieffembachia amoena</i>
Ficus rastrero (m)	<i>Ficus pumila</i>
Gardenia (s)	<i>Gardenia jasminoides</i> L.
Geranio (s)	<i>Pelargonium</i> sp.
Hortensia (m)	<i>Hydrangea macrophylla</i>
Mercadela (s)	<i>Calendula officinalis</i>
Noche buena (m)	<i>Euphorbia pulcherrima</i>
Nube (s)	<i>Gipsofila paniculata</i>
Ociso (m)	<i>Rhoicissus rhomboidea</i>
Pensamiento (s)	<i>Viola</i> sp.
Perritos (s)	<i>Antirrhium</i> sp.
Pincel (s)	<i>Centaurea cyanus</i>
Rosa (s)	<i>Rosa</i> spp.
Tulipán (m)	<i>Hibiscus</i> sp.
Violeta (m)	<i>Viola adorata</i> L.
Violeta africana (m)	<i>Saintpaulia ionantha</i>

TABLA 10 ESPECIES FRUTALES QUE SE CULTIVAN EN
SAN GREGORIO ATLAPULCO (Ramos, 1990).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Durazno	<i>Prunus persica</i> Stokes
Guayabo	<i>Psidium</i> sp.
Higo	<i>Ficus carica</i>
Manzana	<i>Prunus malus</i>
Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i> Mill
Natanjo	<i>Citrus sinensis</i> L.
Pera	<i>Prunus</i> sp.
Tejocote	<i>Crataegus pubescens</i>
Zarzamora	<i>Rubus fruticosus</i> L.

En San Gregorio, la explotación comercial de plantas ornamentales y frutales representa aproximadamente el 30 % de los cultivos establecidos, según encuestas realizadas a los chinamperos por Becerril y Díaz, (*op. cit.*).

3.7 FAUNA

En la Cuenca de México, la cacería y la pesca fue una actividad económica muy importante hasta principios del presente siglo. Estas actividades, junto con la agricultura y la recolección de plantas acuáticas, han sido mermadas por el deterioro ecológico en la zona, ocasionado éste a su vez, por los efectos directos e indirectos del crecimiento urbano e industrial (Rojas, 1985; cita en Valdez, 1995).

La diversidad y cantidad de especies animales existentes en la cuenca de México han estado condicionadas al avance urbano, que día con día, disminuye los cuerpos de agua y las áreas arboladas y de cultivo que sirven de fuente alimenticia y de refugio natural para la fauna silvestre (Becerril y Díaz, 1993)

Las aves y los peces fueron la fauna característica y más abundante de los lagos y zonas pantanosas de la Cuenca de México, sin embargo, los mamíferos también fueron de importancia, especialmente en la sierra de Xochitepec y en la zona media boreal de la sierra del Ajusco comprendida entre el Teuhtli y el Tzompole, al norte del Cuautzin (Starker y Leopold, 1982; citado en Valdez, *op. cit.*).

Entre la fauna que se considera aún existente en la zona lacustre, según visitas al campo y encuestas a chinamperos realizadas por Becerril y Díaz (1993), así como por estudios realizados por la UAM (1978) y DDF (1985) (citas en Ramos, 1990), Starker y Leopold (1982) y Rojas (1985) (citas en Valdez, *op. cit.*), están

Peces: como especies nativas se encuentran las pertenecientes a las familias: Atherinidae (pez blanco y charales), Cyprinidae (juiles y pez negruzco) y Goodeidae (pez amarillo y tirito), como especies introducidas están la lobina negra (*Micropterus salmoides*), la carpa común (*Cyprinus spp*) y la carpa dorada (*Cavassius auratus*). La lobina y la carpa común han sustituido casi por completo a la ictiofauna nativa, y son casi las únicas que se pescan aún en pequeñísima escala.

Anfibios: salamandras, ajolotes, ranas y sapos.

Reptiles: lagartija de collar (*Sceloporus torquatus*), lagartija de barda (*Sceloporus grammicus*), camaleón (*Phrynosoma orbiculare*), víbora cincuate (*Pituophis deppei*), culebra de agua (*Thamnophis eques*), víbora de cascabel, chirrioneras, etc.

Aves: Scolopacidae (agachonas, zancudas), Rallidae (gallaretas, gallinas de agua), Charadriidae (chichicuilotos), Anatidae (patos reales), Gruidae (garzas blancas, grullas), tordos, gorriónes, pinzones, alondras, tångaras rojas, mosquiteros, pájaros carpinteros, tecolotes, lechuzas, verduguillos, hurracas, primavera, etc.

Mamíferos: zorrillos (*Spirogale gracilis*, *Memphitis macroura*), comadrejas (*Mustela frenata*), tejón (*Nasua narica*), cacomixtles (*Bassariscus astutus*); ardillas, tlacoaches, tuzas y ratas.

Entre los **invertebrados**, se encuentran representantes de diferentes grupos, como: planarias, anélidos, moluscos, crustáceos, odonatos, hemípteros, coleópteros, dípteros, miriápodos, arácnidos, opiliones, áfidos, etc

4. METODOLOGÍA

4.1 DELIMITACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO:

Al inicio del presente trabajo se tenía contemplado trabajar toda el área lacustre concerniente a las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac, tanto con fotografías aéreas, como con imágenes de satélite, pero desgraciadamente no pudieron superarse las limitaciones de presupuesto para la compra de ellas, la falta de equipo de cómputo y software para el procesamiento de las imágenes y el tiempo para poder realizar todo lo planeado, por consiguiente, se decidió restringir el área de estudio a la zona chinampera de San Gregorio Atlapulco, con el fin de trabajar una superficie menor, pero con mayor detalle y en 2 fechas distintas

Es importante aclarar lo anterior, pues al reducirse el área de estudio, las *calicatas*¹ 114-Tláhuac y 115-Tecaltitla, Xochimilco, que se emplearon para los análisis de laboratorio (realizados por el autor de este trabajo) y para un análisis comparativo de la problemática sódica-salina de sitios distintos dentro del área, quedaron fuera de la misma (Figura 9).

También se aclara que para dar apoyo al trabajo fotointerpretativo de las unidades edafológicas y al de evaluación de las clases agrológicas en el área chinampera de San Gregorio, se emplearon los resultados de análisis de suelos reportados por Sánchez (1989), Ramos (1990) y Vallejo (1992).

4.2 FOTOINTERPRETACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE LA ZONA

Se utilizaron fotografías en blanco y negro, escala aproximada de 1: 15 000, de vuelos realizados en 1987 (3 fotos del 14 ene/87) y en 1991 (3 fotos del 16-19 ene/91), correspondientes a San Gregorio Atlapulco y la zona chinampera relacionada.

4.2.1 ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN

Para cada vuelo, se trabajó sobre acetatos la fotoidentificación de rasgos fundamentales como áreas urbanas, canales, chinampas, etc., que estuviesen más estrechamente involucradas con el área de estudio y los sitios de muestreo utilizados como apoyo para los mapas edafológico y de capacidad de uso de la tierra, por lo cual, no se trabajó con todas las fotografías de cada vuelo

El orden de la identificación de los rasgos más relevantes en las fotografías, se siguió según lo recomendado por Veruette (1967). Los criterios que se emplearon se mencionan a continuación, según cada aspecto trabajado:

1) Caminos:

- a) Pavimentados: su definición fue muy clara en las fotos, su tono oscuro contrastaba con el de los suelos, las curvas son amplias.
- b) Terracerías: su tonalidad es brillante con respecto al suelo; son lo suficientemente anchos para permitir el paso de vehículos, las curvas en su mayoría son pronunciadas. En las zonas de

¹ *Calicata*.- término usado en este trabajo en lugar del de *perfil*, por razón de que éste último se ha usado para describir una unidad de suelo cuya génesis ha sido natural, mientras que los suelos de Xochimilco y Tláhuac han tenido una génesis influenciada por la mano del hombre. El concepto de *calicata* se usa en MOPT (1991) simplemente para hacer mención del *pozo* para muestreo y descripción del perfil del suelo.

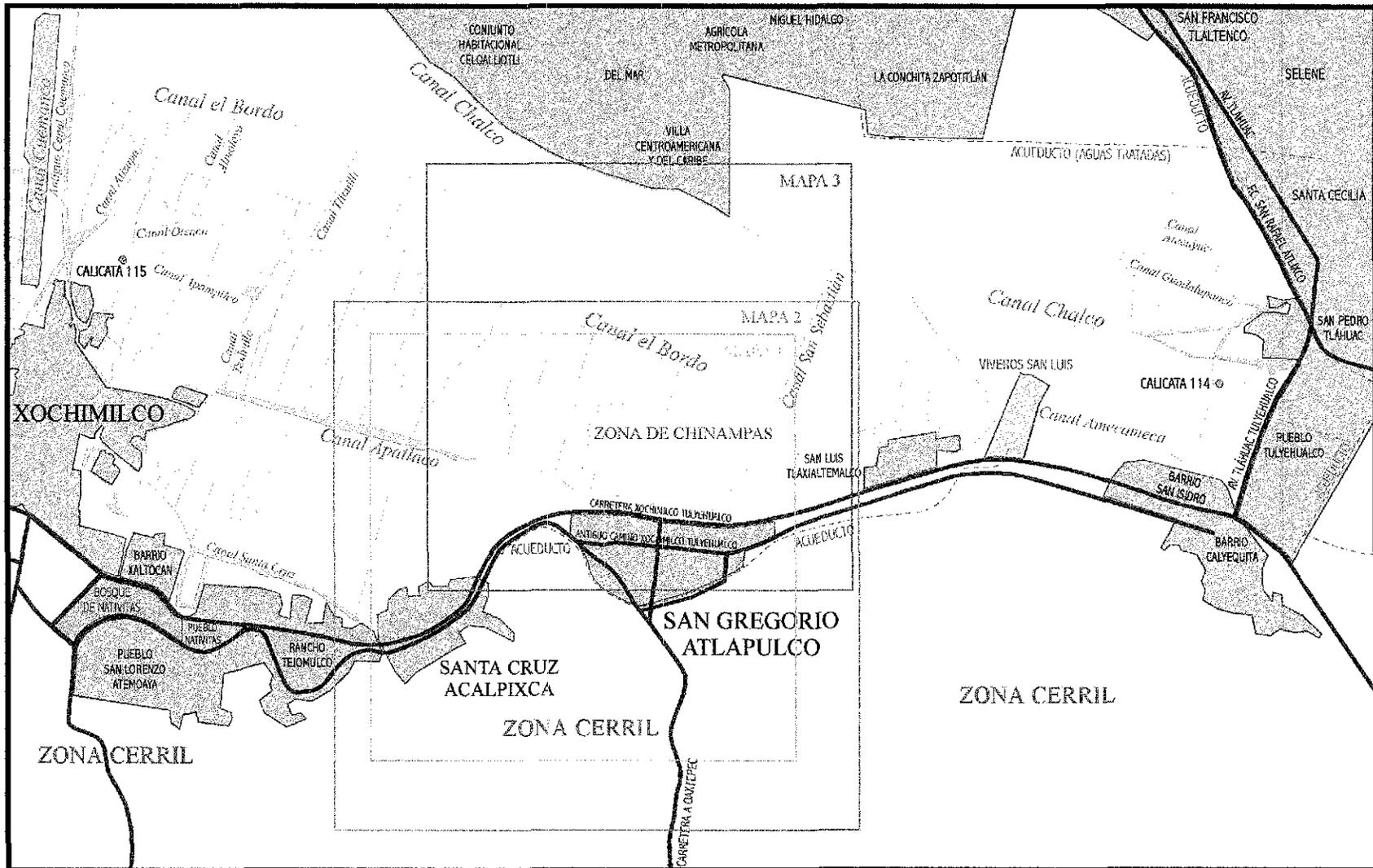
cerros se distinguieron de las brechas por no mostrar huellas de erosión que cortasen a los caminos, ya que las brechas no presentan obras de drenaje que eviten la erosión del camino.

- c) **Veredas:** éstas fueron más difíciles de reconocer, ya que son angostas, y aunque son de tono claro, se confunden cuando atraviesan áreas de cultivo o sin vegetación; se perdía también su seguimiento cuando pasaban bajo árboles con copas densas, por lo cual, en estos casos, para encontrar la continuidad entre veredas, se pensó en rutas lógicas, cortas y accesibles.
- 2) **Canales:** en algunos casos no hubo problemas para reconocerlos por el tono oscuro del agua, pero en otros, a causa de la presencia de vegetación acuática sí, apoyándose en estos casos, de la mayor densidad y alineamiento de árboles y plantas que sugerían la mayor disponibilidad de agua y el trazo de los canales.
- 3) **Casas aisladas:** en la mayoría de los casos se reconocieron por su brillantez (techo de cemento o láminas de asbesto) y su forma, pero en otros, cuando los techos eran de láminas de cartón con chapopote, y las casas eran muy pequeñas y a veces ocultas por árboles, hubo necesidad de usar como apoyo los caminos y las sombras de los cuerpos; solo se marcaron las casas, pues como construcciones también había bardas.
- 4) **Áreas totalmente urbanizadas:**
- a) **En los cerros:** el problema aquí fue más bien el reconocer las áreas no urbanizadas dentro de lo predominantemente urbanizado; en este caso se recurrió a los tonos más oscuros del suelo y la vegetación.
- b) **En suelos originalmente de chinampa:** se hizo lo mismo que en el caso anterior, siendo las áreas totalmente urbanizadas las comprendidas dentro de terrenos casi planos.
- 5) **Áreas con uso agrícola:**
- a) **En los cerros:** para definirlos se recurrió a la observación de los surcos en la tierra (en algunos casos), al tamaño y la regularidad en forma de los terrenos, a su tonalidad y a las pendientes.
- b) **En los suelos de chinampa:** se resaltaron en verde cuando las áreas eran muy propensas a urbanizarse, mientras que en blanco se definieron con uso agrícola sin tanto riesgo a urbanizarse.
- 6) **Áreas potenciales a urbanizarse:** otros criterios para distinguirlas de las áreas agrícolas fueron su mayor brillantez, menor área, irregulares en forma, cruzadas por múltiples caminos, su cercanía a caminos, casas o áreas totalmente urbanizadas y las menores pendientes del terreno.
- 7) **Bosque:**
- a) **En áreas naturales:** se reconocieron fácilmente por los tonos oscuros y la textura “rugosa” que dan los árboles en la fotografía, se encuentran en las partes altas de los cerros y en pendientes pronunciadas.
- b) **En áreas potenciales a urbanizarse:** en algunos casos fue muy claro observar casas dentro del bosque; por lo demás, se usaron los mismos criterios que en el de las áreas potenciales a urbanizarse del punto anterior.
- 8) **Áreas con vegetación natural en cerros:** las áreas de la parte sur en los cerros, corresponden a áreas con vegetación natural predominantemente herbácea, y en donde no hay un uso definido del suelo.

99° 06' 24" W
19° 17' 30" N

99° 00' 00" W
19° 17' 30" N

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



99° 06' 24" W
19° 13' 43" N

99° 00' 00" W
19° 13' 43" N

Escala aproximada: 1: 50,000

FIGURA 9. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO DE LAS CALICATAS 114 Y 115 [Cartografía tomada de CETENAL (1976a, 1976b) y GUÍA ROJI(1994)].

4.2.2 ELABORACIÓN DEL MAPA EDAFOLÓGICO

Se realizó la fotointerpretación preliminar del área, tratando de reconocer los paisajes o geoformas existentes, mediante el uso de un estereoscopio de bolsillo y los pares estereoscópicos de las aerofotos de San Gregorio, conforme a lo recomendado por Veruette (1967) y CNA (1989).

Las unidades edafológicas se delinearon en las fotografías aéreas siguiendo los criterios establecidos por Nieves y Torcal (1983) y MOPT (1991), tales como material original, clima, condiciones de humedad y drenaje, procesos de erosión-sedimentación, topografía, vegetación, usos del suelo, tonalidad del terreno en las fotografías, rasgos o factores humanos como poblados, canales, caminos, etc., por lo que se consideró la información recopilada en los apartados 3.1-3.6, así como la información de uso del suelo y vegetación generada mediante el apartado anterior.

Se realizaron cálculos del balance hídrico para el sitio de la *Estación Meteorológica Xochimilco*, según el apartado 4.6, con el propósito de obtener información climatológica local y complementaria a la proporcionada por García (1988), para hacer una interpretación más comprensible del efecto del clima sobre la génesis de los suelos de la zona y el problema de la salinidad y sodicidad de los mismos.

Como se mencionó previamente, los resultados reportados por Sánchez (1989), Ramos (1990) y Vallejo (1992), equivalentes a 24 calicatas o sitios de muestreo, se emplearon como apoyo para el reconocimiento y asignación de las unidades taxonómicas de suelos presentes, utilizando como referencia al sistema FAO-UNESCO (1986).

4.2.3 ELABORACIÓN DEL MAPA DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

Una vez establecida la clase agrológica de cada sitio empleado como apoyo para el reconocimiento terrestre y evaluado conforme al apartado 4.7, además de haberse obtenido el mapa edafológico del punto anterior, se procedió a designar a las unidades terrestres delimitadas previamente sobre las fotografías aéreas, su correspondiente categoría de capacidad de uso de la tierra.

Para este mapa también se consideraron las pendientes del terreno proporcionadas por Saulés (1986) y las calculadas mediante la carta topográfica del lugar (CETENAL, 1976). En este caso, los cálculos del balance hídrico sirvieron para reconocer la aptitud de los suelos, sus riesgos de erosión y las posibles medidas que pueden adoptarse para su mejor aprovechamiento y conservación.

4.3 TRABAJO DE CAMPO

La obtención de muestras de suelo de las calicatas 114 y 115, así como en otros casos en los que se colaboró, se realizó en general, en chinampas de propietarios que concedieron su permiso, o con los cuales se habían establecido acuerdos de estudio de sus parcelas, las cuales a su vez, estaban próximas a caminos o canales, razón por la cual, al observar la localización de los sitios de muestreo (empleados como apoyo) en el Mapa 3, se observa que la distribución de ellos no es regular, existiendo áreas considerables sin un sólo muestreo.

En áreas no cultivadas dentro de las parcelas el muestreo fue al azar. La profundidad de muestreo en la mayor parte de los casos fue hasta alcanzar el nivel freático o hasta los 2 m, colectando alrededor de 1 kg de suelo a cada 10 cm.

4.4 ANÁLISIS EN LABORATORIO DE MUESTRAS DE SUELO

Los análisis se hicieron con base en el manual de métodos publicado por Domínguez y Aguilera (1990). Los parámetros determinados para las muestras de suelo de las calicatas 114 y 115, fueron:

4.4.1 ANÁLISIS BÁSICOS

- a) **Color**: comparación del suelo en seco y en húmedo con las tablas Munsell (Munsell Soil Charts, 1975).
- b) **Densidad Aparente¹ (DA)**: por el método de la probeta (Baver, 1956); se hicieron 5 repeticiones y se reportó el valor promedio².
- c) **Densidad Real (DR)** por el método del picnómetro (Baver, 1956).
- d) **Porosidad (P)**: por cálculo a partir de los valores de las densidades aparente y real:
$$P(\%) = 100(1-DA/DR)$$
- e) **Textura**: por el método del hidrómetro de Bouyoucos (1961); se hicieron de 3 a 5 repeticiones, hasta que las lecturas con el hidrómetro se estabilizaron.
- f) **Reacción del suelo (pH)** mediante un potenciómetro Corning, Mod. 7, usando relaciones 1:5 y 1:10 de suelo-agua destilada y suelo-KCl (solución de KCl 1N, a pH = 7).
- g) **Materia Orgánica (MO)**: por combustión húmeda según el método de Walkley y Black, modificado por Walkley (1947); se hicieron 2 o hasta 3 repeticiones
- h) **Cationes Intercambiables (Ca Int., Mg Int., Na Int., K Int.)**: extracción con una solución de acetato de amonio (1N, pH = 7). El Ca^{++} y el Mg^{++} se determinaron por titulación con versenato (EDTA 0.02 N), mientras que el Na^+ y el K^+ por espectrofluorimetría (Jackson, 1982). Los valores de los cationes se sumaron para obtener la suma de cationes intercambiables (SCI), la cual será justificada y discutida más adelante (ver apartado 4.5.2).
- i) **Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT)**: por el método de saturación-desplazamiento con centrifugaciones (Jackson, 1982). saturación de los sitios de intercambio de los coloides del suelo con $CaCl_2$ (1N, pH = 7); lavados del suelo con alcohol etílico al 96 %, lavados del suelo con NaCl (1N, pH = 7) para sustituir al Ca por el Na. Titulación del Ca con versenato (EDTA 0.02 N) y negro de eriocromo T.
- j) **Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)**: Relación Na Int-CICT según la ecuación
$$PSI = 100(Na\ Int./CICT)$$

4.4.2 ANÁLISIS CON LOS EXTRACTOS DE LAS PASTAS DE SATURACIÓN PARA EVALUAR LA SALINIDAD

- k) **Pasta de saturación**: se saturaron 250 g de suelo con agua destilada hasta su *limite superior de plasticidad³* y se extrajo la solución del suelo mediante filtración y vacío. Como datos relevantes

¹ Los parámetros mencionados se denotarán en adelante con las respectivas siglas o abreviaturas aquí empleadas, es decir: DA, DR, P, pH, MO, Ca Int., Mg Int., Na Int., K Int., SCI, CICT, PSI, VA, VR, VE, CE, etc.

² A excepción de los casos donde se especifique, se realizó una determinación por variable; cuando se realizaron varias repeticiones, siempre se reportó el valor promedio

se obtuvieron: volumen agregado (VA), volumen de extracto (VE) y volumen retenido (VR) de agua por el suelo, siendo este último, la diferencia entre los 2 primeros. El volumen de extracto se consideró importante para transformar los resultados de los cationes y aniones solubles a las mismas unidades que los cationes intercambiables (meq/100 g \leftrightarrow cmol(+) kg^{-1}), para poder compararlos apropiadamente.

- l) **pH de los extractos (pH Ext.):** utilizando un potenciómetro (Corning, Modelo 7).
- m) **Conductividad eléctrica (CE) en los extractos:** mediante un conductímetro PW 95 05 marca Philips (equivalencia de unidades: mmhos/cm \leftrightarrow dSm $^{-1}$).
- n) **Cationes solubles (Ca Sol., Mg Sol., Na Sol., K Sol.):** Ca $^{++}$ y Mg $^{++}$ por titulación con versenato (EDTA 0.02 N); Na $^{+}$ y K $^{+}$ por espectrofluorimetría (Jackson, 1982). Los valores se reportaron en mmol(+) L^{-1} \leftrightarrow meq/l y cmol(+) kg^{-1} \leftrightarrow meq/100 g de suelo. Adicionalmente, se obtuvo la suma de cationes solubles (SCS) por muestra.
- o) **Aniones solubles:** **cloruros (Cl $^{-}$):** por el método de Mohr (1949); **carbonatos (CO $_3^{-}$) y bicarbonatos (HCO $_3^{-}$):** por titulación con HCl 0.1 N, usando fenolftaleína para carbonatos y anaranjado de metilo para bicarbonatos; **sulfatos (SO $_4^{-}$):** por gravimetría en forma de sulfato de bario (Jackson, 1982) Los resultados también se reportaron en meq./l y meq/100 g De manera análoga, se calculó la suma de aniones solubles (SAS).

4.5 PROCESAMIENTO ESPECIAL CON LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

4.5.1 APROXIMACIÓN DE LOS VALORES DE DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD

La aproximación o corrección se realizó matemáticamente con el apoyo de los resultados de DA obtenidos por Vargas-Gómez (Tesis de Maestría en redacción), mediante el método del terrón con parafina (Blake and Hartge, 1986, ver justificación en la discusión). Para esto, se utilizaron los valores promedio de DA y MO de 23 muestras de suelo con características similares en cuanto a textura

Con los resultados de DA y MO de la calicata 114, se realizó una regresión lineal (DA en función de MO), obteniéndose una ecuación del tipo:

$$Y = mX + b \Leftrightarrow DA = mMO + b$$

donde b es la ordenada al origen (DA cuando MO = 0 %) y m es la pendiente o relación de proporcionalidad entre las variables involucradas. El promedio de MO reportado por Vargas-Gómez (*op. cit.*) se usó en la ecuación de regresión para estimar un correspondiente valor de DA; este último se restó al valor DA promedio usado como referencia, obteniéndose un ΔDA , que se agregó a cada valor original de DA; finalmente, con los valores corregidos de DA y los originales de DR, se recalcularon los de porosidad.

Los resultados sin corregir o aproximar se utilizaron para los análisis de correlación múltiple y de componentes principales, para no introducir sesgos en dichos análisis por juicios preconcebidos. Los datos corregidos se emplearon para interpretarlos y discutirlos con los demás resultados

³ Conforme a los límites de Atterberg, el *límite superior de plasticidad* está dado por la cantidad de agua que contiene un suelo en el momento en que comienza a comportarse como un fluido y deja de comportarse como una masa sólida (Gavande, 1991).

4.5.2 CORRECCIÓN DE LOS VALORES DE LOS CATIONES INTERCABIABLES Y PSI

Como en todos los casos sucedió que la $SCI > CICT$, en consecuencia, hubo la necesidad de corregir los valores de los cationes intercambiables, multiplicando la proporción relativa de cada ión (catión Int./SCI) por la CICT, para que al sumar los valores corregidos correspondieran con esta última. A partir de los valores corregidos de Na^+ intercambiable, se calcularon los correspondientes PSI c (corregidos). Del mismo modo que en el punto anterior, los valores sin corregir se emplearon para los análisis de correlación múltiple y de componentes principales

4.5.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE Y COMPONENTES PRINCIPALES

Los análisis de correlación múltiple (*ACM*) y componentes principales (*ACP*) se emplearon para satisfacer uno de los objetivos de este trabajo el reconocer asociaciones entre variables involucradas con la salinidad y sodicidad del suelo, y el correspondiente predominio de unas sobre otras, para posteriormente tratar de aplicar este conocimiento en la rehabilitación del suelo. Para alcanzar lo anterior, fue necesario hacer lo siguiente:

Definición de Variables:

Las variables empleadas fueron la mayoría de las reportadas en la Tabla 11 (calicata 114), además de otras que se agregaron, completando un total de 37, las cuales fueron: DA, DR, P, MO, Arena, Limo, Arcilla, arena + limo (Are+Li), limo + arcilla (Li+Arc), arcilla + MO (Arc+MO), limo + MO (Li+MO), vol. agregado (VA), vol. del extracto (VE), vol. retenido (VR), CICT, suma de cationes intercambiables (SCI), SCI-CICT, pH con agua 1:5 y 1:10, pH con KCl 1:5 y 1:10, pH Extracto, conductividad eléctrica (CE), cationes intercambiables (4) y solubles (4), suma de cationes solubles (SCS2), aniones solubles (4) y suma de aniones solubles (SAS2).

Un criterio de apoyo para elegir las variables a emplearse fue el gráfico; fue por esto, que en las Figuras 10-16b se trató de representar variables que se sabe, están relacionadas, lo que ayudó además, a la interpretación de los resultados. Entre las variables agregadas, por ejemplo Li+Are, fue por haberse notado una “correlación visual” entre la curva resultante de la suma de estas fracciones y las curvas de CICT y cationes intercambiables. Otras variables fueron agregadas por simple lógica (ejem. Arc+MO), o con el fin de descubrir interrelaciones que pudiesen ser importantes con otras variables (ejem Li+Arc).

Procesamiento y Selección de Variables:

Las 37 variables definidas se trabajaron en grupos de 15, fundamentalmente por la limitación del número máximo de variables que permite usar el paquete estadístico Statgraphics (Ver. 5.11), el cual se empleó para los análisis de *CM* y *CP* con los resultados de la calicata 114.

Los grupos de variables se formaron de manera que entre ellas hubiesen relaciones lógicas e interpretables y de modo que los grupos se complementaran unos con otros respecto a la información que se generaría en cada caso. Con cada grupo de variables se hicieron matrices de correlación múltiple (Tablas 13-16), a las cuales se les agregó el número de correlaciones significativas positivas, negativas y totales por cada variable, con el objeto de discernir las variables con mayor y menor peso, así como las asociaciones entre ellas. Estos análisis de *CM* sirvieron como una primera ayuda para la selección-eliminación de variables, y para comprender los posteriores

análisis de *CP*. Como se verá, éstos tienen mayor potencialidad que los de *CM*, por lo que a excepción del primer grupo de variables, solo fue necesario interpretar los *ACP*. Conjuntando ambos análisis se desarrollaron los siguientes puntos:

- 1) Reconocer las variables con un significado nulo o intrascendente para eliminarlas de posteriores análisis;
- 2) Seleccionar las variables con más peso o significado fenomenológico dentro de cada grupo, para formar un grupo final de las 15 más importantes o que complementasen los análisis previos, y repetir el *ACP* con ellas;
- 3) Integrar los *ACP* y organizar las variables en función de las asociaciones y preponderancias observadas;
- 4) Interpretación de los resultados.

Los resultados proporcionados por Statgraphics fueron importados y procesados mediante Excel (Ver. 5.0) por cuestiones de presentación, especialmente de las gráficas.

4.6 CÁLCULOS DEL BALANCE HÍDRICO PARA LA ZONA DE ESTUDIO

El modelo aplicado es el propuesto por Thornthwaite (1948) y Thornthwaite y Mather (1955), cuya importancia radica en lo práctico y en su sencillez, ya que la evapotranspiración potencial se calcula a partir de las temperaturas promedio mensuales

La importancia de la evapotranspiración es evidente por su considerable influencia sobre el crecimiento y distribución de las plantas. La estimación de la evapotranspiración constituye la base del cálculo de las necesidades hídricas, de gran utilidad, tanto en las fases de planificación de un proyecto agrícola, como en el control del suministro diario de agua a una zona de cultivo. La medida o el cálculo de las necesidades de agua por las plantas, determinan en gran parte la elección de cultivos que pueden crecer satisfactoriamente en áreas de escasa precipitación (MOPT, 1991).

Por otra parte, el conocimiento del déficit de agua probable es muy útil para la planificación del riego y para la predicción del rendimiento de cosechas en terrenos sin riego. Se pueden utilizar también mapas estadísticos del déficit de agua para indicar probabilidades de sequía, basadas en la cantidad de agua retenida por el suelo en vez de la cantidad total de lluvia caída.

A partir de los balances hídricos es inmediata la deducción de ciertos índices (de humedad, de aridez), basados en las diferencias entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, con los que se establecen criterios de clasificación climática de diferentes regiones (Thornthwaite, 1948).

Los conceptos básicos para el modelo son los siguientes (MOPT, 1991):

Evaporación: en climatología, se refiere al agua transferida a la atmósfera a partir de las superficies libres de agua, hielo y nieve. La evaporación desde el suelo depende de su composición, textura, estructura, color, etc., así como de factores climáticos como radiación solar, humedad del aire, velocidad del viento, etc.

Transpiración: Transferencia de vapor de agua a la atmósfera a través de los estomas de las plantas

Evapotranspiración: conjunto de pérdidas de agua en forma de vapor, desde la vegetación y la superficie del suelo hacia la atmósfera. Las unidades en que se expresan tanto la evaporación como la evapotranspiración suelen ser: m^3/ha , mm o cm de altura de agua ó litros/ m^2 .

Evapotranspiración potencial (EP) Cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo y de superficie libre de líquido. Agua devuelta a la atmósfera en forma de vapor por un suelo que tenga la superficie completamente cubierta de vegetación, en el supuesto de no existir limitación en el suministro de agua (por lluvia o riego) para obtener un crecimiento vegetal óptimo.

Evapotranspiración real (ER): evaporación de un suelo cubierto por vegetación, en el que el suministro de agua es restringido. La ER es evidentemente menor (o en el caso límite igual) que la EP. La ER oscila con un máximo en verano y un mínimo en invierno, aumentando al disminuir la latitud y la altitud.

Reserva de agua en el suelo: agua disponible para las plantas, por sobre el punto de marchitez permanente y hasta la capacidad de campo del suelo, después de la cual, es agua que escurre o percola (Exceso de agua). Considerando el promedio de la capacidad de campo para los distintos suelos, el límite adoptado para la reserva de agua del suelo es de 10 cm (EP + 10).

Punto de marchitez permanente (PMP): porcentaje de humedad en el suelo cuando las plantas se marchitan permanentemente, corresponde aproximadamente a la cantidad de agua retenida por un suelo sometido a una diferencia de presión de 15 bars a través de una membrana permeable al agua (Gavande, 1991).

Capacidad de campo: cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se le deja drenar libremente, corresponde aproximadamente al porcentaje de humedad retenida por un suelo cuando se le somete a una presión de 1/3 bar (Gavande, *op. cit.*).

Déficit de agua en el suelo: carencia de agua disponible para las plantas por ser menor o igual al PMP.

Método para el cálculo de las variables involucradas con el balance hídrico:

En la ficha hídrica presentada en los resultados, se incluyen los valores mensuales reportados para la estación de Xochimilco de temperatura y precipitación (García, 1988), y los calculados de *EP*, *ER*, *Reserva de agua* en el suelo y su *variación*, así como el *déficit* y *exceso* de agua en el mismo

Cálculo de la EP:

$$EP1 = 1.6 \left(\frac{10T_i}{I} \right)^a$$

Donde: EP1 = Evapotranspiración Potencial no corregida (cm/mes).
 T_i = Temperatura promedio del mes "i" (° C).
 I = Índice de calor anual.

$$I = \sum_{i=1}^{12} (T_i)^{1.5}$$

$$a = 0.492 + (1.79E-2)I - (7.71E-5)I^2 + (6.75E-7)I^3$$

En el presente caso: I = 68.81 y a = 1.58

Los valores así calculados para EP1 corresponden a un mes estándar de 360 horas de luz. Como la duración de la insolación depende de la latitud y la época del año, los valores de EP1 se multiplican por el *Factor de Corrección de la evapotranspiración estándar*, establecido por Dunne y Leopold (1978), para una latitud de 20° N (lo más cercano a 19° 16'), resultando los valores de EP2.

El cálculo para las demás variables se describe a continuación:

Al comenzar los cálculos en enero, se adopta Reserva(i - 1) = 0, pero si en diciembre el valor de Reserva(i) > 0, entonces con este último valor se repiten los cálculos desde enero, hasta que se obtienen los mismos resultados que en la primera vez.

Definición de Variables:

i	=	indicador para el número de mes.
$EP2(i)$	=	Evapotranspiración Potencial corregida en cm.
$ER(i)$	=	Evapotranspiración Real en cm.
$P(i)$	=	Precipitación mensual en cm.
$Var.Res(i)$	=	Variación de la reserva de agua en el suelo en cm.
$Reserva(i)$	=	Cantidad de agua almacenada en el suelo en cm.
$Reserva(i-1)$	=	Cantidad de agua almacenada en el suelo en cm, en el mes anterior a i .
$Déficit A(i)$	=	Déficit de agua en el suelo en cm.
$Exceso A(i)$	=	Exceso de agua en el suelo en cm.

Procedimiento:

I Si $EP2(i) \geq P(i)$ entonces:

- 1 Exceso $A(i) = 0$;
- 2 Si $Reserva(i-1) = 0$ entonces:
 - 2.1 $ER(i) = P(i)$;
 - 2.2 $Var Res(i) = 0$;
 - 2.3 $Reserva(i) = 0$;
 - 2.4 $Déficit A(i) = EP2(i) - P(i)$;
- 3 Si no {cuando $Reserva(i-1) > 0$ } entonces:
 - 3.1 Si $Reserva(i-1) + P(i) \geq EP2(i)$ entonces:
 - 3.1.1 $ER(i) = EP2(i)$;
 - 3.1.2 $Var.Res(i) = P(i) - EP2(i)$; {usualmente tiene valor negativo}
 - 3.1.3 $Reserva(i) = Reserva(i-1) + Var.Res(i)$;
 - 3.1.4 $Déficit A(i) = 0$;
 - 3.2 Si no {cuando $Reserva(i-1) + P(i) < EP2(i)$ } entonces:
 - 3.2.1 $ER(i) = Reserva(i-1) + P(i)$;
 - 3.2.2 $Var Res(i) = -Reserva(i-1)$;
 - 3.2.3 $Reserva(i) = Reserva(i-1) + Var.Res(i) = 0$;
 - 3.2.4 $Déficit A(i) = EP2(i) - \{P(i) + Reserva(i-1)\}$;

II Si $P(i) > EP2(i)$ entonces:

- 1 $ER(i) = EP2(i)$;
- 2 $Déficit A(i) = 0$;
- 3 Si $Reserva(i-1) = 0$ entonces:
 - 3.1 Si $P(i) - EP2(i) \leq 10$ entonces:
 - 3.1.1 $Reserva(i) = Var.Res(i) = P(i) - EP2(i)$;
 - 3.1.2 $Exceso A(i) = 0$;
 - 3.2 Si no {cuando $P(i) - EP2(i) > 10$ } entonces:
 - 3.2.1 $Reserva(i) = Var.Res(i) = 10$;
 - 3.2.2 $Exceso A(i) = P(i) - \{EP2(i) + 10\}$;
- 4 Si no {cuando $0 < Reserva(i-1) < 10$ } entonces:
 - 4.1 Si $Reserva(i-1) + P(i) - EP2(i) \geq 10$ entonces:
 - 4.1.1 $Var.Res(i) = 10 - Reserva(i-1)$;
 - 4.1.2 $Reserva(i) = 10$;
 - 4.1.3 $Exceso A(i) = Reserva(i-1) + P(i) - \{EP2(i) + 10\}$;
 - 4.2 Si no {cuando $Reserva(i-1) + P(i) - EP2(i) < 10$ } entonces:
 - 4.2.1 $Var.Res(i) = P(i) - EP2(i)$;
 - 4.2.2 $Reserva(i) = Reserva(i-1) + Var.Res(i)$;
 - 4.2.3 $Exceso A(i) = 0$;
- 5 Si $Reserva(i-1) = 10$ entonces:
 - 5.1 $Var.Res(i) = 0$;
 - 5.2 $Reserva(i) = 10$;
 - 5.3 $Exceso A(i) = P(i) - EP2(i)$;

En el diagrama de balance hídrico de la Figura 28, los valores de $P(i)$, $EP2(i)$ y $EP2(i)+10$ se grafican tal cual; en el presente caso, los valores de $ER(i)$ no necesitaron graficarse; los del Déficit $A(i)$ quedan ya comprendidos en los segmentos o áreas entre las curvas de $EP2(i)$ y $P(i)$, cuando $EP2(i) > P(i) + Reserva(i-1)$. Los valores de la Reserva de agua se grafican a partir de los valores de $EP2(i)$, mientras que los del exceso de agua a partir de los valores de $EP2(i)+10$, pero produciendo una curva continua entre los valores de la reserva y el exceso de agua.

4.7 PROCESAMIENTO ESPECIAL Y EVALUACIÓN AGROLÓGICA DE ANÁLISIS DE SUELOS REPORTADOS PARA LA ZONA

A los resultados de los análisis de suelos de las tesis consultadas, hubo necesidad de realizarles un procesamiento especial, previo a la clasificación de cada sitio conforme al Sistema de Capacidad de Uso de la Tierra.

Dado que los resultados consultados se reportaron conforme al muestreo a cada 10 cm de profundidad por sitio, entonces, lo primero a realizar fue separar y agrupar los resultados a manera de representar nuevas capas de mayor espesor, que tuviesen características o un comportamiento físico-químico similar y también con el fin de sintetizar la información a emplear.

Los criterios fundamentales para dicha separación fueron:

- 1) Diferencias acentuadas de textura y materia orgánica entre capas de 10 cm. Respecto a la primera, se consideró a la denominación textural de cada capa, ya que este concepto tiene un significado específico en relación a las proporciones de arena, limo y arcilla del suelo; respecto a la segunda, se tomó como límite un mínimo del 2 %, esto a criterio personal y porque los contenidos y variaciones de la materia orgánica son usualmente mayores a este valor en los suelos de Xochimilco-Tláhuac.
- 2) Tanto la textura como el % de materia orgánica tuvieron la misma ponderación para la separación-agrupación de las capas.
- 3) Con las nuevas capas se calculó el valor promedio de los siguientes parámetros: textura, densidad aparente, porosidad, materia orgánica, cationes intercambiables y solubles, CICT, conductividad eléctrica (CE), pH de la solución del suelo y del extracto de saturación. Con algunos parámetros se consideraron los 30 cm superficiales: textura del "epipedón", CE y PSI.

Posteriormente, se procedió a corregir y/o completar los valores de algunos parámetros:

- 1) Cationes intercambiables y PSI, según el apartado 4.5.7;
- 2) Completar datos faltantes para ciertas capas, de CE y pH del extracto de saturación, mediante regresiones lineales de estas variables individualmente, con la que tuviesen mayor correlación de las siguientes: cationes intercambiables o solubles, CICT, SCI, SCI-CICT, etc. (ver apartado 4.5.8 y resultados correspondientes).

Efectuado lo anterior, se realizó la evaluación agrológica de cada sitio, con el apoyo de los antecedentes descritos en los apartados 1.2.2.3, 1.2.2.7, la Tabla 4 y otros aspectos metodológicos explicados con mayor detalle en CNA (1989).

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

5.1.1 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA CALICATA 114 A PARTIR DE LAS GRÁFICAS Y LOS ANÁLISIS DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE CORRESPONDIENTES

Según la Tabla 11, las muestras de la calicata 114 son de color gris claro en seco (10YR 6/1, 10YR 6 5/1 y 10YR 7/1) y gris muy oscuro (10YR 3/1) y negro (10YR 2/1) en húmedo

Para los valores obtenidos de **DA** y **P**, hubo la opción de corregirlos matemáticamente¹, pues a pesar de haberse realizado 5 repeticiones para **DA**, el método de la probeta (Baver, 1956) resultó no ser el apropiado, sino que debió emplearse el método del terrón con parafina (Blake y Hartge, 1986), porque éste considera a los agregados, estructura y porosidad del suelo en su estado natural, mientras que el método de la probeta utiliza las muestras tamizadas y por ende, que han perdido su estructura y porosidad originales. Desafortunadamente, el método del terrón no pudo practicarse, porque no quedaron terrones de las muestras originales.

Los resultados obtenidos de **DA** con el método de la probeta son bajos respecto a como debieron ser, lo que ocasionó a su vez, que los datos de porosidad estén sobreestimados. Lo anterior se notó al comparar los valores de estos parámetros con los de textura, cationes intercambiables, cationes solubles, **CE**, **pH**, **PSIc** etc, que no coinciden, dadas las condiciones que se revelan de poca permeabilidad de este suelo. Otra ayuda para este planteamiento fue utilizar pequeños agregados de las muestras, los cuales se colocaron dentro de un recipiente con un poco de agua, y en todos los casos se hundieron inmediatamente, demostrando tener una $DA > 1 \text{ g/cm}^3$.

Al observar los valores de **DA** y **P** (*no corregidos*) junto con los de **DR** y **MO** en la Figura 10, se destacan las siguientes correlaciones: *Positivas*: **DA-DR** y **MO-P**; *Negativas*: **DA** o **DR** contra **MO** o **P**; lo anterior coincide con los coeficientes de correlación **r** reportados en la Tabla 13, en la cual se incluyen en cada caso como primer valor el de **r** y como segundo el **error** α o confianza estadística, es decir, si $\alpha \leq 0.05$, la confianza estadística de **r** es $\geq 95 \%$.

A pesar de que la correlación entre **MO-P** tuvo una confianza del 94.36 % ($\alpha = 0.0564$), y de que la **MO** tuvo menos correlaciones significativas que la **DA** y la **DR**, esto no demerita su importancia en el suelo, ya que las otras variables son dependientes de ésta: a mayor contenido de **MO**, menores serán las densidades aparente y real, y mayor la porosidad, a menor contenido de **MO** sucede lo contrario. Lo que sí se pone en evidencia es que faltó hacer más repeticiones en laboratorio de **MO** para obtener valores más confiables de ésta.

La ecuación de regresión entre **MO** y **DA** quedó como: $DA = -0.0217 MO + 0.7228$; los valores promedio que se usaron como referencia fueron: **MO** = 1.9452 %; **DA** = 1.2404 gr/cm^3 . El valor de **DA** estimado a partir del anterior de **MO** y la ecuación fue: $DA(\text{estimado}) = 0.6807 \text{ gr/cm}^3$. El incremento por agregar a cada determinación original de **DA** resultó: $\Delta DA = 0.5597 \text{ gr/cm}^3$.

¹ Las correcciones matemáticas realizadas sobre los resultados fueron tan solo con el fin de presentar datos más congruentes de **DA**, **P**, **PSI**, etc. que ayudaran a una mejor interpretación de todos los parámetros involucrados; es indiscutible la necesidad de obtener resultados confiables mediante métodos plenamente validados

TABLA 11. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 114 (TLÁHUAC).

PROF. (cm)	COLOR EN SECO	COLOR EN HÚMEDO	D.A. (g/cc)	D.R. (g/cc)	P (%)	MO (%)	D.A. corr. (g/cc)	P corr. (%)	TEXTURA (%)			DENOMINACIÓN TEXTURAL
									ARENA	LIMO	ARCILLA	
0-10	10YR 6/1	10YR 2/1	0.5038	2.1886	76.98	11.33	1.0635	51.41	22.41	59.09	18.50	Mig. limoso
10-20	10YR 6/1	10YR 3/1	0.4924	2.1311	76.89	10.28	1.0521	50.63	20.72	33.44	45.84	Arcilla
20-30	10YR 7/1	10YR 3/1	0.4258	2.0574	79.30	12.89	0.9855	52.10	19.72	33.50	46.78	Arcilla
30-40	10YR 6/1	10YR 3/1	0.5290	2.1725	75.65	11.15	1.0887	49.89	23.72	54.50	21.78	Mig. limoso
40-50	10YR 6/1	10YR 2/1	0.5804	2.2797	74.54	8.71	1.1401	49.99	29.65	30.03	40.32	Arcilla
50-60	10YR 6/1	10YR 2/1	0.5528	2.2510	75.44	8.54	1.1125	50.58	32.35	22.57	45.08	Arcilla
60-70	10YR 7/1	10YR 3/1	0.5166	2.1640	76.13	8.37	1.0763	50.26	34.27	15.95	49.78	Arcilla
70-80	10YR 7/1	10YR 3/1	0.4740	2.1102	77.54	10.42	1.0337	51.01	40.53	12.85	46.62	Arcilla
80-90	10YR 7/1	10YR 3/1	0.4832	2.1246	77.26	10.25	1.0429	50.91	29.93	19.79	50.28	Arcilla
90-100	10YR 7/1	10YR 3/1	0.4726	2.1143	78.74	9.56	1.0323	51.18	43.60	8.46	47.94	Arcilla

TABLA 12. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115 (TECALTITLA, XOCHIMILCO).

PROF. (cm)	COLOR EN SECO	COLOR EN HUMEDO	D.A. (g/cc)	D.R. (g/cc)	P (%)	MO (%)		TEXTURA (%)			DENOMINACIÓN TEXTURAL
								ARENA	LIMO	ARCILLA	
0-10	10YR 5/1	10YR 2/1	0.5752	2.0895	72.47	19.81		17.34	70.07	12.59	Mig. limoso
10-20	10YR 5/1	10YR 2/1	0.5654	2.1020	73.10	19.81		16.66	69.52	13.82	Mig. limoso
20-30	10YR 5/1	10YR 2/1	0.5874	2.1142	72.22	20.15		16.74	69.17	14.09	Mig. limoso
30-40	10YR 5/1	10YR 2/1	0.5348	2.0558	73.99	17.89		18.99	57	24.01	Mig. limoso
40-50	10YR 6/1	10YR 2/1	0.5154	2.1467	75.99	11.1		18.56	68.47	12.97	Mig. limoso
50-60	10YR 6/1	10YR 2/1	0.5244	2.1316	75.40	8.28		17.37	55.07	27.56	M. arcillo-limoso
60-70	10YR 5/1	10YR 2/1	0.5448	2.1072	74.15	7.93		16.95	64.41	18.64	Mig. limoso
70-80	10YR 5/1	10YR 2/1	0.4721	2.1252	77.79	10.61		16.15	71.81	12.04	Mig. limoso
80-90	10YR 5/1	10YR 2/1	0.4962	2.1014	76.39	14.03		19.3	68.76	11.94	Mig. limoso
90-100	10YR 5/1	10YR 2/1	0.4664	2.0448	77.19	11.24		19.31	55.85	24.84	Mig. limoso
100-110	10YR 5/1	10YR 2/1	0.446	1.9979	77.68	12.49		18.63	44.82	36.55	M. arcillo-limoso
110-120	10YR 5/1	10YR 2/1	0.4186	2.0364	79.44	13.96		18.88	59.94	22.18	Mig. limoso
120-130	10YR 5/1	10YR 2/1	0.3896	1.9147	79.65	22.26		19.72	33.85	46.43	Arcilla
130-140	10YR 5/1	10YR 2/1	0.433	1.9864	78.2	22.05		22.95	36.62	40.43	Arcilla
140-150	10YR 5/1	10YR 2/1	0.5752	2.0453	71.88	11.52		26.69	36.69	36.62	Mig. arcilloso
150-160	10YR 5/1	10YR 2/1	0.5636	2.1553	73.85	23.67		30.38	35.89	33.73	Mig. arcilloso
160-170	10YR 5/1	10YR 2/1	0.4248	2.1325	80.08	23.27		22.2	58.8	19	Mig. limoso

TABLA 11. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 114 (TLÁHUAC).

PROF. (cm)	pH 1:5		pH 1:10		Ca Int.	Mg Int.	Na Int.	K Int.	SCI	CICT	SCI-CICT	Ca Int. corr.	Mg Int. corr.	Na Int. corr.	K Int. corr.
	H2O	KCl	H2O	KCl	(cmol(+)/kg = meq/100 g)				(cmol(+)/kg = meq/100 g)			(cmol(+)/kg = meq/100 g)			
0-10	8.78	8.42	8.9	8.5	57.59	79.58	91.90	1.31	230.38	97.16	133.22	24.29	33.56	38.76	0.55
10-20	8.89	8.31	9.01	8.43	23.04	38.74	29.25	0.94	91.97	41.67	50.30	10.44	17.55	13.25	0.43
20-30	8.8	8.26	8.93	8.37	18.32	31.10	24.49	0.76	74.67	36.81	37.86	9.03	15.33	12.07	0.37
30-40	8.5	7.99	8.61	8.1	48.69	26.91	15.06	0.89	91.55	47.19	44.36	25.10	13.87	7.76	0.46
40-50	8.47	7.91	8.58	8.01	40.84	21.99	10.81	0.71	74.35	42.20	32.15	23.18	12.48	6.14	0.40
50-60	8.61	7.79	8.71	7.9	23.04	21.99	10.41	0.67	56.11	38.95	17.16	15.99	15.26	7.23	0.47
60-70	8.68	7.66	8.79	7.78	16.75	21.99	10	0.46	49.20	36.85	12.35	12.55	16.47	7.49	0.34
70-80	8.3	7.22	8.4	7.32	18.43	23.46	8.43	0.63	50.95	40.05	10.90	14.49	18.44	6.63	0.50
80-90	8.41	7.21	8.48	7.3	14.76	22.30	5.85	0.59	43.50	35.21	8.29	11.95	18.05	4.74	0.48
90-100	8.18	7.1	8.31	7.19	12.15	27.85	7.67	0.71	48.38	33.01	15.37	8.29	19.00	5.23	0.48
TOTAL									811.06	449.1	361.96				

TABLA 12. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115 (TECALTITLA, XOCHIMILCO).

PROF. (cm)	pH 1:5		pH 1:10		Ca Int.	Mg Int.	Na Int.	K Int.	SCI	CICT	SCI-CICT	Ca Int. corr.	Mg Int. corr.	Na Int. corr.	K Int. corr.
	H2O	KCl	H2O	KCl	(cmol(+)/kg = meq/100 g)				(cmol(+)/kg = meq/100 g)			(cmol(+)/kg = meq/100 g)			
0-10	8.41	8.09	8.59	8.3	62.99	56.69	12.90	0.76	133.34	71.72	61.62	33.88	30.49	6.94	0.41
10-20	8.4	8.04	8.54	8.25	63.52	53.02	15.06	0.94	132.54	71.19	61.35	34.12	28.48	8.09	0.50
20-30	8.68	8.33	8.82	8.58	72.97	60.58	17.31	0.62	151.48	74.89	76.59	36.08	29.95	8.56	0.31
30-40	8.98	8.5	9.19	8.7	34.65	54.59	21.54	0.76	111.54	53.69	57.85	16.68	26.28	10.37	0.37
40-50	9.02	8.33	9.2	8.48	26.56	38.53	12.90	0.67	78.66	52.47	26.19	17.72	25.70	8.60	0.45
50-60	9.04	8.23	9.22	8.37	22.15	34.65	12.90	0.71	70.41	43.69	26.72	13.74	21.50	8.00	0.44
60-70	9.01	8.21	9.2	8.33	19.95	37.80	14.19	0.80	72.74	47.55	25.19	13.04	24.71	9.28	0.52
70-80	9.1	8.32	9.28	8.49	27.82	37.69	14.19	0.80	80.50	44.52	35.98	15.39	20.84	7.85	0.44
80-90	9.09	8.43	9.27	8.6	32.55	45.14	15.95	0.89	94.53	54.02	40.51	18.60	25.80	9.11	0.51
90-100	8.99	8.28	9.16	8.41	29.40	34.33	13.76	1.17	78.66	47.04	31.62	17.58	20.53	8.23	0.70
100-110	8.3	7.62	8.43	7.72	17.85	25.20	5.15	1.86	50.06	44.71	5.35	15.94	22.51	4.60	1.66
110-120	6.98	6.5	7.1	6.6	12.07	14.70	4.16	0.80	31.73	47.19	0	17.95	21.86	6.19	1.19
120-130	6.6	6.03	6.75	6.16	21	29.92	7.67	1.71	60.30	52.27	8.03	18.20	25.94	6.65	1.48
130-140	6.69	6	6.85	6.13	37.27	49.87	18.70	1.08	106.92	48.67	58.25	16.97	22.70	8.51	0.49
140-150	6.9	6.21	7.08	6.3	28.14	28.35	10.81	1.76	69.06	38.20	30.86	15.57	15.68	5.98	0.97
150-160	6.31	5.81	6.47	5.93	27.72	27.93	10.81	1.56	68.02	46.58	21.44	18.98	19.13	7.40	1.07
160-170	6.99	6.39	7.1	6.51	28.35	26.25	7.67	1.71	63.98	45.34	18.64	20.09	18.60	5.44	1.21
TOTAL									1454.47	883.74	586.19				

TABLA 11. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 114 (TLÁHUAC).

PROF. (cm)	PSI	PSI corr.	VA (ml)	VE (ml)	VR (ml)	pH Ext.	CE (dS/m)	Ca Sol.	Mg Sol.	Na Sol.	K Sol.	SCS1	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SAS1	
								(mmol(+)/L = meq/l)					(mmol(-)/L = meq/l)					
0-10	94.59	39.89	350	113.14	236.86	8.32	11	7.69	491.54	920.61	4.62	1424.46	293.09	10	55	801.19	1159.28	
10-20	70.19	31.80	314	81	233	8.59	6.9	26.27	112.31	101.48	1.5	241.56	66.57	10	35	229.65	341.22	
20-30	66.53	32.80	364	79	285	8.53	6.9	28.07	116.63	136.28	1.5	282.48	62.8	10	33	209.94	315.74	
30-40	31.91	16.45	270	75	195	8.57	5.3	27.1	55.08	70.14	0.69	153.01	31.58	10	21	67.69	130.27	
40-50	25.62	14.54	250	70	180	8.55	4.5	26.67	36.72	48.72	0.41	112.52	25.78	10	19	37.7	92.48	
50-60	26.73	18.55	255	68.8	186.2	8.71	3.6	13.99	23.17	37.3	0.25	74.71	31.4	10	22	56.55	119.95	
60-70	27.14	20.33	300	73	227	8.78	2.5	5.68	11.8	22.37	0.17	40.02	30.39	10	20	23.14	83.53	
70-80	21.05	16.55	325	78.8	246.2	8.83	2.3	9.62	7.87	20.19	0.23	37.91	34.99	10	20	17.14	82.13	
80-90	16.61	13.45	330	77	253	8.74	2.3	8.66	9.05	19.16	0.29	37.16	34.99	10	15	19.28	79.27	
90-100	23.24	15.85	322	112.3	209.7	8.63	1.8	3.06	9.4	20.72	0.27	33.45	34.99	10	15	15	74.99	
TOTAL												2437.28	TOTAL					2478.86

TABLA 12. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115 (TECALTITLA, XOCHIMILCO).

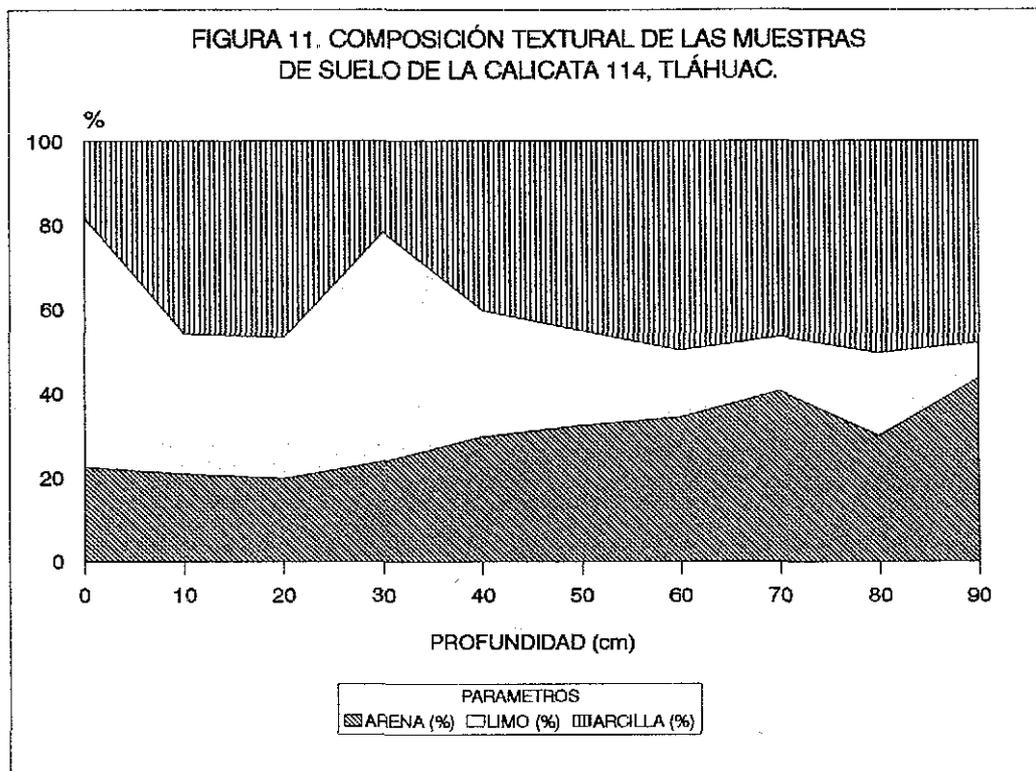
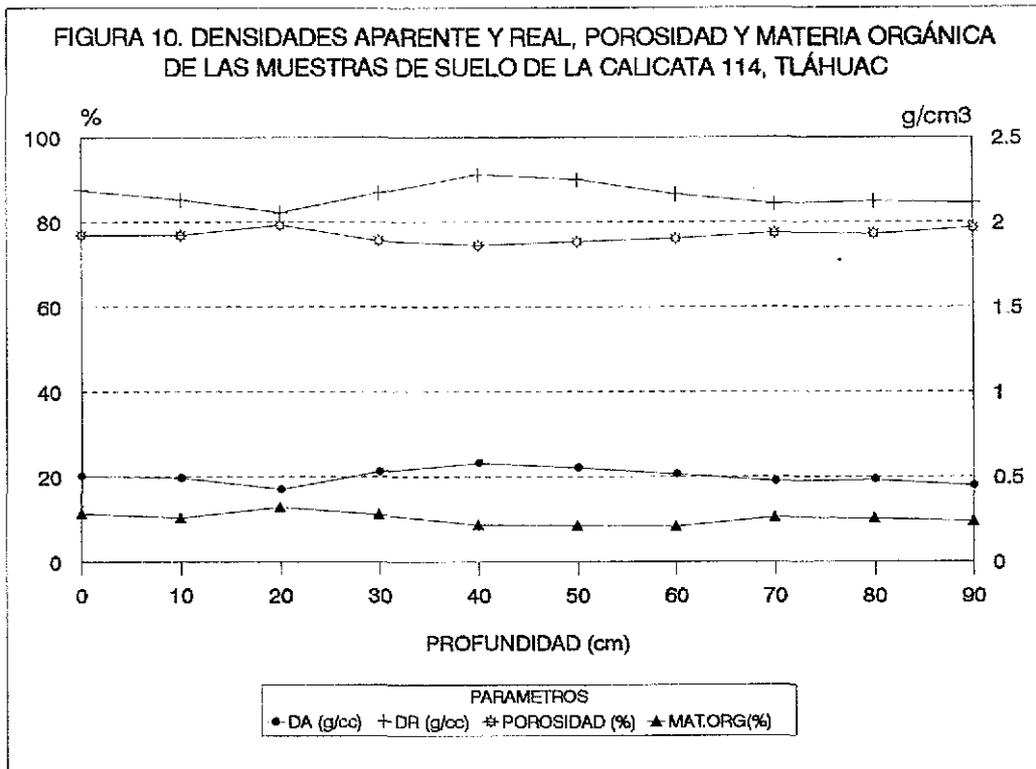
PROF. (cm)	PSI	PSI corr.	VA (ml)	VE (ml)	VR (ml)	pH Ext.	CE (dS/m)	Ca Sol.	Mg Sol.	Na Sol.	K Sol.	SCS1	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SAS1	
								(mmol(+)/L = meq/l)					(mmol(-)/L = meq/l)					
0-10	17.99	9.67	260	61	199	8.69	4.9	30.17	82.36	44.94	0.45	157.92	46.59	20	35	138.82	240.41	
10-20	21.15	11.36	265	67.8	197.2	8.68	4.8	31.82	77.69	42.25	0.56	152.32	42.36	20	30	134.10	226.46	
20-30	23.11	11.43	270	65.3	204.7	8.68	5.5	38.02	83.18	66.69	0.43	188.32	48.80	20	45	163.67	277.47	
30-40	40.12	19.31	285	75.7	209.3	8.65	5.6	38.64	77.07	72.47	0.55	188.73	49.82	20	35	150.60	255.42	
40-50	24.59	16.40	296	91	205	8.52	5.3	27.85	68.97	59.03	0.45	156.3	46.96	10	25	127.03	208.99	
50-60	29.53	18.32	290	67.6	222.4	8.69	5.2	25.62	62.15	52.61	0.46	140.84	44.66	10	20	122.32	196.98	
60-70	29.84	19.51	240	71	169	8.67	5	28.14	59.26	60.26	0.48	148.14	43.28	10	20	115.68	188.96	
70-80	31.87	17.63	320	93.3	226.7	8.68	5.2	27.69	65.33	61.49	0.49	155	51.47	10	20	117.39	198.86	
80-90	29.53	16.87	258	85	173	8.65	5.3	28.47	69.05	61.49	0.69	159.7	50.64	10	25	121.68	207.32	
90-100	29.25	17.49	295	75.1	219.9	8.54	4.9	26.45	57.85	55.34	0.85	140.49	48.34	10	20	105.40	183.74	
100-110	11.52	10.29	275	91.9	183.1	8.41	4.5	24.67	47.44	33.39	1.32	106.82	43.74	10	15	91.26	160.00	
110-120	8.82	13.11	350	99.8	250.2	8.01	4.2	23.14	50.95	30.35	1.46	105.9	37.85	10	10	92.97	150.82	
120-130	14.67	12.72	390	100.2	289.8	7.91	2.8	9.5	19.26	16.67	1.1	46.53	30.39	10	10	35.17	85.56	
130-140	38.42	17.49	380	111.4	268.6	8.13	2	4.39	9.22	11.46	0.81	25.88	27.62	10	10	17.57	65.19	
140-150	28.30	15.65	250	74	176	8.11	2	4.59	12.06	11.11	0.79	28.55	24.68	10	0	22.28	56.96	
150-160	23.21	15.89	300	75	225	7.59	3.9	21.12	48.24	26.99	1.68	98.03	28.64	10	10	88.26	136.90	
160-170	16.92	11.99	360	106.7	253.3	7.73	3.5	13.48	33.71	22.96	1.39	71.54	29.56	10	10	46.27	95.83	
TOTAL												2071.01	TOTAL					2935.87

TABLA 11. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 114 (TLÁHUAC).

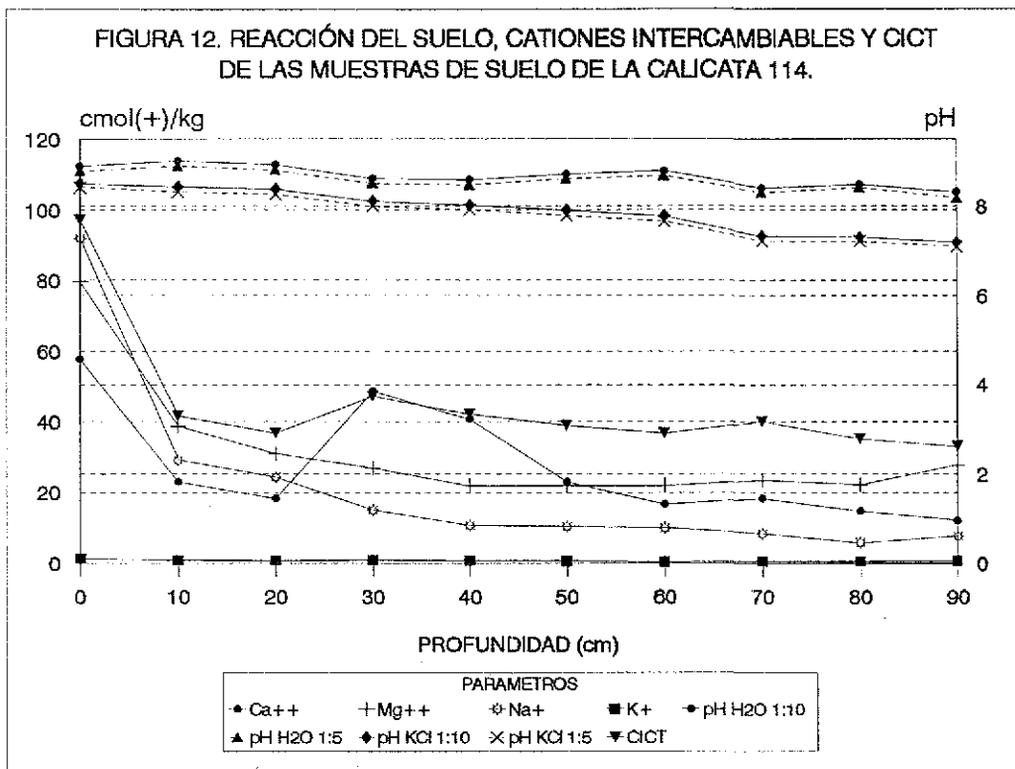
PROF. (cm)	Ca Sol.	Mg Sol.	Na Sol.	K Sol.	SCS2	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SAS2	SCI-CICT/ SCS2	
	(cmol(+)/kg = meq/100 g)					(cmol(-)/kg = meq/100 g)						
0-10	0.35	22.25	41.66	0.209	64.469	13.26	0.453	2.489	36.26	52.462	2.07	
10-20	0.85	3.64	3.29	0.049	7.829	2.16	0.324	1.134	7.44	11.058	6.42	
20-30	0.89	3.69	4.31	0.048	8.938	1.98	0.316	1.043	6.63	9.969	4.24	
30-40	0.81	1.65	2.10	0.021	4.581	0.95	0.30	0.63	2.03	3.91	9.68	
40-50	0.75	1.03	1.36	0.012	3.152	0.72	0.28	0.532	1.06	2.592	10.20	
50-60	0.39	0.64	1.03	0.007	2.067	0.86	0.275	0.55	1.56	3.245	8.30	
60-70	0.17	0.35	0.65	0.005	1.175	0.89	0.292	0.584	0.88	2.446	10.51	
70-80	0.30	0.25	0.64	0.007	1.197	1.10	0.315	0.63	0.54	2.585	9.11	
80-90	0.27	0.28	0.59	0.009	1.149	1.08	0.308	0.462	0.59	2.44	7.21	
90-100	0.14	0.42	0.93	0.012	1.502	1.57	0.449	0.674	0.67	3.363	10.23	
	TOTAL					96.059	TOTAL					94.07

TABLA 12. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115 (TECALTITLA, XOCHIMILCO).

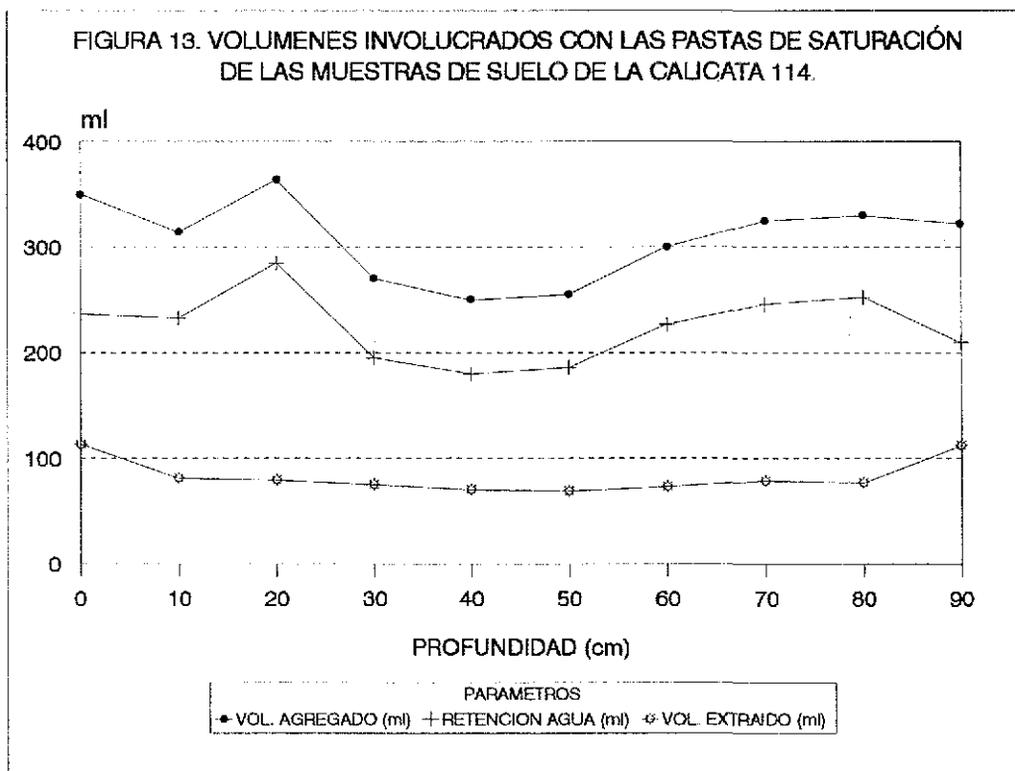
PROF. (cm)	Ca Sol.	Mg Sol.	Na Sol.	K Sol.	SCS2	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SAS2	SCI-CICT/ SCS2	
	(cmol(+)/kg = meq/100 g)					(cmol(-)/kg = meq/100 g)						
0-10	0.74	2.01	1.10	0.011	3.861	1.14	0.488	0.854	3.39	5.872	15.96	
10-20	0.86	2.11	1.15	0.015	4.135	1.15	0.542	0.814	3.64	6.146	14.84	
20-30	0.99	2.17	1.74	0.011	4.911	1.27	0.522	1.175	4.27	7.237	15.60	
30-40	1.17	2.33	2.19	0.017	5.707	1.51	0.606	1.06	4.56	7.736	10.14	
40-50	1.01	2.51	2.15	0.016	5.686	1.71	0.364	0.91	4.62	7.604	4.61	
50-60	0.69	1.68	1.42	0.013	3.803	1.21	0.27	0.541	3.31	5.331	7.03	
60-70	0.80	1.68	1.71	0.014	4.204	1.23	0.284	0.568	3.29	5.372	5.99	
70-80	1.03	2.44	2.29	0.018	5.778	1.92	0.373	0.746	4.38	7.419	6.23	
80-90	0.97	2.35	2.09	0.024	5.434	1.72	0.34	0.85	4.14	7.05	7.45	
90-100	0.79	1.74	1.66	0.026	4.216	1.45	0.3	0.601	3.17	5.521	7.50	
100-110	0.91	1.74	1.23	0.048	3.928	1.61	0.368	0.551	3.35	5.879	1.36	
110-120	0.92	2.03	1.21	0.058	4.218	1.51	0.399	0.399	3.71	6.018	0.00	
120-130	0.38	0.77	0.67	0.044	1.864	1.22	0.401	0.401	1.41	3.432	4.31	
130-140	0.20	0.41	0.51	0.036	1.156	1.23	0.446	0.446	0.78	2.902	50.39	
140-150	0.14	0.36	0.33	0.023	0.853	0.73	0.296	0	0.66	1.686	36.18	
150-160	0.63	1.45	0.81	0.050	2.940	0.86	0.3	0.3	2.65	4.11	7.29	
160-170	0.58	1.44	0.98	0.059	3.059	1.26	0.427	0.427	1.97	4.084	6.09	
	TOTAL					65.753	TOTAL					93.399



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

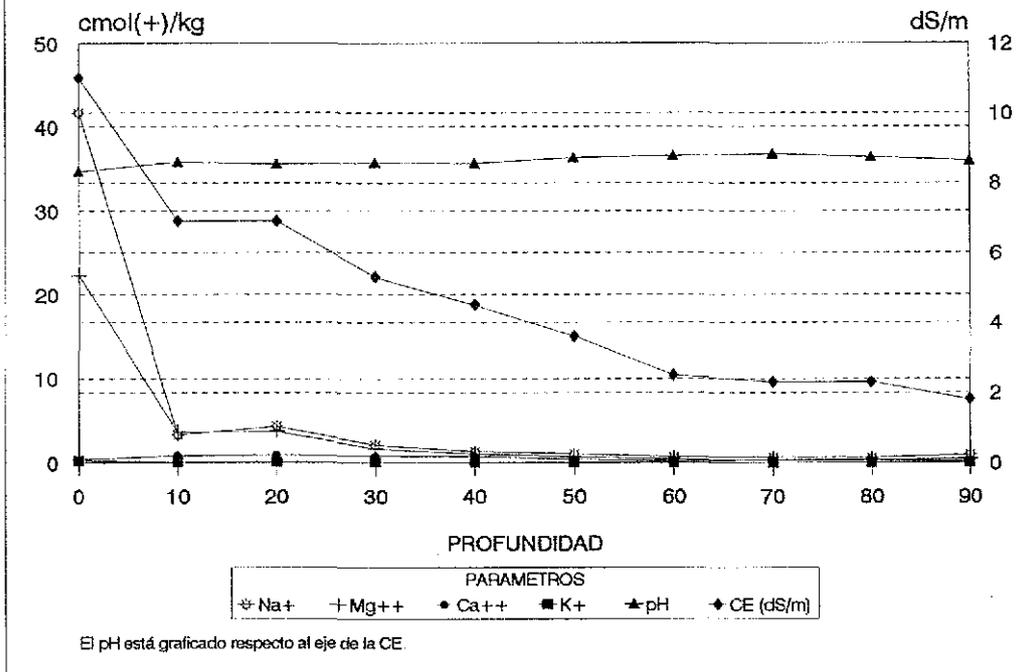


Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...90(90-100)



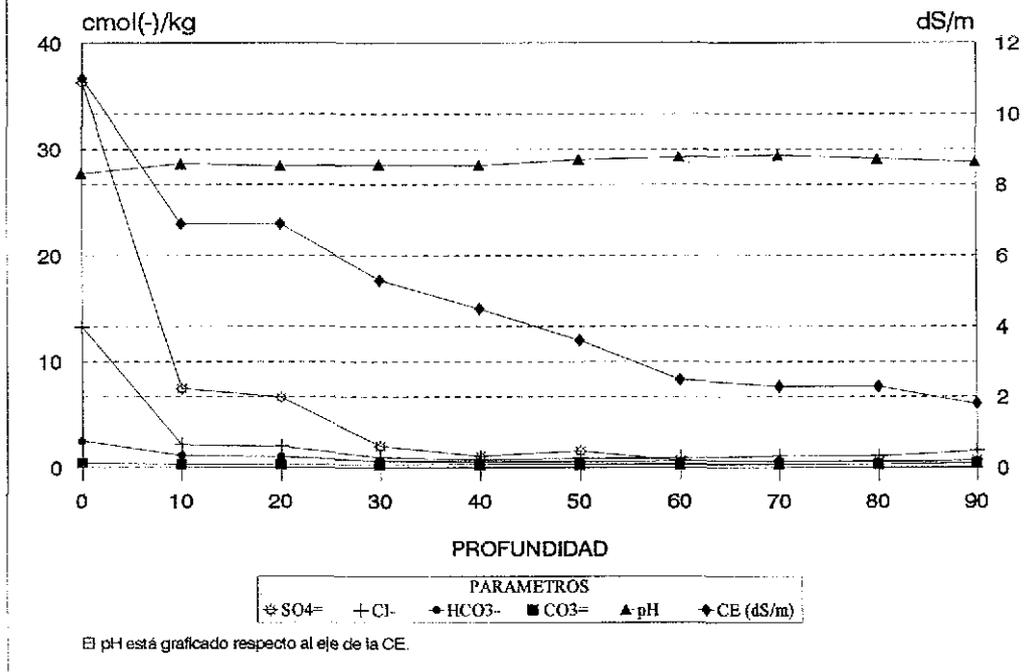
Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...90(90-100)

FIGURA 14. CE, pH Y CATIONES SOLUBLES EN LOS EXTRACTOS DE SATURACION DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 114.



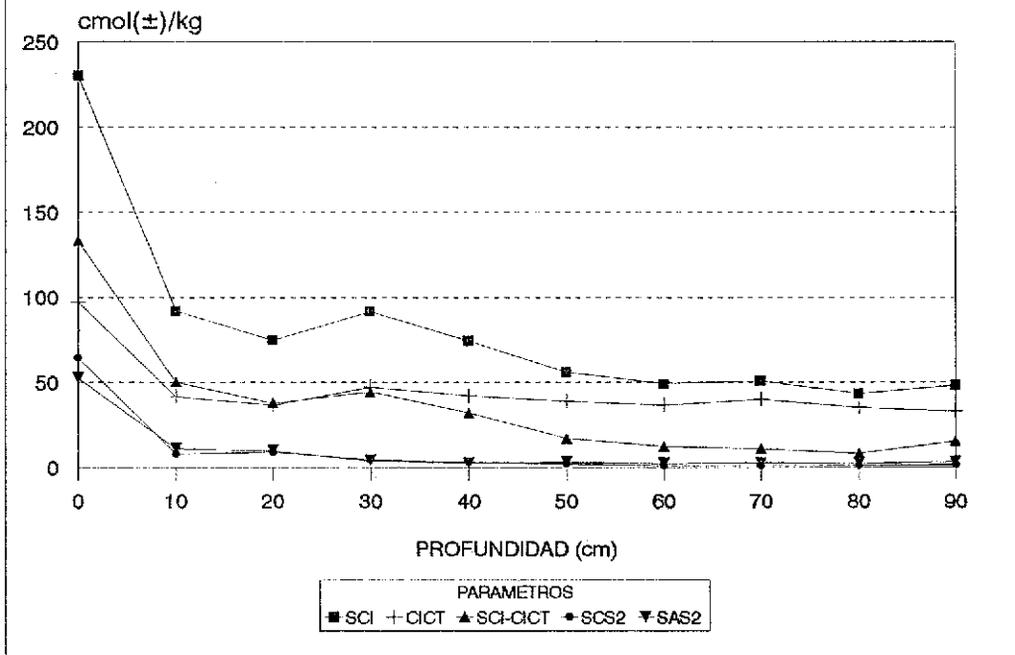
Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...90(90-100)

FIGURA 15. CE, pH Y ANIONES SOLUBLES EN LOS EXTRACTOS DE SATURACION DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 114.



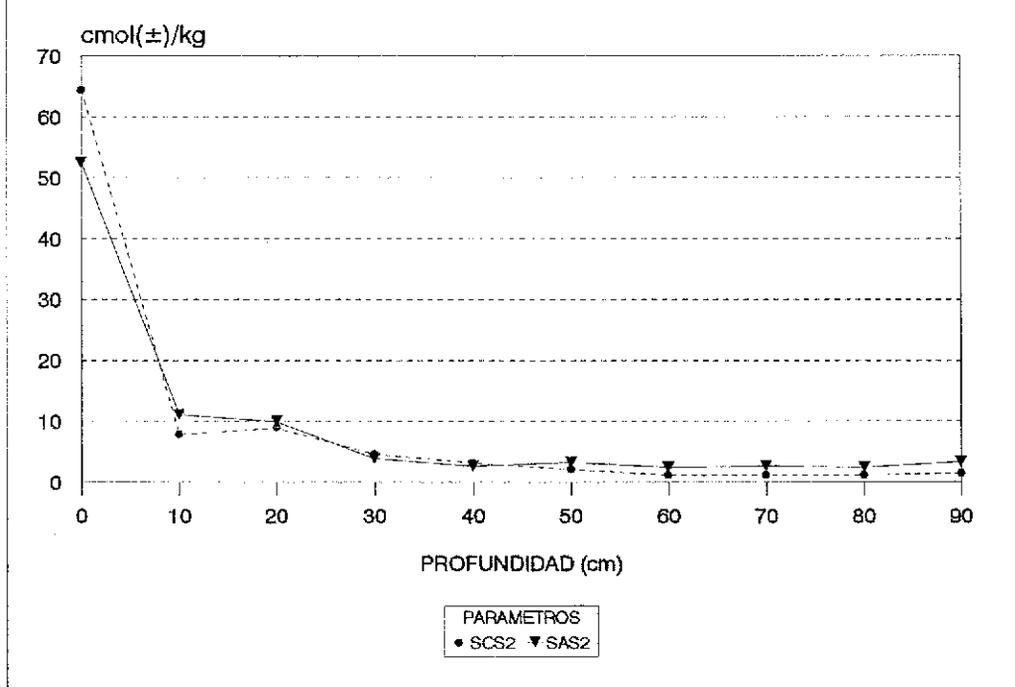
Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...90(90-100)

FIGURA 16A. BALANCE ENTRE CATIONES Y ANIONES SOLUBLES DETERMINADOS ANALÍTICAMENTE, CONTRA CATIONES SOLUBLES CALCULADOS POR LA DIFERENCIA SCI-CICT (CALICATA 114).



Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...90(90-100)

FIGURA 16B. BALANCE ENTRE CATIONES Y ANIONES SOLUBLES DETERMINADOS ANALÍTICAMENTE EN LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 114



Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20), 90(90-100)

TABLA 13. MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE EL PRIMER GRUPO DE VARIABLES DE LA CALICATA 114.

	D.A.	D.R.	P	M.O.	Arena	Limo	Arcilla	Are + Li	Li + Arc	Arc+MO	Li + MO	VA	VE	VR	CICT
D.A.	1 0.0000	0.9701 0.0000	-0.9651 0.0000	-0.6967 0.0252	0.0470 0.8975	0.1709 0.6368	-0.2849 0.4250	0.2849 0.4250	-0.0470 0.8975	-0.3851 0.2718	0.1074 0.7677	-0.9020 0.0004	-0.3644 0.3006	-0.8869 0.0006	0.1123 0.7573
D.R.	0.9701 0.0000	1 0.0000	-0.9043 0.0003	-0.6441 0.0444	0.0142 0.9688	0.2092 0.5618	-0.3178 0.3709	0.3178 0.3709	-0.0142 0.9688	-0.4125 0.2361	0.1483 0.6827	-0.8181 0.0038	-0.2619 0.4649	-0.8383 0.0024	0.2352 0.5130
P	-0.9651 0.0000	-0.9043 0.0003	1 0.0000	0.6190 0.0564	0.0766 0.8334	-0.2370 0.5097	0.2937 0.4101	-0.2937 0.4101	-0.0766 0.8334	0.3843 0.2728	-0.1768 0.6251	0.8742 0.0009	0.5151 0.1276	0.7795 0.0079	-0.1015 0.7803
M.O.	-0.6967 0.0252	-0.6441 0.0444	0.6190 0.0564	1 0.0000	-0.5773 0.0806	0.5215 0.1222	-0.3544 0.3150	0.3544 0.3150	0.5773 0.0806	-0.2397 0.5047	0.5787 0.0796	0.6990 0.0245	0.2729 0.4455	0.6920 0.0266	0.3074 0.3876
Arena	0.0470 0.8975	0.0142 0.9688	0.0766 0.8334	-0.5773 0.0806	1 0.0000	-0.7960 0.0059	0.4563 0.1850	-0.4563 0.1850	-1 0.0000	0.3997 0.2524	-0.8072 0.0048	-0.1678 0.6432	0.1363 0.7074	-0.2659 0.4577	-0.4011 0.2507
Limo	0.1709 0.6368	0.2092 0.5618	-0.2370 0.5097	0.5215 0.1222	-0.7960 0.0059	1 0.0000	-0.9018 0.0004	0.9018 0.0004	0.7960 0.0059	-0.8694 0.0011	0.9976 0.0000	0.0328 0.9283	0.1641 0.6506	-0.0423 0.9076	0.7453 0.0134
Arcilla	-0.2849 0.4250	-0.3178 0.3709	0.2937 0.4101	-0.3544 0.3150	0.4563 0.1850	-0.9018 0.0004	1 0.0000	-1 0.0000	-0.4563 0.1850	0.9928 0.0000	-0.8904 0.0006	0.0716 0.8443	-0.3385 0.3387	0.2521 0.4823	-0.8093 0.0046
Are + Li	0.2849 0.4250	0.3178 0.3709	-0.2937 0.4101	0.3544 0.3150	-0.4563 0.1850	0.9018 0.0004	-1 0.0000	1 0.0000	0.4563 0.1850	-0.9928 0.0000	0.8904 0.0006	-0.0716 0.8443	0.3385 0.3387	-0.2521 0.4823	0.8093 0.0046
Li + Arc	-0.0470 0.8975	-0.0142 0.9688	-0.0766 0.8334	0.5773 0.0806	-1 0.0000	0.7960 0.0059	-0.4563 0.1850	0.4563 0.1850	1 0.0000	-0.3997 0.2524	0.8072 0.0048	0.1678 0.6432	-0.1363 0.7074	0.2659 0.4577	0.4011 0.2507
Arc+MO	-0.3851 0.2718	-0.4125 0.2361	0.3843 0.2728	-0.2397 0.5047	0.3997 0.2524	-0.8694 0.0011	0.9928 0.0000	-0.9928 0.0000	-0.3997 0.2524	1 0.0000	-0.8502 0.0018	0.1639 0.6509	-0.3164 0.3730	0.3505 0.3208	-0.8008 0.0054
Li + MO	0.1074 0.7677	0.1483 0.6827	-0.1768 0.6251	0.5787 0.0796	-0.8072 0.0048	0.9976 0.0000	-0.8904 0.0006	0.8904 0.0006	0.8072 0.0048	-0.8502 0.0018	1 0.0000	0.0875 0.8101	0.1787 0.6213	0.0151 0.9669	0.7370 0.0150
VA	-0.9020 0.0004	-0.8181 0.0038	0.8742 0.0009	0.6990 0.0245	-0.1678 0.6432	0.0328 0.9283	0.0716 0.8443	-0.0716 0.8443	0.1678 0.6432	0.1639 0.6509	0.0875 0.8101	1 0.0000	0.5506 0.0991	0.9108 0.0002	0.2602 0.4678
VE	-0.3644 0.3006	-0.2619 0.4649	0.5151 0.1276	0.2729 0.4455	0.1363 0.7074	0.1641 0.6506	-0.3385 0.3387	0.3385 0.3387	-0.1363 0.7074	-0.3164 0.3730	0.1787 0.6213	0.5506 0.0991	1 0.0000	0.1567 0.6655	0.5554 0.0956
VR	-0.8869 0.0006	-0.8383 0.0024	0.7795 0.0079	0.6920 0.0266	-0.2659 0.4577	-0.0423 0.9076	0.2521 0.4823	-0.2521 0.4823	0.2659 0.4577	0.3505 0.3208	0.0151 0.9669	0.9108 0.0002	0.1567 0.6655	1 0.0000	0.0331 0.9277
CICT	0.1123 0.7573	0.2352 0.5130	-0.1015 0.7803	0.3074 0.3876	-0.4011 0.2507	0.7453 0.0134	-0.8093 0.0046	0.8093 0.0046	0.4011 0.2507	-0.8008 0.0054	0.7370 0.0150	0.2602 0.4678	0.5554 0.0956	0.0331 0.9277	1 0.0000
CORR +	1	1	2	2	0	4	1	3	2	1	4	3	0	3	3
CORR -	4	4	2	2	3	3	4	2	1	4	3	2	0	2	2
C. TOT.	5	5	4	4	3	7	5	5	3	5	7	5	0	5	5

(Se reportan el coeficiente de correlación y la confianza estadística. En todos los casos n = 10)

Los *valores corregidos* de **DA** oscilan entre 0.9855 y 1.1401 g/cm³, y a su vez, los de **P** entre 49.89 y 52.1 %, que son más congruentes con los demás parámetros observados: altos valores de **MO** (8.37-12.89 %) y textura fundamentalmente arcillosa, la cual se sabe, ocasiona condiciones de poca permeabilidad, alta retención de nutrimentos y agua, así como facilidad para la salinización y sodificación, lo cual se demuestra al observar los pH's con agua, los pH's de los extractos, la conductividad eléctrica y los iones solubles e intercambiables. Los valores que se indican de **P** no son muy bajos, porque los altos contenidos de **MO** atenúan los efectos desfavorables de la arcilla.

Respecto a la **composición textural** (Figura 11), el predominio de las fracciones de 0-100 cm de profundidad es: **Arcilla** (41.29 %) > **Arena** (29.69 %) > **Limo** (29.02 %), pero en los primeros 50 cm el que predomina es el Limo (42.11 %). En la Tabla 13 se aprecian correlaciones negativas significativas entre las fracciones: Arena vs Limo, Limo vs Arcilla, Are+Li vs Arcilla y Arena vs Li+Arc; tales correlaciones se explican por simple lógica por: 1) la manera como se calculan las fracciones a partir de las lecturas del hidrómetro y 2) porque todas deben sumar el 100 %.

En la Figura 12 y en la Tabla 14 se observan correlaciones muy altas entre los 4 pH's, especialmente entre pares (con agua 1:5 y 1:10; con KCl 1:5 y 1:10). El orden descendente de las curvas es: pH A 1:10 > pH A 1:5 > pH KCl 1:10 > pH KCl 1:5. Las razones para explicar esto son:

- 1) A mayor dilución (1:10), mayor cantidad de iones intercambiables y sales precipitadas pasan a la fase acuosa y, dado que la concentración de iones Na⁺, Mg⁺⁺ y Ca⁺⁺ es alta, entonces éstos tienen facilidad para romper las moléculas de agua y producir iones OH⁻, responsables del aumento del pH (Ortega, 1987).
- 2) El KCl se emplea para determinar la *acidez potencial* del suelo, es decir, se pretende que el ión K⁺ desplace a los iones H⁺ de los sitios de intercambio, pero como en el presente caso éstos están saturados con iones Na⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺ y K⁺, entonces, los valores de pH son menores que los determinados con agua, porque todavía puede presentarse un intercambio protónico directo efectuado por los grupos carboxílicos más débiles y por la mayoría de los grupos fenólicos de la materia orgánica del suelo, así como algunos protones débilmente ácidos localizados en los bordes de los minerales del suelo. No obstante, el intercambio protónico directo a partir de dichos grupos no es muy importante para la mayoría de los suelos agrícolas (Bohn, *et al.*, 1993)

Los valores de pH determinados en las diluciones con agua y en los extractos de las pastas de saturación revelan sodicidad del suelo, ya que tales valores son ≥ 8.5 en casi todos los casos. Es importante resaltar que la curva de **pH del Extracto** tiene una tendencia inversa y correlación negativa respecto a los otros 4 pH's (ver Figuras 12, 14 y Tabla 14)

Al comparar las Figuras 11 y 12 se observan tendencias semejantes entre las curvas de **Ca⁺⁺ Int.** y **CICT** contra las de Are+Li y Limo; en la Tabla 14 se observa que la correlación de CICT es mayor con la fracción Are+Li que con el Limo solo; cálculos por separado denotan lo mismo con el Ca⁺⁺ Int.: correlación con Are+Li: $r = 0.9498$ ($\alpha < 0.0004$), con el Limo: $r = 0.8912$ ($\alpha = 0.00054$)

La manera como predominan los **cationes** en los sitios de **intercambio** es en el siguiente orden: Mg⁺⁺ > Ca⁺⁺ > Na⁺ > K⁺.

TABLA 14. MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE EL SEGUNDO GRUPO DE VARIABLES DE LA CALICATA 114.

	M.O.	Limo	Arcilla	Are+Li	Li+Arc	Arc+MO	Li+MO	SCI	CICT	SCI-CICT	pH A 1:5	pH A 1:10	pH KCl 5	pH KCl 10	pH Ext.
M.O.	1.0000 0.0000	0.5215 0.1222	-0.3544 0.3150	0.3544 0.3150	0.5773 0.0806	-0.2397 0.5047	0.5787 0.0796	0.4014 0.2502	0.3074 0.3876	0.4421 0.2007	0.2967 0.4052	0.3111 0.3817	0.4134 0.2350	0.4055 0.2450	-0.4846 0.1557
Limo	0.5215 0.1222	1.0000 0.0000	-0.9018 0.0004	0.9018 0.0004	0.7960 0.0059	-0.8694 0.0011	0.9976 0.0000	0.8123 0.0043	0.7453 0.0134	0.8325 0.0028	0.5426 0.1051	0.5465 0.1021	0.8031 0.0051	0.7940 0.0061	-0.8086 0.0046
Arcilla	-0.3544 0.3150	-0.9018 0.0004	1.0000 0.0000	-1.0000 0.0000	-0.4563 0.1850	0.9928 0.0000	-0.8904 0.0006	-0.8133 0.0042	-0.8093 0.0046	-0.8017 0.0053	-0.2091 0.5621	-0.2199 0.5416	-0.5476 0.1013	-0.5345 0.1114	0.7292 0.0167
Are+Li	0.3544 0.3150	0.9018 0.0004	-1.0000 0.0000	1.0000 0.0000	0.4563 0.1850	-0.9928 0.0000	0.8904 0.0006	0.8133 0.0042	0.8093 0.0046	0.8017 0.0053	0.2091 0.5621	0.2199 0.5416	0.5476 0.1013	0.5345 0.1114	-0.7292 0.0167
Li+Arc	0.5773 0.0806	0.7960 0.0059	-0.4563 0.1850	0.4563 0.1850	1.0000 0.0000	-0.3997 0.2524	0.8072 0.0048	0.5334 0.1123	0.4011 0.2507	0.5913 0.0718	0.8245 0.0033	0.8173 0.0039	0.8866 0.0006	0.8862 0.0006	-0.6437 0.0446
Arc+MO	-0.2397 0.5047	-0.8694 0.0011	0.9928 0.0000	-0.9928 0.0000	-0.3997 0.2524	1.0000 0.0000	-0.8502 0.0018	-0.7929 0.0062	-0.8008 0.0054	-0.7757 0.0084	-0.1790 0.6207	-0.1884 0.6022	-0.5155 0.1272	-0.5030 0.1384	0.6949 0.0257
Li+MO	0.5787 0.0796	0.9976 0.0000	-0.8904 0.0006	0.8904 0.0006	0.8072 0.0048	-0.8502 0.0018	1.0000 0.0000	0.8086 0.0046	0.7370 0.0150	0.8312 0.0029	0.5425 0.1052	0.5473 0.1015	0.8008 0.0054	0.7914 0.0064	-0.8118 0.0043
SCI	0.4014 0.2502	0.8123 0.0043	-0.8133 0.0042	0.8133 0.0042	0.5334 0.1123	-0.7929 0.0062	0.8086 0.0046	1.0000 0.0000	0.9780 0.0000	0.9944 0.0000	0.4847 0.1557	0.4971 0.1438	0.6799 0.0305	0.6630 0.0367	-0.8522 0.0017
CICT	0.3074 0.3876	0.7453 0.0134	-0.8093 0.0046	0.8093 0.0046	0.4011 0.2507	-0.8008 0.0054	0.7370 0.0150	0.9780 0.0000	1.0000 0.0000	0.9505 0.0000	0.3737 0.2875	0.3791 0.2799	0.5538 0.0967	0.5355 0.1107	-0.7526 0.0120
SCI-CICT	0.4421 0.2007	0.8325 0.0028	-0.8017 0.0053	0.8017 0.0053	0.5913 0.0718	-0.7757 0.0084	0.8312 0.0029	0.9944 0.0000	0.9505 0.0000	1.0000 0.0000	0.5326 0.1130	0.5484 0.1007	0.7323 0.0160	0.7162 0.0198	-0.8882 0.0006
pH A 1:5	0.2967 0.4052	0.5426 0.1051	-0.2091 0.5621	0.2091 0.5621	0.8245 0.0033	-0.1790 0.6207	0.5425 0.1052	0.4847 0.1557	0.3737 0.2875	0.5326 0.1130	1.0000 0.0000	0.9975 0.0000	0.8811 0.0008	0.8867 0.0006	-0.4578 0.1833
pH A 1:10	0.3111 0.3817	0.5465 0.1021	-0.2199 0.5416	0.2199 0.5416	0.8173 0.0039	-0.1884 0.6022	0.5473 0.1015	0.4971 0.1438	0.3791 0.2799	0.5484 0.1007	0.9975 0.0000	1.0000 0.0000	0.8945 0.0005	0.9000 0.0004	-0.4868 0.1536
pH KCl 5	0.4134 0.2350	0.8031 0.0051	-0.5476 0.1013	0.5476 0.1013	0.8866 0.0006	-0.5155 0.1272	0.8008 0.0054	0.6799 0.0305	0.5538 0.0967	0.7323 0.0160	0.8811 0.0008	0.8945 0.0005	1.0000 0.0000	0.9996 0.0000	-0.7474 0.0130
pH KCl 10	0.4055 0.2450	0.7940 0.0061	-0.5345 0.1114	0.5345 0.1114	0.8862 0.0006	-0.5030 0.1384	0.7914 0.0064	0.6630 0.0367	0.5355 0.1107	0.7162 0.0198	0.8867 0.0006	0.9000 0.0004	0.9996 0.0000	1.0000 0.0000	-0.7317 0.0161
pH Ext.	-0.4846 0.1557	-0.8086 0.0046	0.7292 0.0167	-0.7292 0.0167	-0.6437 0.0446	0.6949 0.0257	-0.8118 0.0043	-0.8522 0.0017	-0.7526 0.0120	-0.8882 0.0006	-0.4578 0.1833	-0.4868 0.1536	-0.7474 0.0130	-0.7317 0.0161	1.0000 0.0000
CORR +	0	8	2	5	6	2	8	7	5	7	4	4	8	8	2
CORR -	0	3	6	3	1	6	3	3	3	3	0	0	1	1	9
C. TOT.	0	11	8	8	7	8	11	10	8	10	4	4	9	9	11

(Se reportan el coeficiente de correlación y la confianza estadística. En todos los casos n = 10)

El hecho de que la **SCI >> CICT** (Tabla 11, Figura 16a) tiene un significado especial por cuestiones metodológicas, ya que los cationes evaluados son más bien la suma de intercambiables + solubles, y la corrección realizada sobre los cationes intercambiables tiene sus limitaciones, pues aunque la suma de ellos corresponda con la CICT, tales valores corregidos no reflejan la cantidad ni la proporción exacta de cómo los cationes ocupan los sitios de intercambio, es decir, las proporciones como pueden encontrarse los cationes intercambiables pueden ser distintas a las aquí reportadas, porque en varios casos los cationes solubles fueron mayores que los intercambiables, produciendo que los valores corregidos pudieran estar adoptando (aunque sea parcialmente) las tendencias y proporciones de los cationes solubles (o la suma de ambos); por esta misma razón y por limitaciones de los análisis de correlación múltiple empleados, no se pudieron detectar antagonismos (correlaciones negativas, Tabla 15) entre los cationes solubles e intercambiables por los sitios de intercambio. Considerando lo anterior, resalta la evidente necesidad de utilizar métodos analíticos más apropiados para determinar los cationes intercambiables en suelos sódicos y salinos.

A pesar de lo anterior, los valores corregidos del **PSI** son más congruentes (13.46-39.89 %) respecto a los no corregidos (16.61-94.59 %).

En la Figura 13 se observa correlación positiva entre el **volumen agregado** y el **retenido** de agua por el suelo para obtener las pastas de saturación, mientras que ninguno de éstos se correlaciona con el del **extracto**; lo anterior se corrobora en la Tabla 13, además de notarse correlaciones significativas de **VA** y **VR**: *positivas* con **MO** y **P** y *negativas* con **DA** y **DR**. En la misma figura resalta el hecho de que los volúmenes agregados y los retenidos fueron altos. En la Tabla 13 destaca también que ni **VA** ni **VR** se correlacionaron con ninguna de las fracciones texturales (ver explicación complementaria en el ACP1).

Los **iones solubles** reportados en $\text{cmol}(\pm)\text{kg}^{-1}$ (Tabla 11; Figs. 14, 15) se consideran más precisos que los definidos en $\text{mmol}(\pm)\text{L}^{-1}$, porque involucran tanto el volumen de extracto obtenido como la cantidad de suelo de la que fueron cuantificados. En los valores de carbonatos y bicarbonatos pueden apreciarse diferencias claras respecto a las unidades empleadas; al comparar las cantidades totales de cationes y aniones solubles, los valores de **SCS2** contra **SAS2** se invierten respecto a los de **SCS1** contra **SAS1**.

Observando las Figuras 14-16b se notan tendencias muy similares entre las curvas de **CE**, **cationes** y **aniones solubles**, **SCI**, **CICT**, **SCI-CICT**, **SCS2** y **SAS2**. A excepción del Ca^{++} soluble o de CO_3^- (ambos contra **CE**), todas las demás variables están altamente correlacionadas positivamente: entre las variables **CE**, Mg^{++} , Na^+ y K^+ solubles, **SCS2**, Cl^- , CO_3^- , HCO_3^- , SO_4^- y **SAS2** (Tabla 15), el coeficiente mínimo de correlación es de 0.6334 ($\alpha = 0.0493$, CO_3^- contra SO_4^-); entre las variables **SCI**, **CICT** y **SCI-CICT** (Tabla 14), la correlación mínima es de 0.9505 ($\alpha < 0.00004$; **CICT** contra **SCI-CICT**); y entre las variables SO_4^- , **SAS2**, **SCI** y **SCI-CICT** (Tabla 16), la correlación mínima es de 0.9572 ($\alpha < 0.00004$; **SAS2** contra **SCI-CICT**).

En las mismas figuras se observa que el **predominio de los iones** según sus concentraciones es: **Cationes:** $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$; **Aniones:** $\text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^-$. Se observa que en las capas superiores del suelo (0-40 cm) hay una marcada acumulación de sales, predominando los sulfatos y cloruros de Na y Mg, lo que permite reconocer que estas sales son las más solubles de las determinadas.

TABLA 15. MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE EL TERCER GRUPO DE VARIABLES DE LA CALICATA 114.

	CE	Ca Int.	Mg Int.	Na Int.	K Int.	Ca Sol.	Mg Sol.	Na Sol.	K Sol.	SCS2	Cl ⁻	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	SO ₄ ⁼	SAS2
CE	1 0	0.7143 0.0203	0.8665 0.0012	0.9045 0.0003	0.9053 0.0003	0.4812 0.1591	0.8674 0.0012	0.8176 0.0039	0.8878 0.0006	0.844 0.0021	0.8019 0.0053	0.3595 0.3076	0.8922 0.0005	0.8756 0.0009	0.8593 0.0014
Ca Int.	0.7143 0.0203	1 0	0.629 0.0514	0.6724 0.0332	0.7622 0.0104	0.343 0.3319	0.6809 0.0302	0.68 0.0305	0.6582 0.0385	0.6868 0.0282	0.6297 0.0511	0.1942 0.5908	0.5909 0.072	0.6534 0.0405	0.6457 0.0437
Mg Int.	0.8665 0.0012	0.629 0.0514	1 0	0.9898 0	0.9086 0.0003	0.0125 0.9726	0.9852 0	0.9716 0	0.9915 0	0.9785 0	0.9805 0	0.7008 0.024	0.9911 0	0.9891 0	0.9898 0
Na Int.	0.9045 0.0003	0.6724 0.0332	0.9898 0	1 0	0.897 0.0004	0.0698 0.8481	0.9937 0	0.9783 0	0.9965 0	0.9866 0	0.9773 0	0.6092 0.0616	0.991 0	0.9966 0	0.994 0
K Int.	0.9053 0.0003	0.7622 0.0104	0.9086 0.0003	0.897 0.0004	1 0	0.3178 0.3709	0.877 0.0009	0.8452 0.0021	0.893 0.0005	0.8628 0.0013	0.8432 0.0022	0.5881 0.0737	0.8886 0.0006	0.8785 0.0008	0.8724 0.001
Ca Sol.	0.4812 0.1591	0.343 0.3319	0.0125 0.9726	0.0698 0.8481	0.3178 0.3709	1 0	-0.0018 0.996	-0.0851 0.8152	0.041 0.9104	-0.0407 0.9111	-0.1181 0.7453	-0.3664 0.2977	0.0614 0.8661	0.0076 0.9834	-0.023 0.9498
Mg Sol.	0.8674 0.0012	0.6809 0.0302	0.9852 0	0.9937 0	0.877 0.0009	-0.0018 0.996	1 0	0.9948 0	0.9969 0	0.9985 0	0.9923 0	0.6362 0.048	0.9794 0	0.9984 0	0.9986 0
Na Sol.	0.8176 0.0039	0.68 0.0305	0.9716 0	0.9783 0	0.8452 0.0021	-0.0851 0.8152	0.9948 0	1 0	0.985 0	0.9988 0	0.9964 0	0.6519 0.0411	0.9592 0	0.9895 0	0.9925 0
K Sol.	0.8878 0.0006	0.6582 0.0385	0.9915 0	0.9965 0	0.893 0.0005	0.041 0.9104	0.9969 0	0.985 0	1 0	0.9917 0	0.9858 0	0.647 0.0432	0.9896 0	0.9982 0	0.9973 0
SCS2	0.844 0.0021	0.6868 0.0282	0.9785 0	0.9866 0	0.8628 0.0013	-0.0407 0.9111	0.9985 0	0.9988 0	0.9917 0	1 0	0.9951 0	0.6421 0.0453	0.9691 0	0.9947 0	0.9962 0
Cl ⁻	0.8019 0.0053	0.6297 0.0511	0.9805 0	0.9773 0	0.8432 0.0022	-0.1181 0.7453	0.9923 0	0.9964 0	0.9858 0	0.9951 0	1 0	0.697 0.0251	0.9674 0	0.9898 0	0.9941 0
CO ₃ ⁼	0.3595 0.3076	0.1942 0.5908	0.7008 0.024	0.6092 0.0616	0.5881 0.0737	-0.3664 0.2977	0.6362 0.048	0.6519 0.0411	0.647 0.0432	0.6421 0.0453	0.697 0.0251	1 0	0.6643 0.0361	0.6334 0.0493	0.6544 0.0401
HCO ₃ ⁼	0.8922 0.0005	0.5909 0.072	0.9911 0	0.991 0	0.8886 0.0006	0.0614 0.8661	0.9794 0	0.9592 0	0.9896 0	0.9691 0	0.9674 0	0.6643 0.0361	1 0	0.9867 0	0.985 0
SO ₄ ⁼	0.8756 0.0009	0.6534 0.0405	0.9891 0	0.9966 0	0.8785 0.0008	0.0076 0.9834	0.9984 0	0.9895 0	0.9982 0	0.9947 0	0.9898 0	0.6334 0.0493	0.9867 0	1 0	0.9994 0
SAS2	0.8593 0.0014	0.6457 0.0437	0.9898 0	0.994 0	0.8724 0.001	-0.023 0.9498	0.9986 0	0.9925 0	0.9973 0	0.9962 0	0.9941 0	0.6544 0.0401	0.985 0	0.9994 0	1 0
CORR +	12	9	12	12	12	0	13	13	13	13	12	9	12	13	13
CORR -	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. TOT.	12	9	12	12	12	0	13	13	13	13	12	9	12	13	13

(Se reportan el coeficiente de correlación y la confianza estadística. En todos los casos n = 10)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA 16. MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE EL CUARTO GRUPO DE VARIABLES DE LA CALICATA 114.

	DA	MO	LIMO	Are+Li	Li+Arc	VA (ml)	SCI	SCI-CICT	pH A 1:10	pH KCl 1:5	pH Ext.	Na Int.	Ca Sol.	SO4=	SAS2
DA	1 0	-0.6967 0.0252	0.1709 0.6368	0.2849 0.425	-0.047 0.8975	-0.902 0.0004	0.0538 0.8827	0.0233 0.949	-0.0624 0.8641	0.1064 0.7698	-0.0306 0.9331	-0.0826 0.8206	0.0406 0.9113	-0.0893 0.8063	-0.0942 0.7958
MO	-0.6967 0.0252	1 0	0.5215 0.1222	0.3544 0.315	0.5773 0.0806	0.699 0.0245	0.4014 0.2502	0.4421 0.2007	0.3111 0.3817	0.4134 0.235	-0.4846 0.1557	0.4303 0.2146	0.469 0.1715	0.415 0.233	0.4056 0.2449
LIMO	0.1709 0.6368	0.5215 0.1222	1 0	0.9018 0.0004	0.796 0.0059	0.0328 0.9283	0.8123 0.0043	0.8325 0.0028	0.5465 0.1021	0.8031 0.0051	-0.8086 0.0046	0.7228 0.0182	0.545 0.1033	0.6906 0.027	0.6742 0.0325
Are+Li	0.2849 0.425	0.3544 0.315	0.9018 0.0004	1 0	0.4563 0.185	-0.0716 0.8443	0.8133 0.0042	0.8017 0.0053	0.2199 0.5416	0.5476 0.1013	-0.7292 0.0167	0.6926 0.0264	0.2556 0.476	0.6769 0.0316	0.6735 0.0328
Li+Arc	-0.047 0.8975	0.5773 0.0806	0.796 0.0059	0.4563 0.185	1 0	0.1678 0.6432	0.5334 0.1123	0.5913 0.0718	0.8173 0.0039	0.8866 0.0006	-0.6437 0.0446	0.5182 0.1249	0.7641 0.0101	0.4741 0.1663	0.4449 0.1976
VA (ml)	-0.902 0.0004	0.699 0.0245	0.0328 0.9283	-0.0716 0.8443	0.1678 0.6432	1 0	0.2968 0.405	0.3103 0.3828	0.2042 0.5715	0.0608 0.8674	-0.2226 0.5364	0.4365 0.2072	-0.1312 0.7178	0.4524 0.1892	0.4591 0.1819
SCI	0.0538 0.8827	0.4014 0.2502	0.8123 0.0043	0.8133 0.0042	0.5334 0.1123	0.2968 0.405	1 0	0.9944 0	0.4971 0.1438	0.6799 0.0305	-0.8522 0.0017	0.9795 0	0.1359 0.7081	0.9723 0	0.969 0
SCI-CICT	0.0233 0.949	0.4421 0.2007	0.8325 0.0028	0.8017 0.0053	0.5913 0.0718	0.3103 0.3828	0.9944 0	1 0	0.5484 0.1007	0.7323 0.016	-0.8882 0.0006	0.976 0	0.2152 0.5504	0.9628 0	0.9572 0
pH A 1:10	-0.0624 0.8641	0.3111 0.3817	0.5465 0.1021	0.2199 0.5416	0.8173 0.0039	0.2042 0.5715	0.4971 0.1438	0.5484 0.1007	1 0	0.8945 0.0005	-0.4868 0.1536	0.5556 0.0954	0.5183 0.1249	0.5081 0.1338	0.481 0.1593
pH KCl 1:5	0.1064 0.7698	0.4134 0.235	0.8031 0.0051	0.5476 0.1013	0.8866 0.0006	0.0608 0.8674	0.6799 0.0305	0.7323 0.016	0.8945 0.0005	1 0	-0.7474 0.013	0.6643 0.0362	0.6965 0.0252	0.6127 0.0597	0.5856 0.0753
pH Ext.	-0.0306 0.9331	-0.4846 0.1557	-0.8086 0.0046	-0.7292 0.0167	-0.6437 0.0446	-0.2226 0.5364	-0.8522 0.0017	-0.8882 0.0006	-0.4868 0.1536	-0.7474 0.013	1 0	-0.8127 0.0043	-0.4248 0.2211	-0.7958 0.0059	-0.787 0.0069
Na Int.	-0.0826 0.8206	0.4303 0.2146	0.7228 0.0182	0.6926 0.0264	0.5182 0.1249	0.4365 0.2072	0.9795 0	0.976 0	0.5556 0.0954	0.6643 0.0362	-0.8127 0.0043	1 0	0.0698 0.8481	0.9966 0	0.994 0
Ca Sol.	0.0406 0.9113	0.469 0.1715	0.545 0.1033	0.2556 0.476	0.7641 0.0101	-0.1312 0.7178	0.1359 0.7081	0.2152 0.5504	0.5183 0.1249	0.6965 0.0252	-0.4248 0.2211	0.0698 0.8481	1 0	0.0076 0.9834	-0.023 0.9498
SO4=	-0.0893 0.8063	0.415 0.233	0.6906 0.027	0.6769 0.0316	0.4741 0.1663	0.4524 0.1892	0.9723 0	0.9628 0	0.5081 0.1338	0.6127 0.0597	-0.7958 0.0059	0.9966 0	0.0076 0.9834	1 0	0.9994 0
SAS2	-0.0942 0.7958	0.4056 0.2449	0.6742 0.0325	0.6735 0.0328	0.4449 0.1976	0.4591 0.1819	0.969 0	0.9572 0	0.481 0.1593	0.5856 0.0753	-0.787 0.0069	0.994 0	-0.023 0.9498	0.9994 0	1 0
CORR +	0	1	8	6	4	1	7	7	2	7	0	7	2	6	6
CORR -	2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	1	0	1	1
C. TOT.	2	2	9	7	5	2	8	8	2	8	9	8	2	7	7

(Se reportan el coeficiente de correlación y la confianza estadística. En todos los casos n = 10)

En las Figuras 16a y 16b se observa que las curvas de SCS2 y SAS2 son muy parecidas, considerándose las diferencias en el **balance cationes-aniones solubles** debidas al inevitable error en los análisis, pero también por la materia orgánica soluble que pudo verse en los extractos, adicional a esto, faltaron determinarse otros aniones que pueden estar influenciando tales diferencias, como PO_4^{-3} , NO_3^- , NO_2^- y NH_3^+ . Según la Tabla 11, $\text{SCS2} > \text{SAS2}$ (totales), pero observando la misma y la Figura 16b, se aprecia que $\text{SCS2} > \text{SAS2}$ en solo 3 profundidades, y en el resto predominan los aniones solubles; esto se considera de interés como se verá posteriormente en los ACP, para explicar la tendencia inversa entre pH Extracto y los otros 4 pH's

Considerando a la expresión **SCI-CICT** como la cantidad de cationes solubles totales y a **SCS2** como la cantidad de cationes solubles que pueden removerse del suelo cuando éste se humedece a capacidad de campo, entonces, al comparar la curva de SCI-CICT contra la de SCS2 (Fig. 16a, Tabla 11), se observa que el suelo está sobresaturado con sales; que éstas no se remueven con un solo lavado a capacidad de campo, sino que según las proporciones SCI-CICT/SCS2 (Tabla 11), el número de lavados teóricos para eliminar las sales va desde 2 (0-10 cm) hasta 11 (60-70 cm), con un mínimo óptimo (promedio) de 8 lavados por cada capa de 10 cm.

5.1.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA CALICATA 114 A PARTIR DE LOS ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

5.1.2.1 Primer Grupo de Variables

En la Tabla 17 se reportan el porcentaje de *varianza explicada* de los datos originales según el número de componente y la *varianza porcentual acumulada* considerando "n" componentes. En los 3 primeros componentes se concentra el 93.94 % de la varianza de los resultados, y hasta el 5° componente se obtiene el 99.27 % de la misma. Esto último permite reconocer que interpretando los 3 primeros componentes, es suficiente para satisfacer las necesidades de análisis del grupo de variables en cuestión, aunque en este primer análisis se interpreta hasta el 5° componente.

En la Tabla 18 se desglosan las varianzas explicadas de cada variable original por cada componente principal (C1, C2...C8).

Tanto en la Tabla 19 como en la Figura 17 se observa que las variables más asociadas al **CP1** son las fracciones de la textura y sus combinaciones; también se asocia al mismo la CICT. En este componente, las variables con una asociación más estrecha son las que están en el sentido negativo del eje: Limo, Li+MO, Are+Li, CICT y Li+Arc (correlación positiva entre ellas); como otro grupo, en el otro extremo del eje, están Arcilla y Arc+MO (correlación positiva también); entre ambos grupos de variables hay correlación negativa, lo cual puede corroborarse en la Tabla 13. La variable Arena, aunque está asociada al CP1 del lado de la Arcilla, se ve como una variable aislada, que se demuestra tiene pocas correlaciones significativas (Tabla 13).

Se aprecia además, que de acuerdo con los resultados de este trabajo, las variables Li+MO y Arc+MO no tienen un significado propio, porque simultáneamente se asocian y correlacionan significativamente hacia las fracciones de Limo y Arcilla respectivamente, lo cual es contradictorio, y al observar la Tabla 13 con detalle, puede reconocerse que las primeras tienen el mismo número y tipo de correlaciones (se correlacionan con las mismas variables) que las segundas, y en general con menor valor absoluto en los coeficientes de correlación.

TABLA 17. VARIACIÓN EXPLICADA DE LAS VARIABLES DEL PRIMER GRUPO (C 114), SEGÚN LOS C.P.'s GENERADOS.

Núm. Comp.	Varianza Exp. (%)	Porcentaje Acumulado
1	45.01773	45.01773
2	36.12958	81.14730
3	12.79260	93.93990
4	3.40431	97.34421
5	1.92813	99.27234
6	0.56817	99.84051
7	0.10370	99.94420
8	0.05502	99.99922
9	0.00078	100.00000
10	0.00000	100.00000
11	0.00000	100.00000
12	0.00000	100.00000
13	0.00000	100.00000
14	0.00000	100.00000
15	0.00000	100.00000

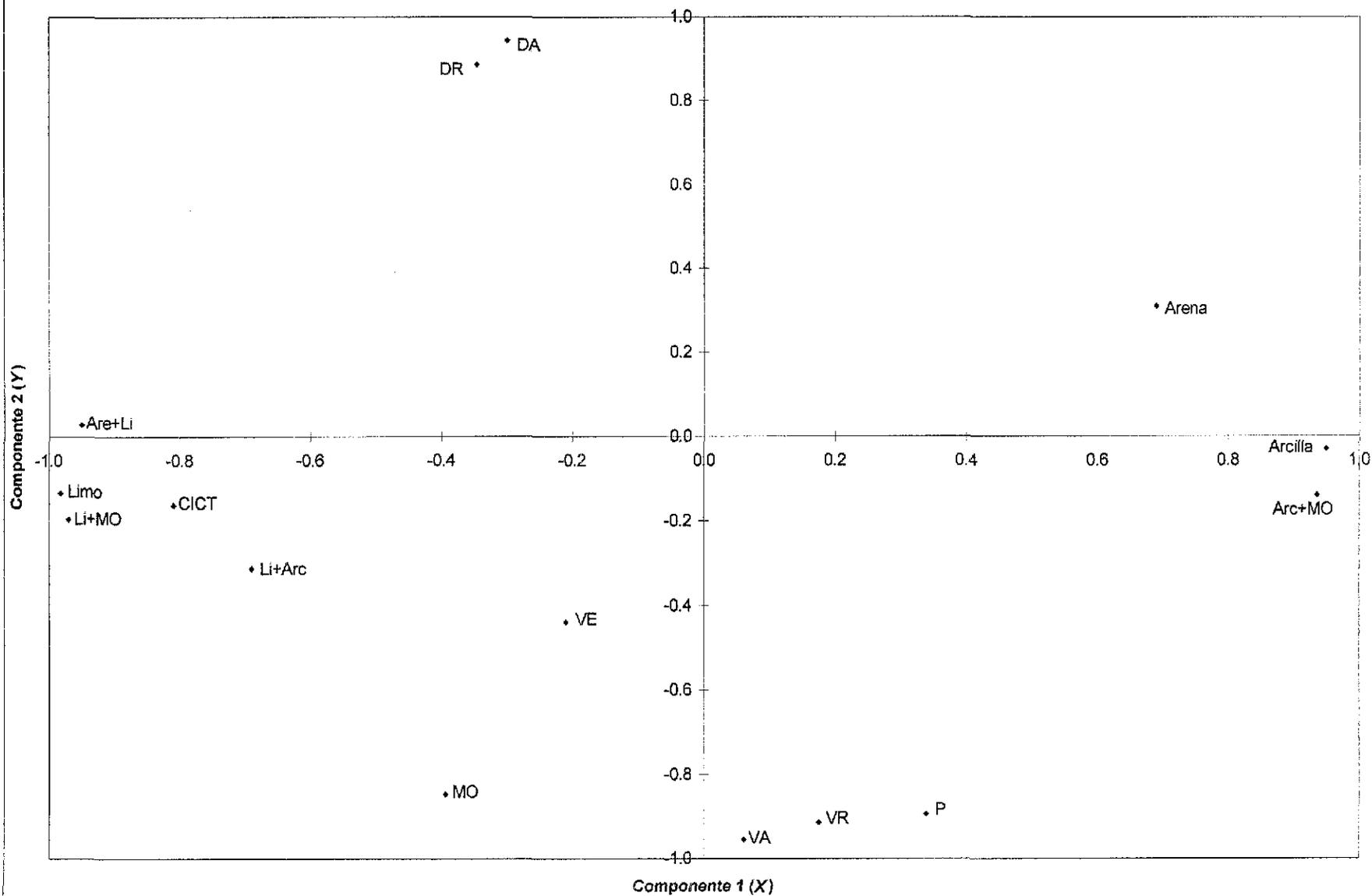
TABLA 18. VARIANZA EXPLICADA (%) DE CADA VARIABLE ORIGINAL POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL (Primer grupo de variables)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	TOTAL
D.A.	9.0	89.4	0.2	1.1	0.0	0.0	0.3	0.0	99.99
D.R.	12.0	78.7	0.0	5.4	0.0	3.7	0.0	0.1	100.00
P	11.5	79.8	4.4	0.6	2.3	0.9	0.3	0.2	100.00
M.O.	15.5	71.4	2.4	7.1	0.1	3.3	0.1	0.2	100.00
Arena	47.6	9.6	37.8	2.5	2.4	0.1	0.0	0.0	100.00
Limo	96.3	1.7	1.6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	100.00
Arcilla	90.3	0.1	6.3	2.8	0.4	0.0	0.0	0.0	100.00
Are + Li	90.3	0.1	6.3	2.8	0.4	0.0	0.0	0.0	100.00
Li + Arc	47.6	9.6	37.8	2.5	2.4	0.1	0.0	0.0	100.00
Arc+MO	87.6	1.9	7.8	2.0	0.4	0.2	0.0	0.0	100.00
Li + MO	94.1	3.7	1.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	100.00
VA	0.4	91.0	2.9	4.5	0.9	0.0	0.2	0.0	100.00
VE	4.4	19.1	64.0	2.8	9.4	0.0	0.2	0.0	100.00
VR	3.1	83.2	3.7	2.9	7.0	0.0	0.1	0.1	100.00
CICT	65.4	2.6	14.9	13.5	2.9	0.1	0.3	0.2	100.00

TABLA 19. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES ORIGINALES CON LOS COMPONENTES PRINCIPALES (Primer grupo de variables)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
D.A.	-0.2996	0.9454	0.0401	0.1046	0.0047	0.0193	-0.0579	-0.0023
D.R.	-0.3469	0.8870	-0.0196	0.2322	-0.0090	0.1930	-0.0056	-0.0347
P	0.3392	-0.8936	-0.2096	-0.0805	-0.1506	0.0936	0.0525	-0.0428
M.O.	-0.3942	-0.8449	0.1535	-0.2660	0.0311	0.1803	-0.0365	0.0410
Arena	0.6900	0.3103	-0.6146	-0.1582	0.1560	0.0227	-0.0049	0.0000
Limo	-0.9816	-0.1309	0.1282	-0.0374	-0.0305	-0.0237	0.0011	-0.0091
Arcilla	0.9504	-0.0292	0.2503	0.1680	-0.0665	0.0187	0.0019	0.0134
Are + Li	-0.9504	0.0292	-0.2503	-0.1680	0.0665	-0.0187	-0.0019	-0.0134
Li + Arc	-0.6900	-0.3103	0.6146	0.1582	-0.1560	-0.0227	0.0049	0.0000
Arc+MO	0.9362	-0.1387	0.2796	0.1403	-0.0651	0.0425	-0.0027	0.0192
Li + MO	-0.9698	-0.1929	0.1349	-0.0571	-0.0267	-0.0082	-0.0019	-0.0054
VA	0.0608	-0.9538	-0.1717	0.2133	0.0944	-0.0199	-0.0434	-0.0180
VE	-0.2098	-0.4372	-0.7998	0.1684	-0.3071	-0.0222	-0.0422	0.0110
VR	0.1758	-0.9122	0.1925	0.1691	0.2636	-0.0126	-0.0305	-0.0267
CICT	-0.8089	-0.1597	-0.3866	0.3678	0.1712	0.0336	0.0585	0.0392

FIGURA 17 .Correlaciones entre Variables Originales y Componentes Principales (Primer Grupo de Variables).



ESTO
ES UN
LIBRO
DE LA
BIBLIOTECA

Para tener mayor certeza para eliminar dichas variables, en la Tabla 14 y el correspondiente ACP, se incluyeron para tratar de ver si tenían un comportamiento distinto al compararlas con otras variables, pero se observó la misma tendencia, lo cual corroboró que podían eliminarse; sin embargo, la variable Li+MO tuvo más significado, porque el Limo solo se manifestó más asociado con la MO, que la Arcilla sola con la MO; a pesar de ello, se decidió considerar al Limo y a la MO como variables separadas y eliminar a Li+MO y Arc+MO.

En contraste, las variables Arc+Li y Li+Arc, a pesar de verse asociadas al Limo en el CP1 (Fig 17), sí tuvieron un comportamiento distinto de este último al compararse con otras variables, como puede observarse en la Figura 18 y la Tabla 14. Observando el mismo CP1, se aprecia que la CICT se relaciona más al Limo que a la MO o la Arcilla. Esta aparente incongruencia se aclarará más adelante.

Por otro lado, las variables asociadas al 2° componente son DA, DR, P, MO, VA y VR; la asociación positiva entre variables es: DA-DR ó MO-P-VA-VR; entre dichos grupos la correlación es negativa (Tabla 13). Todo esto se interpreta de la siguiente manera: *a mayor contenido de MO, menores serán los valores de DA y DR y mayor será la Porosidad; adicionalmente, a mayores valores de MO y P, mayores valores de VA y VR se observarán* (Jeffers, 1978; Pla, 1986; Popma, 1988; Porta, *et al.*, 1994).

Aunque los componentes 3, 4 y 5 no se graficaron, su interpretación se facilita al observar en la Tabla 18 cuáles variables son las que están más explicadas por cada uno de ellos, y en la Tabla 19 se reconocen las relaciones positivas o negativas entre variables originales, según el extremo que ocupen en cada componente.

En el CP3 se asocian especialmente las variables VE, Arena y Li+Arc; en el extremo positivo del eje se encuentra Li+Arc y del lado negativo están Arena y VE, lo cual es congruente al considerar que cuanto mayor contenido exista de arena, mayor VE se obtendrá, y cuando el contenido de Li+Arc sea mayor, menor será VE.

En el CP4 se observa a la CICT como una variable aislada.

Como información todavía útil, aportada por el CP5, destaca la asociación de VE y VR en los extremos de éste, lo cual indica una relación inversa entre dichas variables, lo que es lógico, porque a mayor volumen retenido de agua por el suelo, menor volumen de extracto se obtiene. Esta relación no pudo reconocerse mediante el Análisis de Correlación Múltiple, lo cual resalta la mayor potencialidad del ACP.

5.1.2.2 Segundo Grupo de Variables

En la Tabla 20 se observa que la varianza explicada (variables de la Tabla 14) por los 2 primeros CP's es del 86.81 %, mientras que considerando 3 de ellos, la varianza que se explica es del 92.87%, lo que es aceptable y significativo para la interpretación de los resultados originales, en tanto que la información restante puede considerarse errónea o redundante.

Puede decirse que todas las variables están asociadas al CP1 (Tablas 21, 22 y Fig. 18) pero en grado diferente, resaltando que las variables que menos lo están son la MO y los pH's con agua, los cuales se asocian ligeramente más al segundo componente que al primero. Las variables con más peso en el

TABLA 20. VARIACIÓN EXPLICADA DE LAS VARIABLES DEL SEGUNDO GRUPO (C 114), SEGÚN LOS C.P.'s GENERADOS.

Núm. Comp.	Varianza Exp. (%)	Porcentaje Acumulado
1	69.38696	69.38696
2	17.41962	86.80658
3	6.06577	92.87235
4	4.39406	97.26641
5	1.79307	99.05948
6	0.71722	99.77671
7	0.17408	99.95079
8	0.04890	99.99969
9	0.00018	99.99987
10	0.00012	99.99999
11	0.00001	100.00000
12	0.00000	100.00000
13	0.00000	100.00000
14	0.00000	100.00000
15	0.00000	100.00000

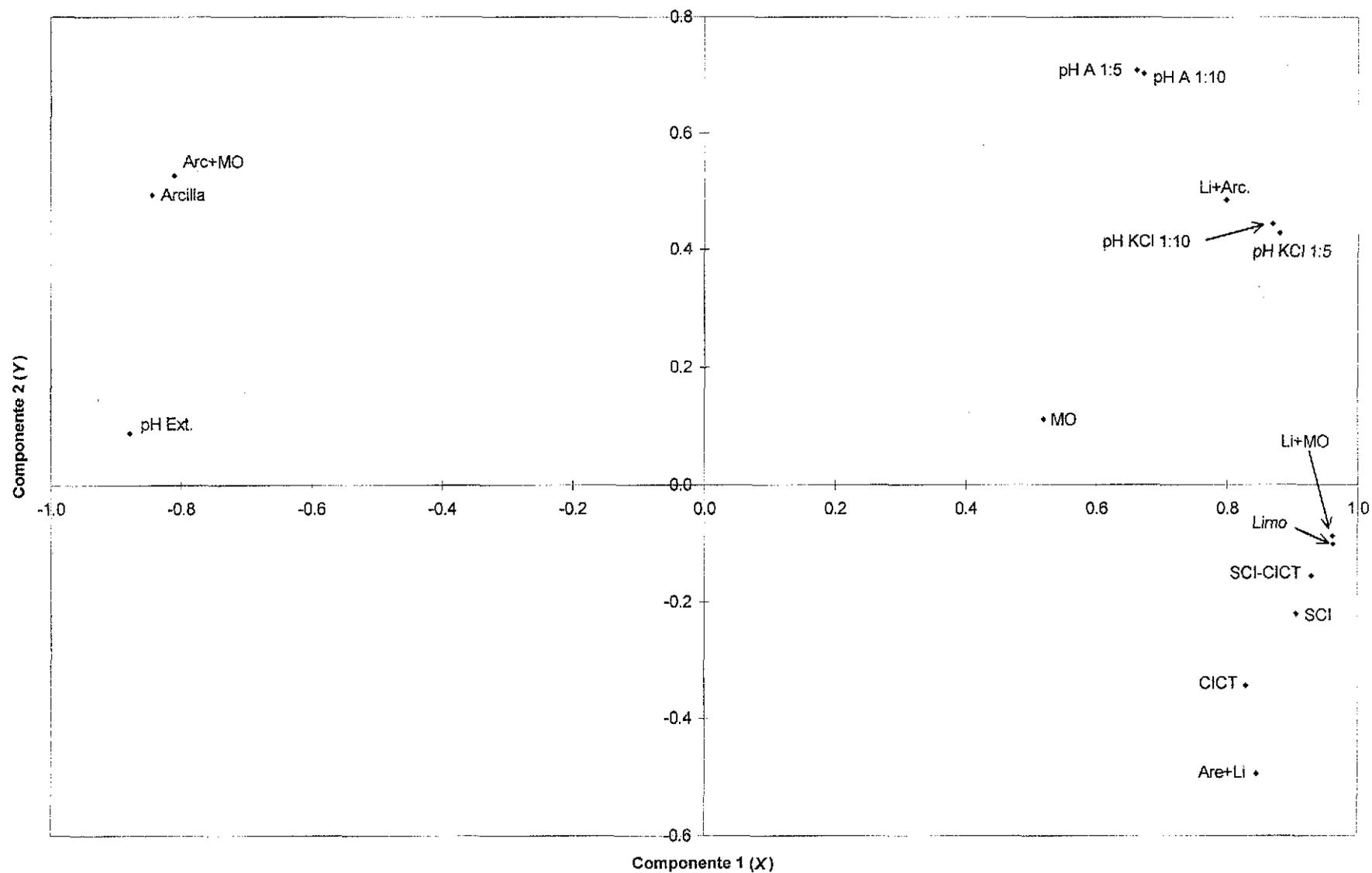
TABLA 21. VARIANZA EXPLICADA (%) DE CADA VARIABLE ORIGINAL POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL (Segundo grupo de variables)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	TOTAL
M.O.	27.0	1.3	58.9	10.7	1.2	1.0	0.0	0.0	100.00
Limo	92.7	1.0	1.8	4.0	0.1	0.5	0.0	0.0	100.00
Arcilla	71.4	24.4	0.1	3.5	0.2	0.3	0.0	0.0	100.00
Are+Li	71.4	24.4	0.1	3.5	0.2	0.3	0.0	0.0	100.00
Li+Arc	63.8	23.5	5.5	2.2	0.0	4.9	0.1	0.0	100.00
Arc+MO	65.7	27.8	0.5	5.6	0.1	0.2	0.1	0.0	100.00
Li+MO	92.5	0.8	3.6	2.7	0.1	0.3	0.0	0.0	100.00
SCI	82.1	4.9	3.6	9.0	0.2	0.1	0.0	0.0	100.00
CICT	68.9	11.9	6.6	9.5	2.3	0.3	0.3	0.3	100.00
SCI-CICT	86.4	2.4	2.3	8.5	0.0	0.0	0.0	0.3	100.00
pH A 1:5	43.7	50.4	3.5	0.0	2.1	0.0	0.3	0.0	100.00
pH A 1:10	45.2	49.5	3.4	0.0	1.1	0.2	0.5	0.0	100.00
pH KCl 5	77.4	18.4	0.6	1.0	1.0	1.2	0.5	0.0	100.00
pH KCl 10	75.6	19.8	0.6	1.3	0.9	1.4	0.4	0.0	100.00
pH Ext.	77.2	0.8	0.1	4.2	17.3	0.1	0.3	0.1	100.00

TABLA 22. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES ORIGINALES CON LOS COMPONENTES PRINCIPALES (Segundo grupo de variables)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
M.O.	0.5197	0.1124	-0.7674	-0.3268	0.1075	0.0998	0.0039	-0.0054
Limo	0.9626	-0.1005	-0.1332	0.2001	0.0244	-0.0700	0.0009	0.0014
Arcilla	-0.8450	0.4941	0.0283	-0.1882	-0.0471	-0.0545	-0.0220	0.0016
Are+Li	0.8450	-0.4941	-0.0283	0.1882	0.0471	0.0544	0.0220	-0.0017
Li+Arc	0.7986	0.4852	-0.2346	0.1485	-0.0157	-0.2205	-0.0292	0.0053
Arc+MO	-0.8106	0.5274	-0.0690	-0.2373	-0.0351	-0.0437	-0.0224	0.0008
Li+MO	0.9618	-0.0870	-0.1889	0.1650	0.0320	-0.0590	0.0011	0.0011
SCI	0.9061	-0.2212	0.1891	-0.3008	0.0479	-0.0286	-0.0156	0.0213
CICT	0.8300	-0.3443	0.2565	-0.3080	0.1531	-0.0561	-0.0519	-0.0518
SCI-CICT	0.9294	-0.1553	0.1519	-0.2922	-0.0060	-0.0143	0.0033	0.0580
pH A 1:5	0.6609	0.7101	0.1873	-0.0054	0.1434	-0.0038	0.0558	-0.0127
pH A 1:10	0.6720	0.7038	0.1838	-0.0221	0.1056	0.0485	0.0726	-0.0019
pH KCl 5	0.8796	0.4287	0.0772	0.0995	-0.1001	0.1090	-0.0690	-0.0018
pH KCl 10	0.8693	0.4448	0.0785	0.1143	-0.0950	0.1174	-0.0661	0.0023
pH Ext.	-0.8786	0.0893	0.0237	0.2041	0.4163	0.0243	-0.0575	0.0243

FIGURA 18 .Correlaciones entre Variables Originales y Componentes Principales
(Segundo Grupo de Variables)



extremo positivo del CP1 son: Limo, SCI-CICT, SCI, pH KCl 1:5, pH KCl 1:10, Arc+Li, CICT, Li+Arc, pH A 1:10 y pH A 1:5; en su extremo negativo están: pH Extracto y Arcilla. Como se dijo antes, Arc+MO y Li+MO se eliminan.

Como subgrupos de variables asociadas al CP2 están en su extremo positivo: pH A 1:5, pH A 1:10, Arcilla, Li+Arc, pH KCl 1:10 y pH KCl 1:5; en el extremo negativo están: Arc+Li, CICT y SCI.

Desde el ACPI, el Limo es importante, pues predomina sobre las demás variables; la MO está muy asociada con éste, aunque de manera no muy cercana, pero siempre del mismo sentido en cualquier componente donde se ubique el Limo. Contrario a como se esperaba, la CICT no se asoció con la Arcilla o Arc+MO, sino más bien con el Limo, MO y Arc+Li. Las razones para tratar de explicar esto son

1. Los contenidos de MO son altos y muy posiblemente no fue completamente eliminada de las muestras de suelo para análisis de textura, de manera que ésta haya formado microagregados con la arcilla, impidiendo una cuantificación exacta del Limo (sobrestimándolo), produciendo que dichos agregados quedasen incluidos dentro de la mencionada fracción textural, y con una elevada CICT (a causa de la MO).
2. Como se mencionó anteriormente, los cationes intercambiables determinados corresponden más bien a la suma intercambiables + solubles, lo cual impide evaluar apropiadamente las importancias relativas de la MO y la Arcilla en cuanto a la CICT.
3. Dado que con el Limo se asocian cercanamente SCI y SCI-CICT entonces, dicha fracción también pudiera estar influenciada por el contenido de sales, por considerar que el suelo está sobresaturado por éstas, de las cuales es probable que muchas estén cristalizadas, que sean poco solubles y estén siendo cuantificadas dentro de la fracción Limo, o que estén floculando a la arcilla, haciéndola pasar por Limo (Porta, *et al.*, 1994).
4. Como los cationes intercambiables y solubles (SCI y SCI-CICT) están hacia el extremo positivo del CP1 (ACP2), al igual que los pH's con agua y KCl, ello denota la correlación positiva y lógica entre dichas variables; análogamente, hacia el lado positivo del CP2 están los mismos pH's y las fracciones Arcilla, Li+Arc y MO (que incluyen a los coloides del suelo), lo cual también es lógico al pensar que los cationes liberados de dichas fracciones (especialmente Li+Arc en la Figura 18) al agregar el agua o la solución de KCl, van a modificar el pH de la solución del suelo. Es muy probable que si se hubiera incluido la variable Li+Arc+MO, ésta hubiese tenido una asociación mayor y simultánea tanto a los pH's antes mencionados, como a las variables SCI, SCI-CICT y demás iones involucrados.

El hecho de que el pH del Extracto esté opuesto a los otros 4 en el CP1, se explica debido a la MO, porque el contenido de ésta en las capas superficiales es mayor (0-50 cm, prom. = 10.87 %) que en las subyacentes (50-100 cm, prom. = 9.43 %), y porque en los extractos se observó MO soluble. Como se sabe, el Na^+ (altamente presente en las muestras analizadas) dispersa a la MO, la cual puede capturar a los diferentes cationes solubles en los extractos, especialmente el Ca^{++} ; la MO soluble es móvil y se desplaza igual que otros iones hacia la superficie, por ello, se aprecia un incremento abrupto en la CICT de 10-20 cm a 0-10 cm de profundidad (Figura 12).

Lo anterior se ve reforzado en el CP4 (Tabla 21), porque la MO es importante (varianza explicada = 10.7 %, la mayor) y en ambos componentes (1 y 4), la MO está del mismo sentido (asociada) respecto a SCI, CICT, SCI-CICT, y con una correlación negativa de todas éstas en relación al pH del Extracto. El CP3 muestra a la MO como una variable aislada.

5.1.2.3 Tercer Grupo de Variables

En la Tabla 23 se observa que los 2 primeros CP's sintetizan el 93.81 % de la varianza explicada de las variables de la Tabla 15, por lo que sólo se interpretarán dichos componentes. Puede decirse que a excepción del Ca^{++} soluble, todas las variables están correlacionadas al CP1 (Tabla 24); en este caso resalta la muy alta asociación entre 10 de las variables (extremo positivo del CP1, Tabla 25 y Fig. 19): K^+ Sol, Na^+ Int., Mg^{++} Sol., SO_4^- , Mg^{++} Int., SAS2, SCS2, HCO_3^- , Na^+ Sol. y Cl. La asociación entre ellas es congruente al considerar que se trata de cationes solubles e intercambiables, aniones solubles y las sumas de cationes y aniones solubles.

Como asociación más estrecha entre variables (Fig.19), se observan las relaciones: SCS2-SAS2, $\text{SO}_4^- - \text{Mg}^{++}$ Sol. ó Mg^{++} Int., $\text{HCO}_3^- - \text{K}^+$ Sol. ó Na^+ Int. y Na^+ Sol. - Cl. La asociación entre pares de variables se interpreta debida a la afinidad química de los iones por sus cargas eléctricas opuestas, así como por sus concentraciones.

La fuerte asociación entre las 10 variables antes mencionadas resalta la alta salinidad y sodicidad del suelo, lo cual es corroborado por la asociación de la conductividad eléctrica y los pH's con agua y KCl a tales variables (CP1, Figuras 18, 19 y Tablas 14, 15, 21, 24, 25)

Las variables que fundamentalmente definen al CP2 son: Ca^{++} Sol., CO_3^- , Ca^{++} Int. y CE (Tabla 24, Fig. 19). El hecho de que el Ca^{++} Sol. esté aislado se atribuye a la presencia de la MO soluble; la asociación positiva entre Ca^{++} Sol. - Ca^{++} Int. (en el C2) es lógica por el equilibrio químico que se da entre ambas formas iónicas; la correlación negativa de éstas con CO_3^- también es congruente si se considera que a mayor concentración de carbonatos, menores concentraciones de calcio soluble o intercambiable se encontrarán (Richards, 1985; Ortega, 1987; Bohn, *et al.*, 1993; Porta, *et al.*, 1994).

5.1.2.4 Cuarto Grupo de Variables

Como puede observarse en la Tabla 26, en los 3 primeros componentes se explica el 90.76 % de la varianza de los datos originales correspondientes a las variables de la Tabla 16, por consiguiente, sólo se interpretarán dichos componentes.

En la Tabla 27 y en la Figura 20, se aprecia que las variables más asociadas al CP1 son: SCI-CICT, SCL, Na^+ Int., SO_4^- , pH Ext., Limo, SAS2 y pH KCl 1.5, y en menor grado: Arc+Li, Li+Arc, pH A 1-10 y MO. Las variables que se reconoce tienen una mayor asociación entre sí según la misma figura y la Tabla 28 son:

- 1) Los cationes "intercambiables" (SCI) y solubles (SCI-CICT, SAS2, SO_4^- , etc.) y Na^+ Int.;
- 2) Las fracciones texturales (Limo, Arc+Li y Li+Arc),
- 3) Los pH's: pH KCl 1.5, pH A 1-10.

Estas relaciones son congruentes porque se refleja la alta concentración de sales en el suelo, que coincide a su vez con pH's altos (aún el del extracto) y las sales se correlacionan con los coloides del suelo: Arcilla, MO y "Limo" (éste muy relacionado a la MO) (Richards, 1985; Bohn, *et al.*, 1993; Porta, *et al.*, 1994)

En el CP2 están representados fundamentalmente DA, VA y MO, cuya relación ya se explicó desde el primer ACP; en este mismo componente está algo explicada la varianza del calcio soluble, cuyas variaciones en los extractos se atribuyó a la MO soluble; esta aseveración tiene sentido al observar a

TABLA 23. VARIACIÓN EXPLICADA DE LAS VARIABLES DEL TERCER GRUPO (C 114), SEGÚN LOS C.P.'s GENERADOS.

Núm. Comp.	Varianza Exp. (%)	Porcentaje Acumulado
1	82.51616	82.51616
2	11.29365	93.80981
3	3.26138	97.07120
4	2.47628	99.54748
5	0.31313	99.86061
6	0.08790	99.94851
7	0.03401	99.98252
8	0.01543	99.99796
9	0.00203	99.99999
10	0.00001	100.00000
11	0.00000	100.00000
12	0.00000	100.00000
13	0.00000	100.00000
14	0.00000	100.00000
15	0.00000	100.00000

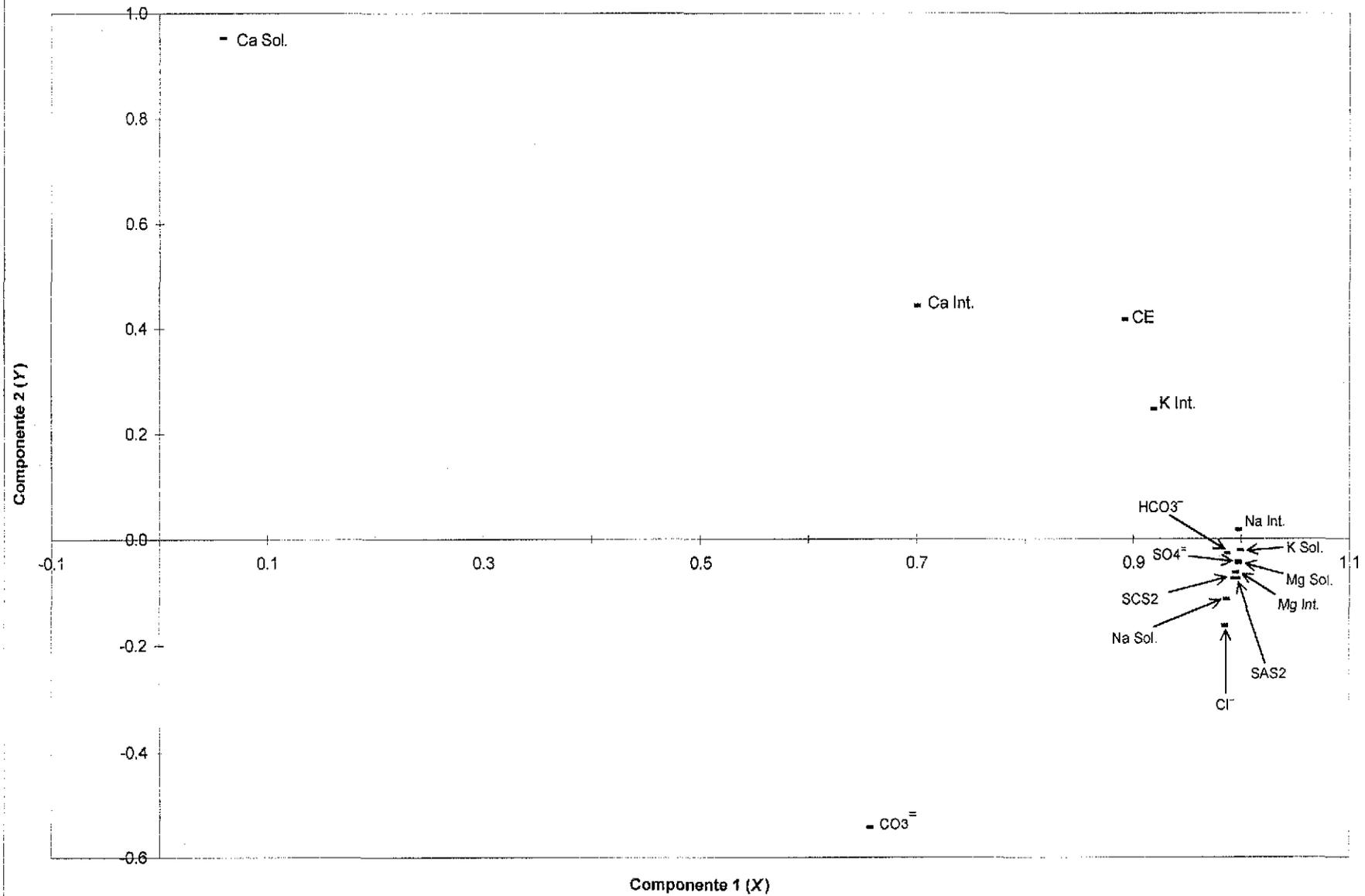
TABLA 24. VARIANZA EXPLICADA (%) DE CADA VARIABLE ORIGINAL POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL (Tercer grupo de variables)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	TOTAL
CE	79.3	17.4	1.4	1.5	0.0	0.1	0.3	0.0	100.00
Ca Int.	48.8	19.7	17.4	13.9	0.1	0.1	0.0	0.0	100.00
Mg Int.	98.5	0.4	0.5	0.0	0.3	0.1	0.1	0.1	100.00
Na Int.	99.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	0.0	0.0	100.00
K Int.	84.1	6.0	2.2	4.8	2.7	0.1	0.0	0.0	100.00
Ca Sol.	0.3	90.8	8.3	0.0	0.5	0.1	0.1	0.0	100.00
Mg Sol.	99.0	0.2	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	100.00
Na Sol.	96.8	1.3	1.6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	100.00
K Sol.	99.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	99.99
SCS2	98.1	0.6	1.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	100.00
Cl ⁻	96.6	2.7	0.4	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	100.00
CO ₃ ⁼	42.9	29.5	14.4	12.6	0.7	0.0	0.0	0.0	100.00
HCO ₃ ⁻	97.0	0.1	1.3	1.2	0.0	0.3	0.1	0.1	99.99
SO ₄ ⁼	98.9	0.2	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	99.99
SAS2	98.8	0.6	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	100.00

TABLA 25. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES ORIGINALES CON LOS COMPONENTES PRINCIPALES (Tercer grupo de variables)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
CE	0.8906	0.4171	0.1163	0.1233	-0.0219	0.0255	-0.0544	-0.0033
Ca Int.	0.6989	0.4434	-0.4168	-0.3729	-0.0352	0.0308	0.0020	-0.0006
Mg Int.	0.9924	-0.0631	0.0709	0.0170	0.0545	0.0375	0.0226	-0.0301
Na Int.	0.9951	0.0168	-0.0039	0.0883	0.0108	0.0395	-0.0022	-0.0003
K Int.	0.9168	0.2456	0.1497	-0.2194	0.1656	-0.0328	-0.0070	0.0090
Ca Sol.	0.0568	0.9527	0.2882	0.0020	-0.0693	-0.0242	0.0247	-0.0011
Mg Sol.	0.9952	-0.0452	-0.0605	0.0540	-0.0244	-0.0173	-0.0018	-0.0017
Na Sol.	0.9840	-0.1134	-0.1253	0.0261	-0.0351	-0.0347	-0.0014	0.0102
K Sol.	0.9969	-0.0218	0.0107	0.0658	-0.0200	-0.0183	0.0074	-0.0163
SCS2	0.9907	-0.0752	-0.0983	0.0360	-0.0325	-0.0290	-0.0014	0.0061
Cl ⁻	0.9831	-0.1642	-0.0667	0.0318	-0.0095	-0.0286	0.0149	-0.0007
CO ₃ ⁼	0.6549	-0.5431	0.3790	-0.3547	-0.0809	0.0061	-0.0076	-0.0008
HCO ₃ ⁻	0.9850	-0.0273	0.1126	0.1074	0.0038	0.0563	0.0243	0.0301
SO ₄ ⁼	0.9946	-0.0435	-0.0265	0.0887	0.0020	-0.0104	-0.0054	-0.0014
SAS2	0.9939	-0.0750	-0.0294	0.0739	-0.0011	-0.0121	0.0007	0.0002

FIGURA 19 .Correlaciones entre Variables Originales y Componentes Principales (Tercer Grupo de Variables).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 26. VARIACIÓN EXPLICADA DE LAS VARIABLES DEL CUARTO GRUPO (C 114), SEGÚN LOS C.P.'s GENERADOS.

Núm. Comp.	Varianza Exp. (%)	Porcentaje Acumulado
1	59.31138	59.31138
2	16.89373	76.20512
3	14.55162	90.75674
4	6.09711	96.85385
5	1.74932	98.60317
6	0.69286	99.29603
7	0.48876	99.78479
8	0.15451	99.93930
9	0.06070	100.00000
10	0.00000	100.00000
11	0.00000	100.00000
12	0.00000	100.00000
13	0.00000	100.00000
14	0.00000	100.00000
15	0.00000	100.00000

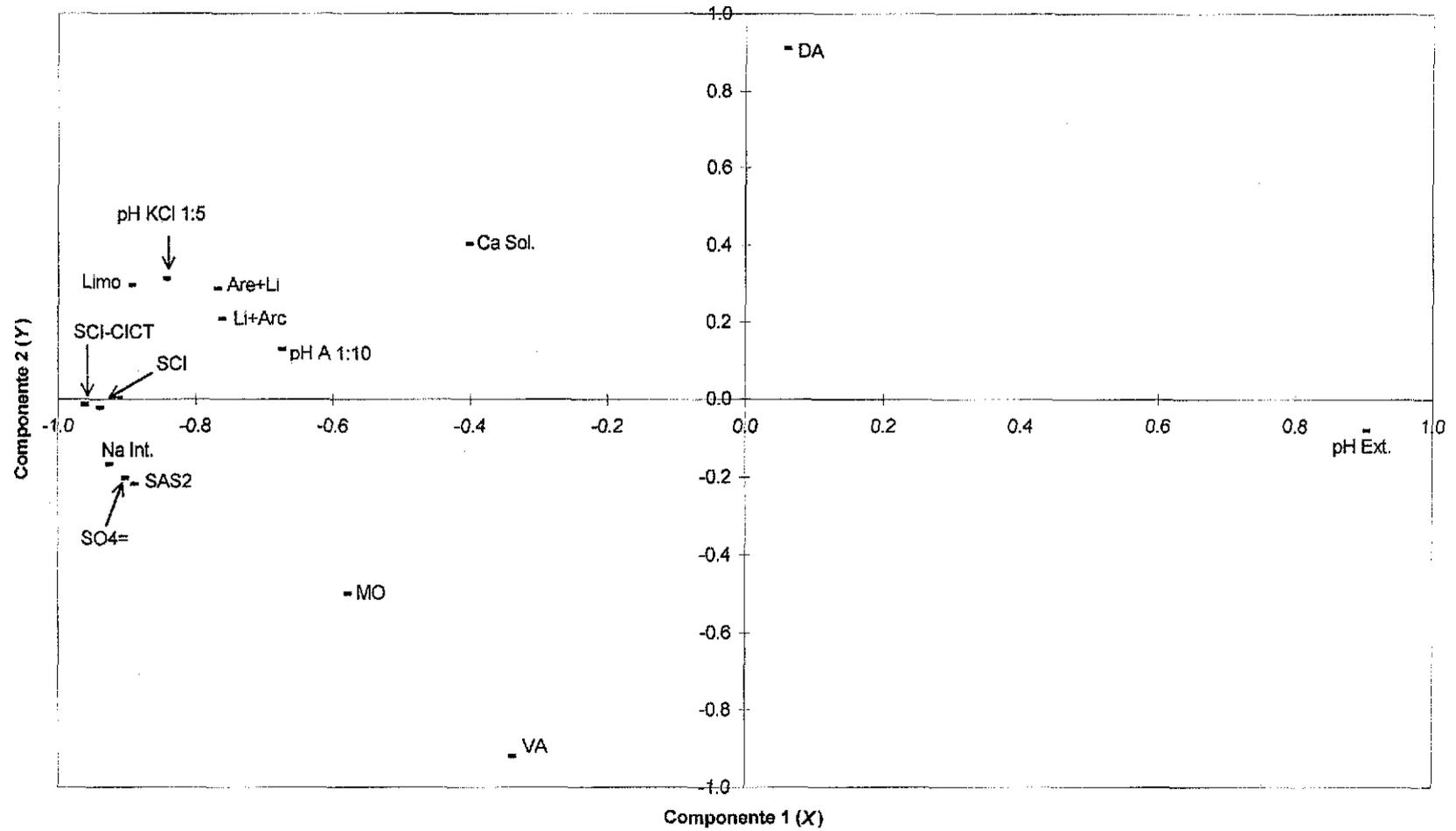
TABLA 27. VARIANZA EXPLICADA (%) DE CADA VARIABLE ORIGINAL POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL (Cuarto grupo de variables)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	TOTAL
DA	0.3	82.7	15.0	0.4	0.0	0.5	0.7	0.1	0.3	100.00
MO	33.8	25.0	23.5	16.2	0.4	0.1	0.1	0.9	0.0	100.00
LIMO	80.3	8.7	0.5	7.0	3.0	0.3	0.2	0.0	0.0	100.00
Are+Li	59.6	8.1	8.2	19.7	3.1	0.6	0.6	0.1	0.0	100.00
Li+Arc	58.5	4.3	30.2	0.6	1.2	5.1	0.1	0.0	0.0	100.00
VA (ml)	11.7	84.7	2.1	0.4	0.0	0.3	0.0	0.3	0.4	100.00
SCI	88.9	0.0	10.6	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	100.00
SCI-CICT	93.3	0.0	5.9	0.0	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0	100.00
pH A 1:10	45.9	1.7	17.6	32.2	1.5	0.3	0.7	0.0	0.0	100.00
pH KCl 1:5	71.6	9.6	11.7	5.3	0.1	1.3	0.2	0.1	0.1	100.00
pH Ext.	81.1	0.6	0.2	1.7	13.7	0.7	1.9	0.0	0.0	100.00
Na Int.	86.4	2.8	8.7	1.7	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	100.00
Ca Sol.	16.5	16.2	58.3	3.2	3.1	0.8	1.7	0.2	0.0	100.00
SO4=	82.1	4.1	11.8	1.6	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	100.00
SAS2	79.7	4.8	13.7	1.4	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	100.00

TABLA 28. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES ORIGINALES CON LOS COMPONENTES PRINCIPALES (Cuarto grupo de variables)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
DA	0.0574	0.9095	-0.3868	0.0604	-0.0093	-0.0735	0.0830	0.0327	0.0535
MO	-0.5816	-0.5001	0.4848	-0.4030	0.0628	0.0277	0.0306	0.0924	0.0084
LIMO	-0.8963	0.2943	0.0719	-0.2643	0.1721	-0.0567	-0.0406	-0.0218	-0.0006
Are+Li	-0.7718	0.2850	-0.2869	-0.4438	0.1748	0.0782	-0.0796	-0.0269	0.0129
Li+Arc	-0.7646	0.2070	0.5498	0.0772	0.1096	-0.2263	0.0277	-0.0066	-0.0184
VA (ml)	-0.3423	-0.9204	0.1454	0.0617	-0.0049	-0.0565	0.0180	-0.0560	0.0637
SCI	-0.9431	-0.0218	-0.3252	0.0009	0.0011	0.0270	0.0545	-0.0264	0.0038
SCI-CICT	-0.9661	-0.0151	-0.2439	0.0075	-0.0441	0.0324	0.0290	-0.0529	-0.0177
pH A 1:10	-0.6774	0.1287	0.4201	0.5679	0.1239	0.0589	-0.0827	-0.0019	0.0007
pH KCl 1:5	-0.8461	0.3104	0.3424	0.2307	-0.0277	0.1133	-0.0412	0.0345	0.0294
pH Ext.	0.9005	-0.0806	0.0472	0.1310	0.3698	0.0841	0.1387	-0.0119	-0.0027
Na Int.	-0.9293	-0.1682	-0.2955	0.1320	-0.0051	0.0277	0.0489	0.0030	-0.0125
Ca Sol.	-0.4059	0.4024	0.7637	-0.1798	-0.1765	0.0891	0.1296	-0.0420	-0.0047
SO4=	-0.9058	-0.2020	-0.3438	0.1253	-0.0082	-0.0091	0.0553	0.0379	-0.0116
SAS2	-0.8929	-0.2186	-0.3705	0.1167	-0.0117	-0.0091	0.0511	0.0336	-0.0104

FIGURA 20. Correlaciones entre Variables Originales y Componentes Principales
(Cuarto Grupo de Variables).



la MO y al Ca^{++} Sol. en extremos distintos del componente, lo cual indica una correlación negativa entre dichas variables y que se interpreta como: *a mayor MO, menor concentración de Ca^{++} Sol. y viceversa.* (Ortega, 1987; Bohn, *et al.*, 1993; Porta, *et al.*, 1994).

En las Tablas 27 y 28 se observa que el Ca^{++} Sol. es la principal variable representada en el CP3, siguiéndole Li+Arc y MO fundamentalmente; la asociación entre dichas variables es positiva y aunque pudiera verse una cierta contradicción en la relación entre el Ca^{++} Sol. y la MO respecto al componente anterior, la razón para tratar de justificar este cambio es porque la MO y la fracción Li+Arc, o mas bien, el conjunto "Limo"+Arcilla+MO corresponden a la fracción responsable del complejo de cambio, por la cual el ión Ca^{++} tiene alta afinidad, ya sea como Ca^{++} soluble o intercambiable

5.1.2.5 *Integración de los Análisis de Componentes Principales con las Variables de la Calicata 114: Organización, Jerarquización e Interrelaciones entre Grupos de Variables*

A partir de las Figuras 17-20 se deducen las posiciones e interrelaciones entre las 35 variables restantes de los 4 ACP realizados. La organización y jerarquización de las variables se efectuó considerando: 1) Los componentes principales de todas las figuras involucradas y, 2) Los subgrupos de variables con mayor asociación entre sí.

Los **grupos (I, II y III)** y los **subgrupos (1-9)** reconocidos quedaron de la siguiente manera:

I. Componente 1:

- 1 Na^+ Int., K^+ Sol., Mg^{++} Sol., SO_4^- , HCO_3^- , Mg^{++} Int., SCS2, SAS2, Na^+ Sol. y Cl^- .
- 2a. SCI-CICT, SCI, Limo, CICT, K^+ Int., Ca^{++} Int y CE.
- 2b. pH Extracto
- 3 pH's con KCl 1:5 y 1:10.
4. Arena+Limo y Limo+Arcilla
5. pH's con agua 1:5 y 1:10.
- 6 CO_3^- y MO.

II. Componente 2

7. DA y DR
8. P, VA y VR.

III. Variables aisladas:

9. Arcilla, Ca^{++} Sol., Arena y VE

El **subgrupo 1** corresponde a las 10 variables estrechamente asociadas de la Figura 19, dada la alta correlación entre ellas y con el CP1, este subgrupo se considera como el de mayor peso respecto a las demás variables, pues al graficarse éstas según los componentes, definen sus posiciones según sus relaciones vectoriales. Este subgrupo resalta la alta salinidad-sodicidad del suelo como factor dominante en el mismo, de modo que hasta la composición textural o la materia orgánica son rebasados en su importancia edafológica/fenomenológica.

El **subgrupo 2a** resalta que las sales solubles totales, las intercambiables y la CICT están asociadas con la fracción Limo, o mas bien, Limo+MO+Arcilla. Obviamente, la CE está asociada con, y depende de las sales solubles.

El **subgrupo 2b** (pH del Extracto), ya fue descrito respecto a sus relaciones principales con los otros pH's, los cationes solubles y la MO soluble.

Los **subgrupos 3 y 5** indican que las sales solubles e intercambiables ejercen mayores variaciones en el pH del suelo cuando se agrega un electrolito, que cuando se agrega agua sola, es decir, que para la rehabilitación de éste suelo es conveniente el uso de mejoradores que sólo láminas de lavado.

El **subgrupo 4** revela que el Limo se comporta como la fracción textural más importante en comparación a la Arcilla o Arena solas, aunque mas bien puede considerarse al "Limo" como la combinación Limo+MO+Arcilla.

El **subgrupo 6** muestra a la MO asociada al anión CO_3^{--} , el cual en un momento dado puede pasar a formar parte o provenir de ésta; la MO puede considerarse como una variable intermedia o de "enlace" entre las variables asociadas a los 2 componentes principales, como se mencionó anteriormente, la MO tiene una influencia determinante sobre las variables del componente 2.

Las relaciones entre las variables de los **subgrupos 7 y 8** y la MO fueron ya descritos desde el primer análisis de componentes principales.

Dentro del **subgrupo 9**, el Ca^{++} Sol. se manifestó como una variable que aportó poca información respecto a sus interrelaciones con las demás variables, a causa de sus bajas concentraciones, estando mas bien adsorbido en el complejo Limo+MO+Arcilla o en la MO soluble

La **Arcilla** y la **Arena** mostraron (según los presentes resultados) tener poca importancia, pero se reitera la necesidad de realizar más repeticiones cuando se determine la composición textural de suelos con altos contenidos de MO y/o sales solubles. La importancia de la arcilla se intuye por la lógica de que ésta pase a formar parte de la fracción limo al formar complejos organominerales con la MO.

El **Vol. del Extracto** fue la variable con menor importancia de todas (respecto a los análisis de CM y CP realizados), lo cual demostró su irrelevancia al compararla por sí sola con las demás variables, aunque sí fue importante para los cálculos de concentración de las sales solubles y de las razones SCI-CICT. SCS2

5.1.3 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA CALICATA 115

Las variables mostraron menor correlación que en el caso anterior, como por ejemplo, DA mostró una “correlación visual positiva” casi nula con la DR o negativa con la MO (Figura 21).

Como un aspecto relevante, la MO fue mayor que en la C-114, y curiosamente sucedió lo mismo con el porcentaje de limo: promedio(0-100 cm) = 65.01 % (Tablas 11, 12 y 29; Figuras 11 y 22). Aunque los valores de DA y P no se corrigieron para la C-115, al comparar los respectivos valores no corregidos entre ambas calicatas, resulta evidente la mayor porosidad de las capas de la C-115, lo cual confiere a su vez, mayor permeabilidad y aireación del suelo.

Los pH's con agua y KCl mostraron también correlaciones muy estrechas, y el orden descendente de las curvas fue el mismo que el observado en la C-114 $\text{pH agua 1:10} > \text{pH agua 1:5} > \text{pH KCl 1:10} > \text{pH KCl 1:5}$ (Figura 23). En este caso se aprecia una ligera correlación visual positiva entre el pH del Extracto y los otros 4 pH's. Como un aspecto notable está el descenso de estos últimos de 110-170 cm, lo cual coincide con contenidos altos de MO.

Los cationes intercambiables tuvieron también la misma predominancia: $\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. Visualmente, la CICT se correlaciona moderadamente con la MO y de manera reducida con el limo (Figuras 21-23). El Ca^{++} intercambiable es el ión que más se correlaciona con la CICT respecto a los otros cationes intercambiables

Nuevamente se observó alta correlación entre VA y VR (Figura 24). Los valores promedio de VA, VE y VR fueron mayores para la C-114 que para la C-115 (Tabla 29), lo cual se puede atribuir a la mayor proporción de arcilla en la C-114. Los valores de VA y VR se mostraron moderadamente correlacionados con los de la MO.

La predominancia de los cationes solubles ($\text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$, Figura 25), difiere respecto a la C-114 en que el Mg^{++} predomina sobre el Na^+ , es decir, la C-114 es más sódica que la C-115.

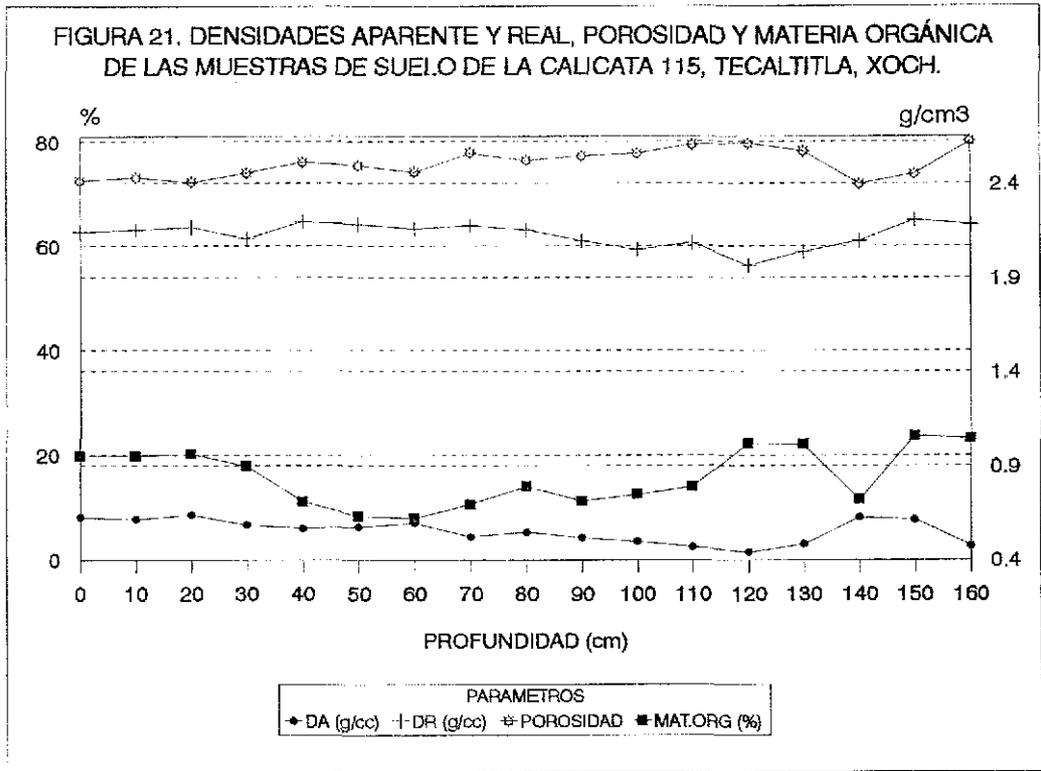
Los aniones solubles predominaron igual que en la calicata 114: $\text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^-$ (Figura 26). Las sales solubles que predominantemente deben estar formadas son: MgSO_4 , Na_2SO_4 , MgCl_2 , NaCl , CaSO_4 , CaCl_2 , carbonatos y bicarbonatos de Na y K (Richards, 1985; Ortega, 1987)

La conductividad eléctrica se observa claramente correlacionada con los cationes y aniones solubles (Figuras 25 y 26).

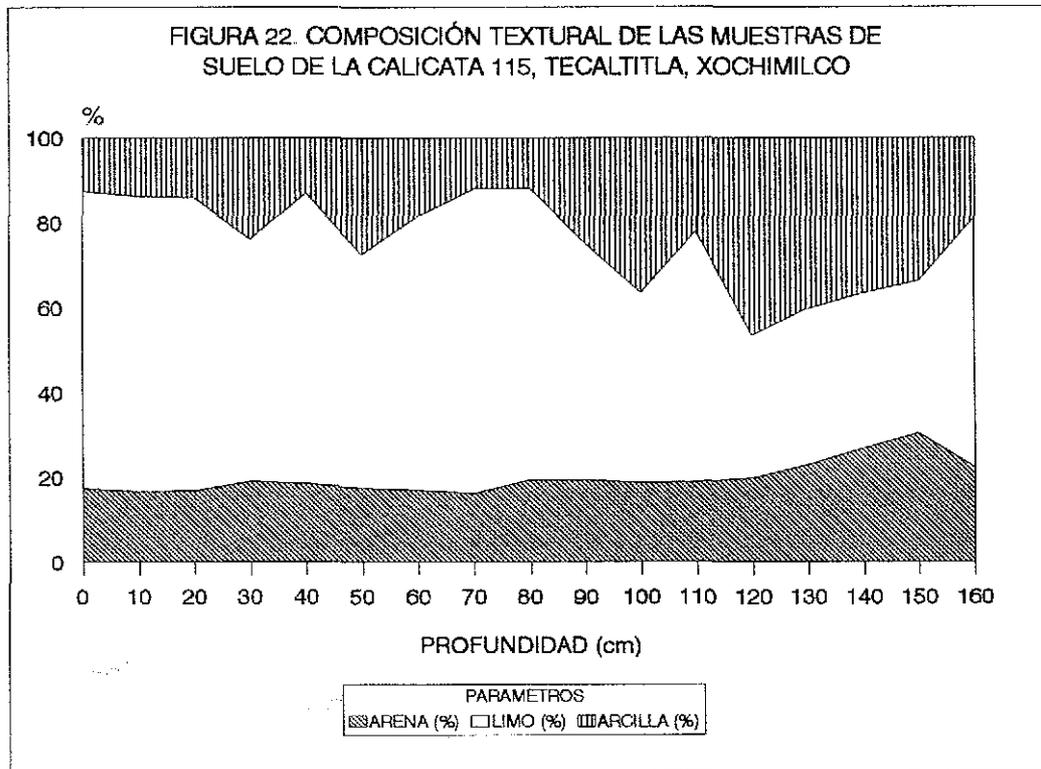
La SCI vuelve a ser mucho mayor que la CICT (Figura 27a; Tabla 12), así como la diferencia SCI-CICT sobre SCS2.

El balance entre cationes y aniones solubles (Figuras 27a-27b) fue parecido al de la C-114, pero aún más evidente el predominio de los aniones (SAS2) sobre los cationes (SCS2), lo cual coincide con lo antes descrito en la C-114 sobre la importancia de la MO.

Observando la Tabla 29, pueden destacarse diferencias notables entre las calicatas 114 y 115, las cuales hasta parecen contradictorias al compararlas con las fotografías de los sitios de muestreo y ambientes correspondientes (Fotos 1 – 6).



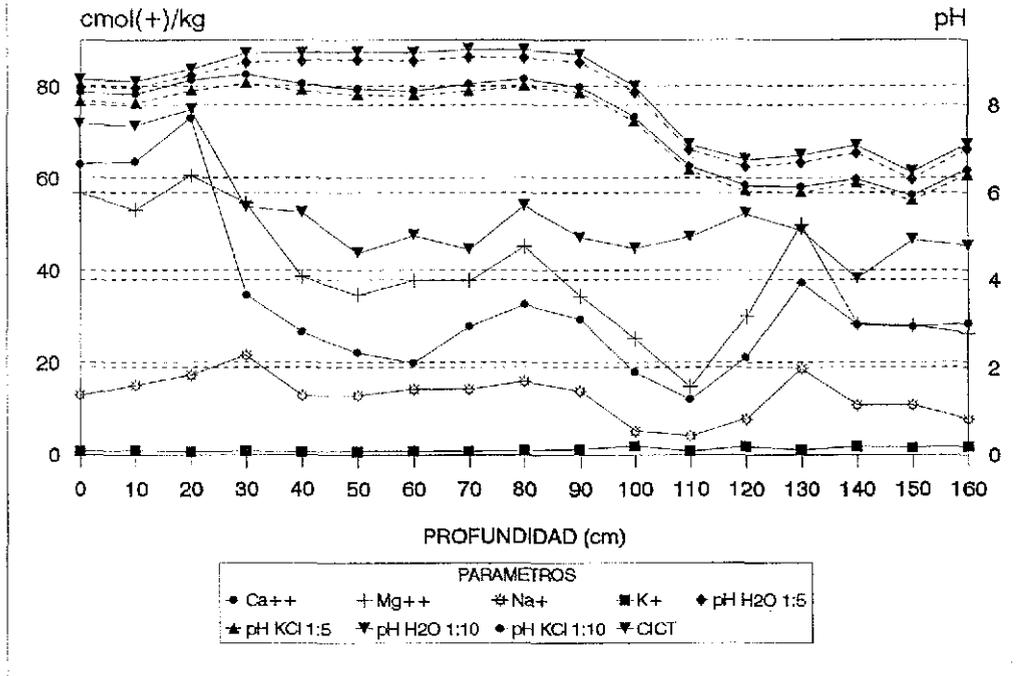
Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...160(160-170)



Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...160(160-170)

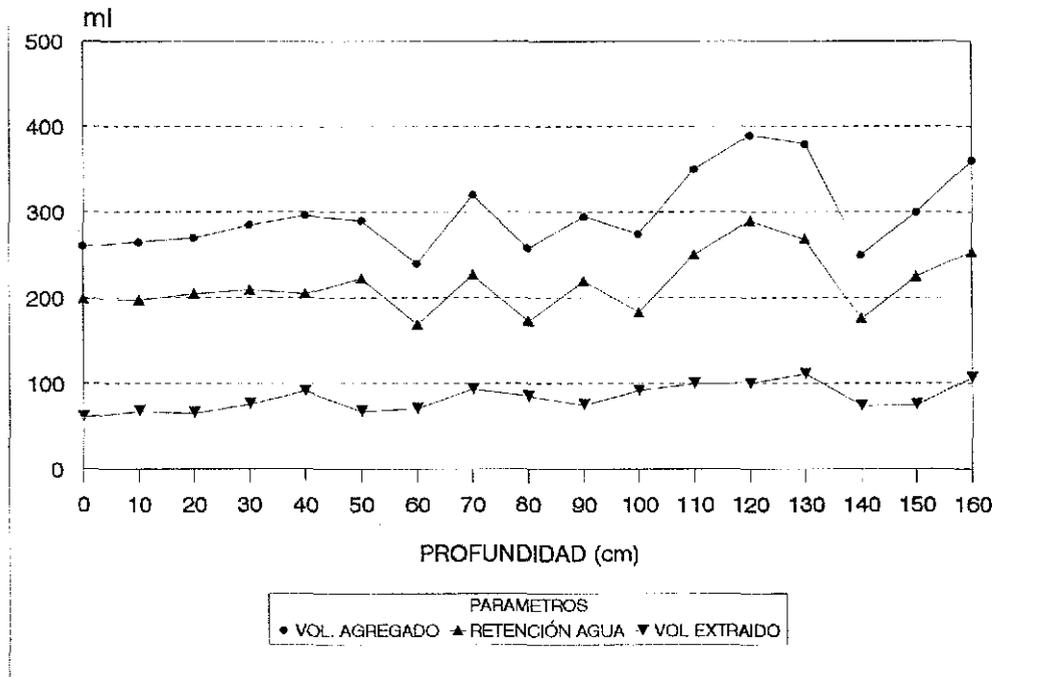
TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

FIGURA 23. REACCIÓN DEL SUELO, CATIONES INTERCAMBIABLES Y CICT DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115.



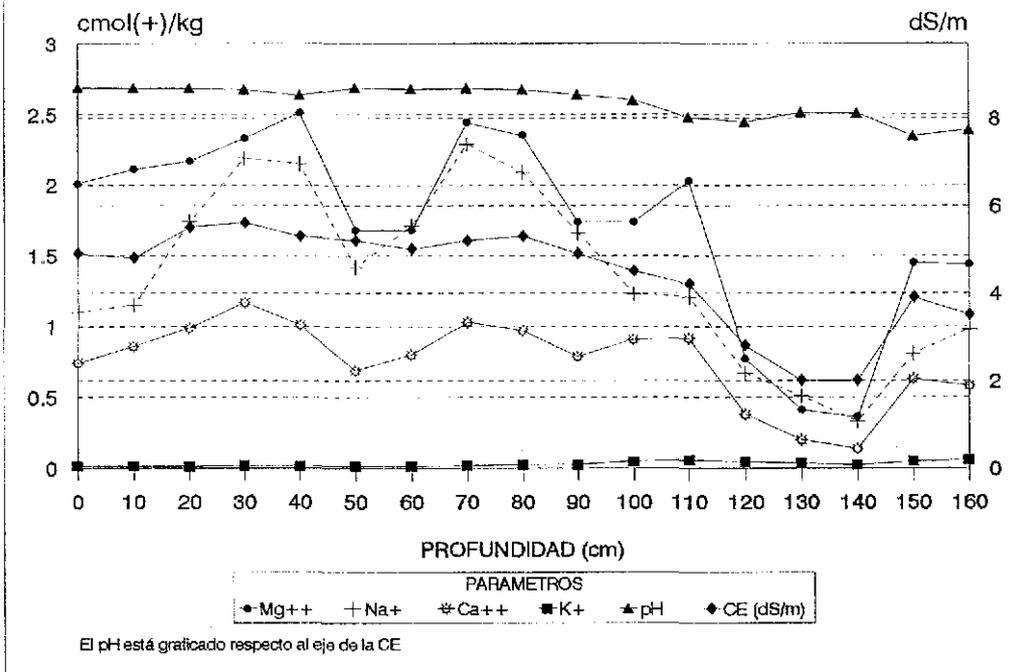
Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...160(160-170)

FIGURA 24. VOLÚMENES INVOLUCRADOS CON LAS PASTAS DE SATURACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115.



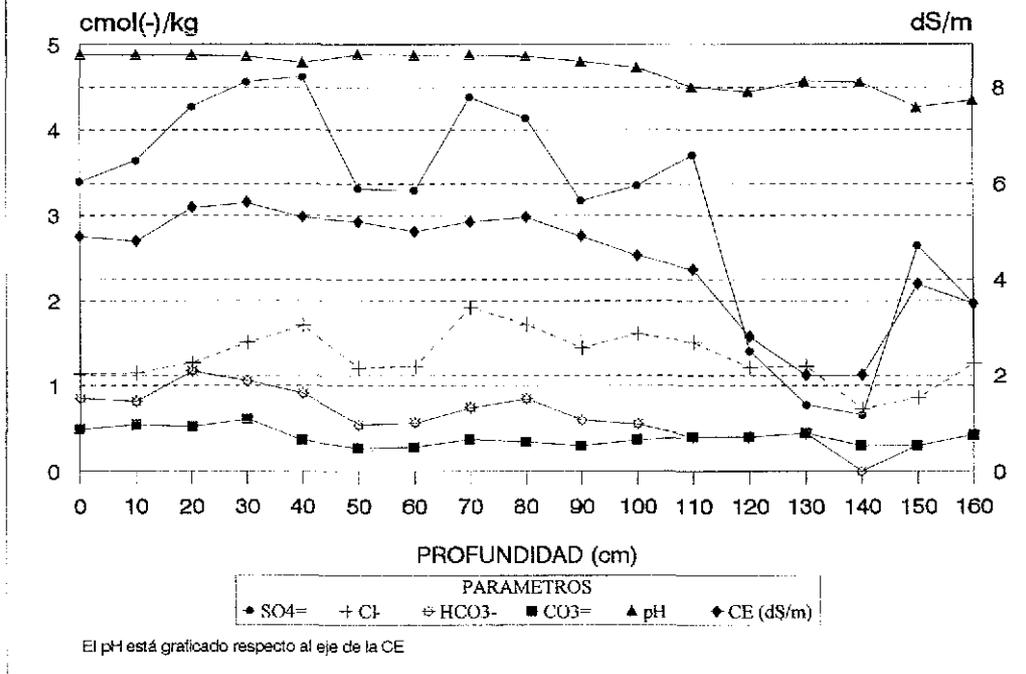
Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20) . 160(160-170)

FIGURA 25. CE, pH Y CATIONES SOLUBLES EN LOS EXTRACTOS DE SATURACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115.



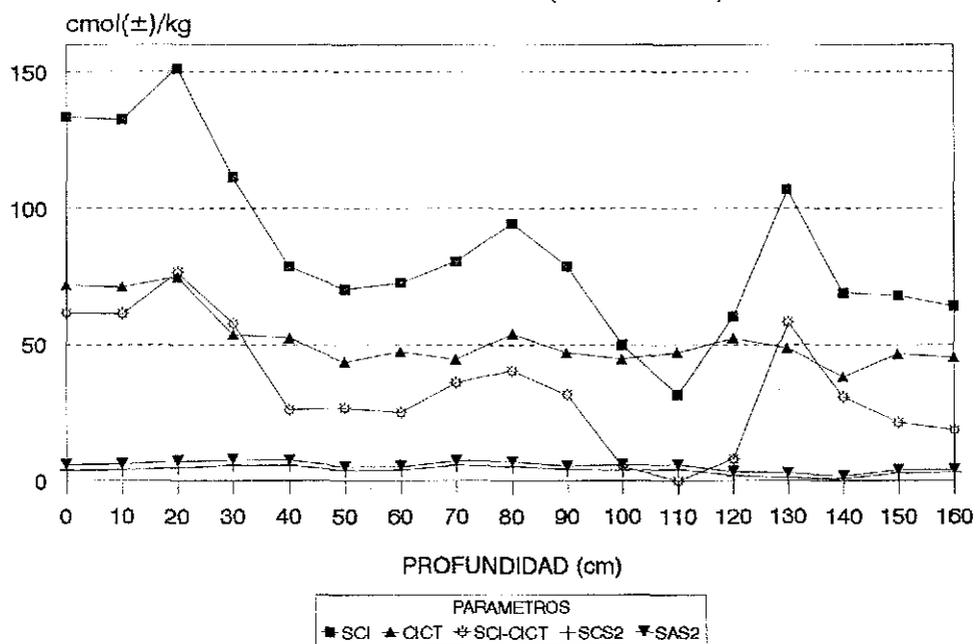
Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...160(160-170)

FIGURA 26. CE, pH Y ANIONES SOLUBLES EN LOS EXTRACTOS DE SATURACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115.



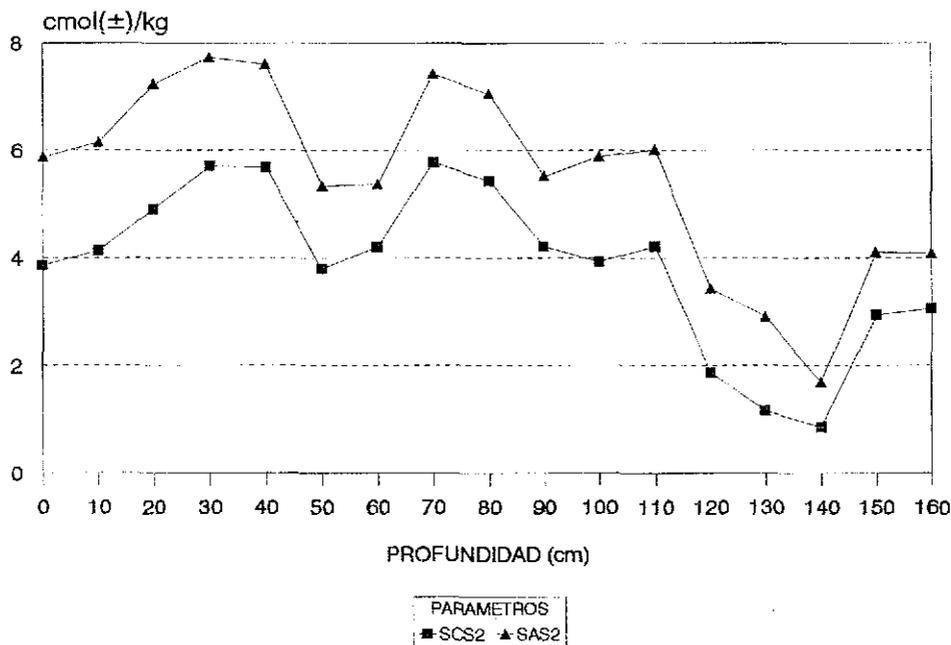
Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20).. 160(160-170)

FIGURA 27A. BALANCE ENTRE CATIONES Y ANIONES SOLUBLES DETERMINADOS ANALÍTICAMENTE, CONTRA CATIONES SOLUBLES CALCULADOS POR LA DIFERENCIA SCI-CICT (CALICATA 115).



Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...160(160-170)

FIGURA 27B. BALANCE ENTRE CATIONES Y ANIONES SOLUBLES DETERMINADOS ANALÍTICAMENTE EN LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA CALICATA 115.



Las profundidades corresponden al valor inferior de cada intervalo 0(0-10), 10(10-20)...160(160-170)

TABLA 29. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS RELEVANTES ENTRE LAS CALICATAS 114 Y 115.

PARÁMETRO (0-100 cm)	CALICATA 114			Relación	CALICATA 115		
	Mínimo	Máximo	Promedio		Mínimo	Máximo	Promedio
MO (%)	8.37	12.89	10.15	<	7.93	20.15	14.09
Limo	8.46	59.09	29.02	<	55.07	71.81	65.01
VA (ml)			308	>			277.9
VE (ml)			82.8	>			75.28
VR (ml)			225.2	>			202.62
pH agua 1:5	8.18	8.89	8.56	<	8.4	9.1	8.87
pH KCl 1:5	7.1	8.42	7.79	<	8.04	8.5	8.28
pH agua 1:10	8.31	9.01	8.67	<	8.54	9.28	9.05
pH KCl 1:10	7.19	8.5	7.89	<	8.25	8.7	8.45
pH extracto	8.32	8.83	8.63	<	8.52	8.69	8.65
PSI corregido	13.46	38.89	22.02	>	9.67	18.51	15.8
CE (mmhos/cm)	1.8	11	4.71	<	4.8	5.6	5.17
(SCI-CICT)/SCS2	2.07	10.51	7.8	<	4.61	15.96	9.54
SCI (meq/100 g)			811.06	<			1004.4
CICT (meq/100 g)			449.1	<			560.78
SCI-CICT (meq/100 g)			361.96	<			443.62
CICT/SCI (%)			55.37	<			55.83
(SCI-CICT)/SCI (%)			44.63	>			44.17
SCS2 (meq/100 g)			96.06	>			47.74
SAS2 (meq/100 g)			94.07	>			65.29

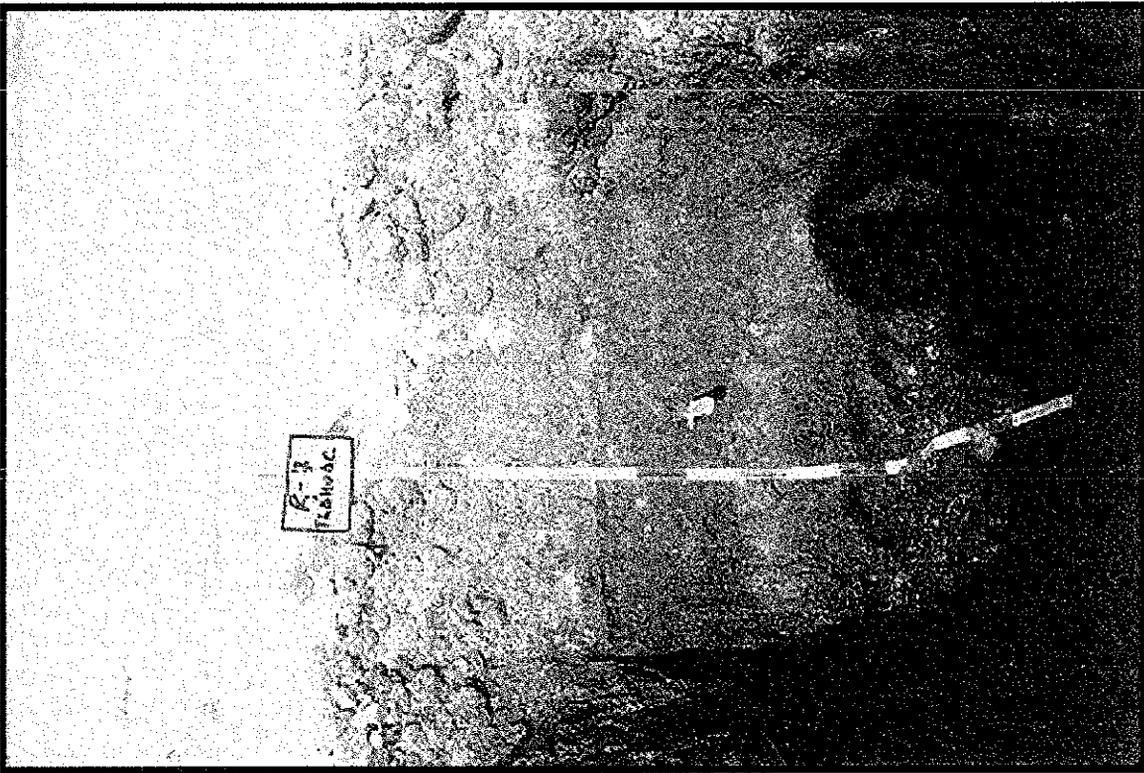


FOTO 1. PERFIL DEL SUELO CORRESPONDIENTE
A LA CALICATA 114, TLÁHUAC

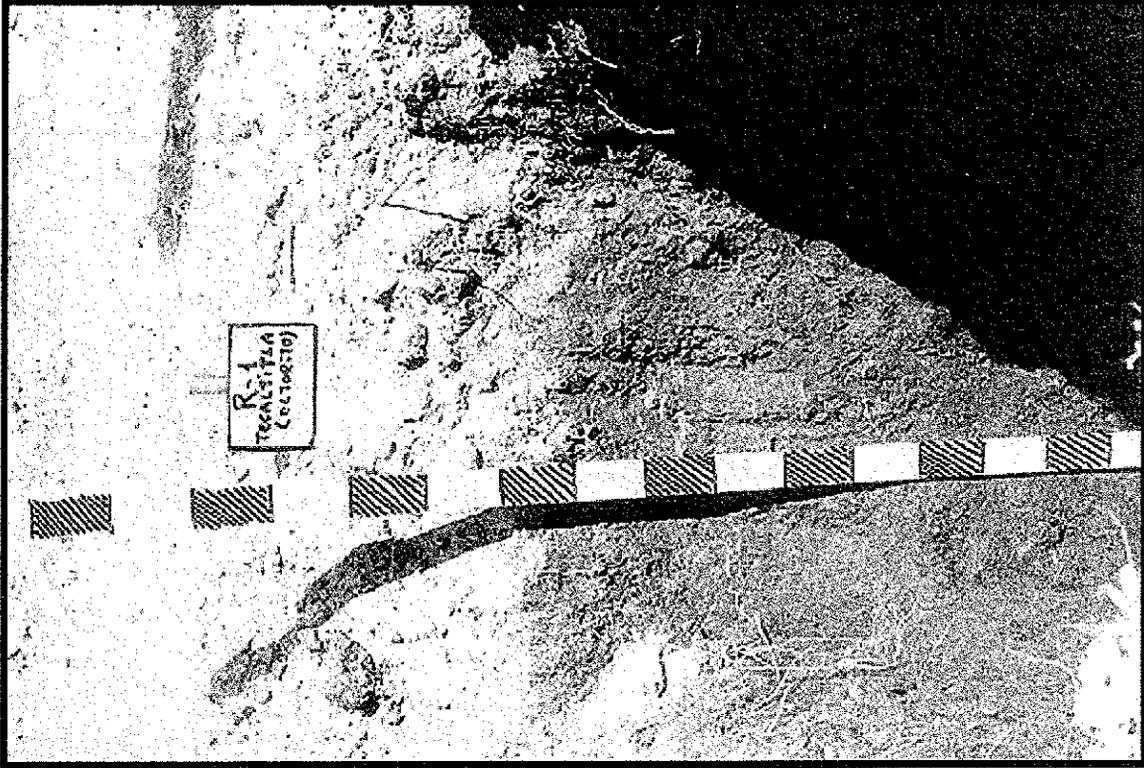


FOTO 2. PERFIL DEL SUELO CORRESPONDIENTE
A LA CALICATA 115, XOCHIMILCO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



FOTO 3. SUELO DE CHINAMPA CORRESPONDIENTE A LA CALICATA 114, TLÁHUAC

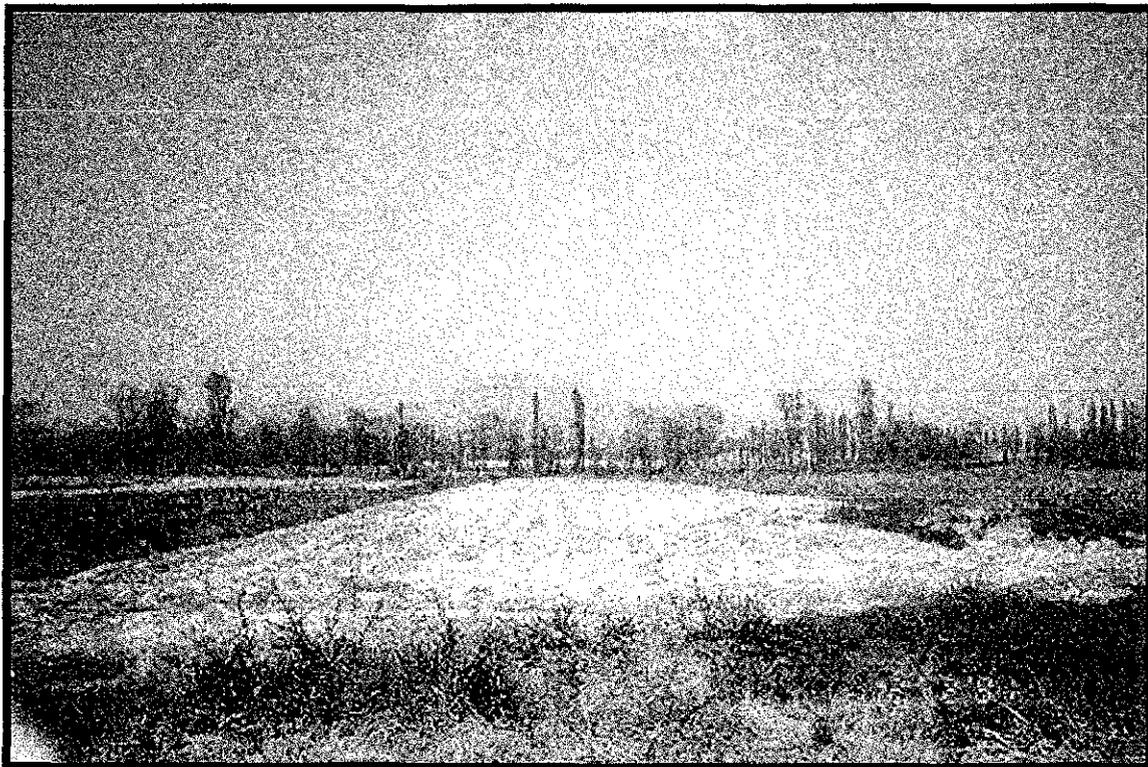


FOTO 4. CHINAMPAS ADYACENTES Y AMBIENTE RELACIONADO A LA CALICATA 114



FOTO 5. SUELO DE CHINAMPA CORRESPONDIENTE A LA CALICATA 115, XOCHIMILCO

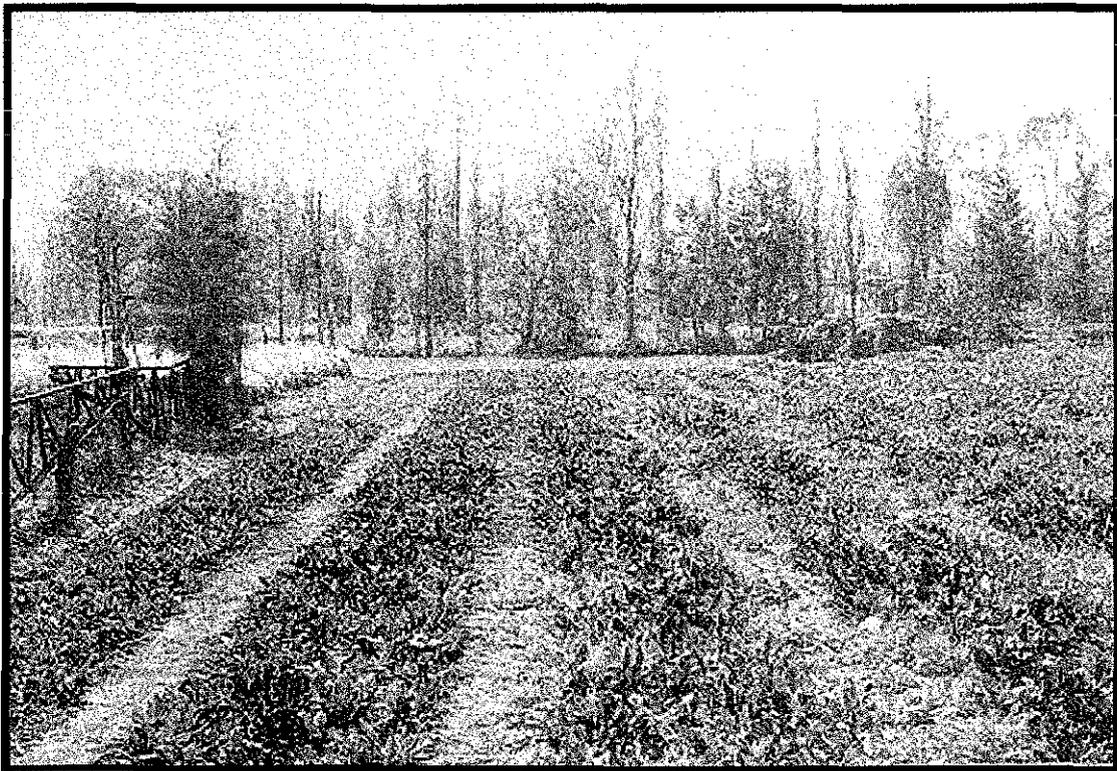


FOTO 6. CHINAMPAS ADYACENTES Y AMBIENTE RELACIONADO A LA CALICATA 115

A simple vista, se aprecia que el suelo donde se muestreó la calicata 114, tiene una extrema degradación salina y sódica, y el ambiente relacionado al sitio, se aprecia con menor cobertura y densidad vegetal que en el caso del suelo de la calicata 115.

A pesar de lo antes descrito, se aprecia que para la C-115 todos los valores promedio (0-100 cm) de los pH's son mayores que los de la C-114, lo que indica también problemas de sodicidad; la conductividad eléctrica promedio también es mayor, denotándose similarmente problemas de salinidad; lo que sí es muy evidente, es la mayor sodicidad de la C-114 ($PSI = 22.02$).

Como otro aspecto destacado está el hecho de que los totales acumulados (0-100 cm) de SCI, CICT y SCI-CICT son mayores para la C-115 que para la C-114, y de que las láminas de lavado para remover las sales solubles según la relación $(SCI-CICT)/SCS2$ también es mayor para la C-115 que para la C-114.

Para tratar de explicar estas aparentes contradicciones, en la misma Tabla 29 se muestran las relaciones $CICT/SCI$ y $(SCI-CICT)/SCI$, las cuales tratan de expresar la primera, la proporción de cationes adsorbidos en los complejos de cambio y la segunda, la proporción de cationes en forma "libre" o soluble, es decir, con esto último se aprecia que en la C-115, a pesar de tener mayor contenido de cationes intercambiables y solubles, la proporción intercambiable es mayor que en el caso de la C-114, y recíprocamente, las sales o cationes solubles predominan en la C-114, lo cual se comprueba al observar los valores de $SCS2$ y $SAS2$ en ambos casos.

Todas estas aparentes contradicciones y relaciones entre variables, al comparar las calicatas en cuestión, pueden atribuirse a la materia orgánica en el suelo, que en la C-115 ejerce un papel más determinante, porque se ve que atenúa los efectos desfavorables del Na y las sales.

5.2 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

En la Tabla 30 se reportan los cálculos del balance hídrico correspondientes a la estación meteorológica Xochimilco, mientras que en las Figuras 28 y 29 se representan las variables más relevantes para la interpretación del mismo.

A partir de la Figura 28 se interpreta que de febrero a abril no hay agua almacenada en el suelo, y que la evapotranspiración potencial (**EP2**) es mayor que la precipitación (**PP**), por lo cual hay déficit de agua para las plantas; en mayo y junio **PP** se vuelve mayor a **EP2**, lo que permite entonces, que se recargue el suelo con agua y que haya disponibilidad de ésta para las plantas; de la misma manera, de julio a octubre $PP > EP2$, pero al grado que también se excede la capacidad del suelo para almacenar agua, produciéndose entonces, que haya agua de escurrimiento superficial e infiltración; de noviembre a enero, a pesar de que $EP2 > PP$, hay agua disponible para las plantas por razón de la reserva de agua, sin embargo, ésta se agota paulatinamente hasta que ya no queda nada en febrero.

Conforme a lo anterior, e interpretando la misma figura desde el punto de vista de la problemática ambiental de la zona, se deduce que las lluvias de junio a octubre además de saturar al suelo y lavar parte de las sales de las chinampas hacia los canales y niveles más profundos del suelo, provocan las inundaciones y encharcamientos ya conocidos (favorecidos por el mal drenaje del subsuelo a causa de los altos porcentajes de arcilla), así como los problemas de erosión en las laderas de los cerros y montañas adyacentes. Considerando que de noviembre a febrero $PP < EP2$ y que exista agua en el suelo, ello implica el ascenso de las sales en el mismo y conforme se va agotando la reserva de agua, obviamente se acrecenta la acumulación de las sales en la superficie del suelo, agudizándose sus efectos adversos a las plantas y el suelo cuando se alcanza el déficit hídrico de febrero a abril.

Los valores anuales del balance hídrico de la Figura 29 y la Tabla 30 permiten apreciar que aunque $PP > EP2$ y que el déficit hídrico se muestra pequeño (9.98 cm, febrero - abril), al considerar el desglose de la precipitación como: $PP = \text{evapotranspiración real (ER)} + \text{exceso de agua (EA)}$, entonces **ER** corresponde al 59.1 % de la precipitación promedio total anual, mientras que **EA** corresponde al 40.9 % de la misma.

Considerando a **ER** como la cantidad de agua que regresa a la atmósfera de lo que llueve y/o se encuentra en el suelo hasta su capacidad de campo, y a **EA** como la cantidad de agua de lluvia que puede lavar las sales de los suelos de chinampa, entonces se infiere que con respecto a las condiciones climáticas, el proceso dominante es el ascenso y acumulación de las sales en la superficie del suelo; esta aseveración se reafirma si se comparan los valores mensuales de **ER** y **EA** en la misma tabla, donde se ve que $ER > EA$ en 10 meses, siendo **EA** mayor sólo en agosto y septiembre, es decir, $ER > EA$ en proporción (intensidad) y en tiempo (amplitud).

Otros factores que influyen tanto el balance hídrico como la problemática sódica y salina de los suelos son:

- 1) Los contenidos altos de **MO** y arcilla, porque incrementan la capacidad de campo del suelo muy probablemente a más de 10 cm de agua, lo cual provoca a su vez, que disminuyan el déficit hídrico y **EA**, lo cual puede comprobar el lector haciendo nuevos cálculos conforme al punto 4.6.
- 2) La extracción de agua de la zona y el abatimiento del nivel freático, a causa de lo descrito en los apartados 1.1 y 1.2.1, porque ello puede disminuir la reserva de agua en el suelo y agudizar (prolongar) el déficit hídrico.

TABLA 30. FICHA HÍDRICA PARA LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA 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 (cm)	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

FIGURA 28. BALANCE HÍDRICO POR EL MÉTODO DE THORNTHWAITE (1948)
PARA LA ESTACIÓN XOCHIMILCO (09-058)

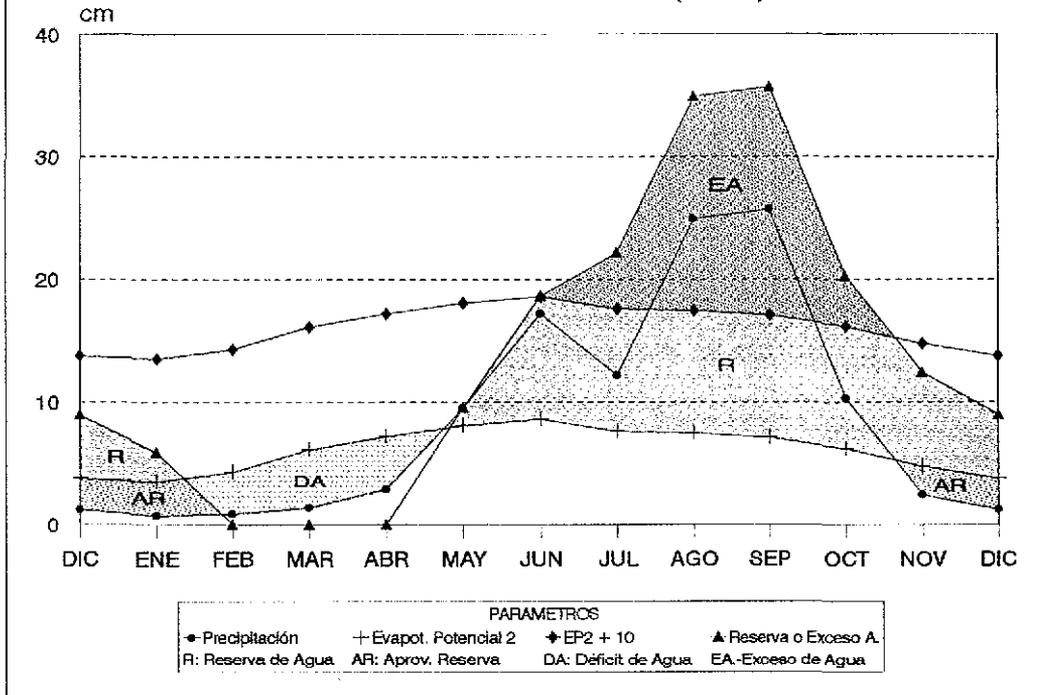
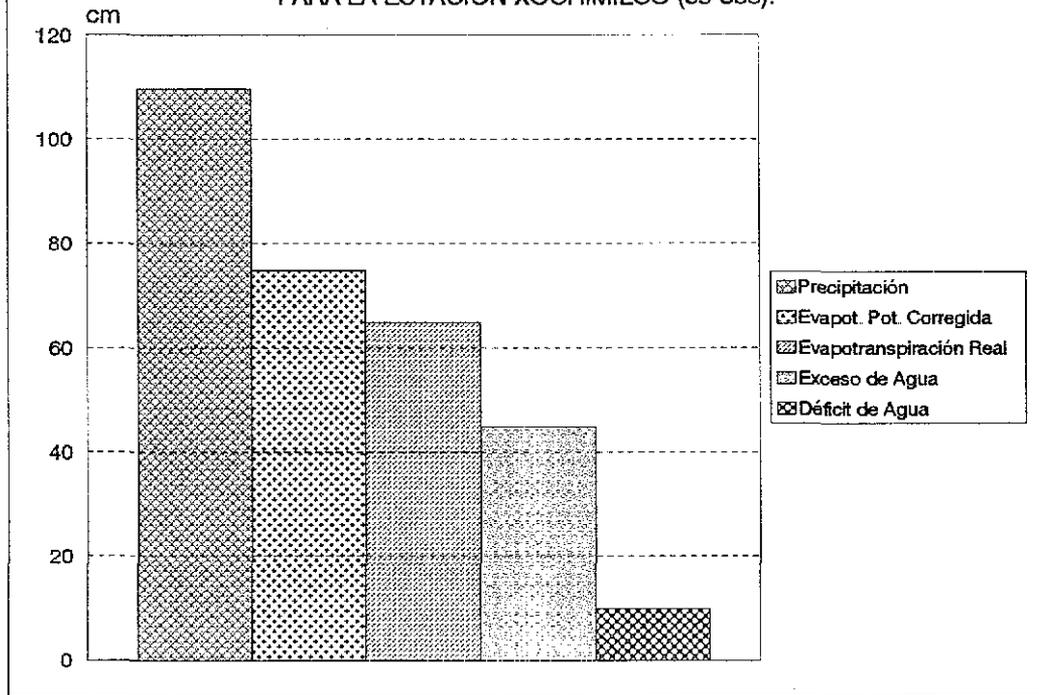


FIGURA 29. RESUMEN ANUAL DEL BALANCE HÍDRICO
PARA LA ESTACIÓN XOCHIMILCO (09-058).



- 3) Aunque se reconoce que muchas sales tienen un origen geológico, debe tomarse en cuenta la adición de éstas por el vertimiento de aguas residuales a los canales y por la aplicación de fertilizantes al suelo.
- 4) Al aumentar la salinidad y sodicidad del suelo, disminuye la diversidad y densidad de la vegetación y se incrementa la evaporación del suelo, retroalimentándose la degradación del mismo.

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA EVALUACIÓN AGROLÓGICA DE LOS SITIOS REPORTADOS PARA LA ZONA CHINAMPERA DE SAN GREGORIO

En la Tabla 31 se resumen los resultados concernientes a los 20 sitios de muestreo, para los cuales se adoptaron 2 numeraciones: 1) la del trabajo original donde se encuentran reportados y, 2) una numeración consecutiva para ilustrarlos en el Mapa 3

De acuerdo con la revisión en la carta topográfica de la Ciudad de México (CETENAL, 1976), los sitios de muestreo y el *área chinampera* en general corresponden a *terrenos casi planos*, lo que en consecuencia produce que su **riesgo de erosión** sea ligero o nulo y su **erosión actual** nula.

A excepción del sitio 1, en todos los demás casos se consideró el **escurrimiento superficial** como medio, debido a que como los suelos son en general muy porosos y que al realizar pruebas de campo de lavado de los mismos, nunca se observó escurrimiento superficial, sino más bien infiltración del agua. El escurrimiento superficial moderadamente lento para el sitio 1 se consideró por la alta sodicidad detectada, la cual se supone produzca condiciones de impermeabilidad y encharcamiento del suelo.

Algo similar a lo anterior se consideró respecto a la **inundación de los suelos**, suponiendo como más probables, a los sitios con manto freático elevado y más hacia el norte, cercanos a las zonas de inundación en la época lluviosa.

Desafortunadamente, en las tesis consultadas no se reporta en ningún caso la fecha de muestreo por sitio, lo cual es importante porque dependiendo de si es época lluviosa o de sequía y según cada año, el nivel freático cambia, y por consiguiente, la “profundidad efectiva” del suelo y el muestreo pueden estar influenciados por ello. Los sitios 5, 6, 7, 9 – 11 y 17 tuvieron un **manto freático** muy profundo; en los sitios 2, 3, 16 y 18 el manto freático fue profundo, en el sitio 1 el manto fue somero, mientras que en el resto de los sitios éste fue moderadamente profundo.

Las **texturas del “epipedón”** para todos los sitios se consideraron como clase I debido a los altos contenidos de materia orgánica (MO) observados. Los “epipedones” tuvieron textura franca como predominante, seguida de migajón arcilloso, migajón limoso y migajón arcillo-arenoso.

Respecto a la **profundidad efectiva del suelo**, puede observarse en la Tabla 31, que 11 sitios tuvieron una profundidad > 1 m, 8 con una profundidad de 50 – 100 cm y el sitio 1 con una profundidad menor a 50 cm.

En ningún sitio de los evaluados, ni tampoco en ninguno de los que se colaboró para muestreo, se observó **pedregosidad** en el suelo.

TABLA 31. EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE SAN GREGORIO ATLAPULCO, CONFORME A SU SALINIDAD - SODICIDAD, SU CAPACIDAD DE USO Y SU CATEGORÍA EDAFOLÓGICA SEGÚN EL SISTEMA FAO/UNESCO.

Autor	Sánchez (1989)										Ramos (1990)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2		
Número de calicata	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2		
Número de Sitio Mapa 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Riesgo de erosión (E1)	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula		
Erosión actual (E2)	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula		
Escurrimiento superficial (D1)	Moder. Lento	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio		
Inundación: Frecuencia/año (D2)	< 3 veces, sólo en temporal.	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	< 3 veces, sólo en temporal.	Ninguna	Ninguna		
Prof. manto freático (D3)	40	110	140	80	200	200	150	70	200	200		
Pendiente (%) (T1)	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2		
Relieve (T2)	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano		
Textura del "Epipedón" (S1)	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Franco		
Profundidad efectiva (cm) (S2)	40	110	140	80	200	200	150	70	200	200		
C.E. (Salinidad) (S3)	5.07	9.2	10.5	6.53	3.5	4.74	11.87	7.9	3.91	12.13		
(mmhos/cm; 0-30 cm) (S4)	31.27	20.53	16.45	7.63	11.45	8.54	17.58	18.15	3.83	3.78		
Sodicidad (PSI; 0-30 cm) (S5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Pedregosidad (%; 0-100 cm) (S6)	60.7	53.46	67.16	66.79	45.95	58.23	59.02	56.14	64.28	44.15		
CICT (meq/100 g; 0-100 cm) (S7)	7.66	19.95	30.59	15.01	33.29	31.56	28.08	13.9	28.5	26.09		
Cap. acumulativa de agua aprovechable (cm)	Salino Sódico	Salino Sódico	Salino Sódico	Salino	No salino No sódico	Salino	Salino Sódico	Salino Sódico	No salino No sódico	Salino		
Clasificación respecto a salinidad y/o sodicidad	IVS4D3	IIIS3S4	IIIS3	IIID3	I	IIIS3	IIIS3	IIID3S7	I	IIIS3		
Capacidad de Uso	ATcfe (ps, pn)	ATcf (ps, pn)	ATcf (ps, pn)	Atcfe (ps, pn)	ATcf (fn)	ATcf (ps, pn)	ATcf (ps, pn)	ATcfe (ps, pn)	ATcf (fs)	ATcf (fs, fn)		
Clasificación FAO/UNESCO (1989)												

TABLA 31. (CONTINUACIÓN)

Autor	Ramos (1990)							Vallejo (1992)							
	3	4	5	6	7	8	8	5	6	7	8	5	6	7	8
Número de calicata	3	4	5	6	7	8	8	5	6	7	8	5	6	7	8
Número de Sitio Mapa 3	11	12	13	14	15	16	16	17	18	19	20	17	18	19	20
Riesgo de erosión (E1)	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula	Ligero Nula
Erosión actual (E2)	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
Escurrimiento superficial (D1)	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Inundación: Frecuencia/año (D2)	Ninguna	Ninguna	Ninguna	< 3 veces, sólo en temporal.	< 3 veces, sólo en temporal.	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	< 3 veces, sólo en temporal.
Prof. manto freático (cm) (D3)	200	70	90	80	90	130	130	150	140	80	70	150	140	80	70
Pendiente (%) (T1)	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2
Relieve (T2)	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano	Casi plano
Textura del "Epipedón" (S1)	Franco	Mig. Arcillo Arenoso	Mig. Arcillo Arenoso	Migajón Arcilloso	Franco	Franco	Franco	Mig. Arcillo Limoso	Migajón Limoso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso	Mig. Arcillo Limoso	Migajón Limoso	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso
Profundidad efectiva (cm) (S2)	200	70	90	80	90	130	130	150	140	80	70	150	140	80	70
C.E. (Salinidad) (S3)	6.22	8.53	16.67	6.07	5.4	9.57	9.57	2.33	12.07	20.07	6.98	2.33	12.07	20.07	6.98
Sodicidad (PSI; 0-30 cm) (S4)	6.5	14.2	5.53	3.45	9.72	2.53	2.53	6.2	17.33	27.28	19.17	6.2	17.33	27.28	19.17
Pedregosidad (%; 0-100 cm) (S5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CICT (meq/100 g; 0-100 cm) (S6)	50.26	63.0	53.62	54.9	60.44	66.0	66.0	44.3	43.9	61.98	53.06	44.3	43.9	61.98	53.06
Cap. acumulativa de agua aprovechable (cm) (S7)	29.02	12.45	15.24	15.06	16.72	22.88	22.88	33.34	30.56	12.57	13.57	33.34	30.56	12.57	13.57
Clasificación respecto a salinidad y/o sodicidad	Salino	Salino	Salino	Salino	Salino	Salino	Salino	No salino No sódico	Salino Sódico	Salino Sódico	Salino Sódico	No salino No sódico	Salino Sódico	Salino Sódico	Salino Sódico
Capacidad de Uso	IIS3	IID3S3S7	IVS3	IID3	IID3	IIS3	IIS3	I	IIS3	IVS3S4	IID3S7	I	IIS3	IVS3S4	IID3S7
Clasificación FAO/UNESCO (1989)	ATcf (fs, fn)	ATcfcg (ps, pn)	ATcfcg (ps, fn)	ATcfcg (fs)	ATcfcg (fs, fn)	ATcf (ps)	ATcf (ps)	ATcf (fs, fn)	ATcf (ps, pn)	ATcfcg (ps, pn)	ATcfcg (ps, pn)	ATcf (fs, fn)	ATcf (ps, pn)	ATcfcg (ps, pn)	ATcfcg (ps, pn)

La **fertilidad potencial** (CICT) fue alta en todos los casos, lo cual puede atribuirse a los altos contenidos de MO.

La **capacidad acumulativa de agua aprovechable** (S7), se estimó conforme a lo recomendado por CNA (1989), a partir de los datos de textura, MO, pedregosidad y salinidad del suelo. Esta capacidad es incrementada por altos contenidos de MO, arcilla y limo, y disminuida por texturas gruesas, pedregosidad e incrementos de las sales solubles. Este parámetro fue muy alto para los sitios 3, 5 – 7, 9 – 11, 16 – 18; para los sitios 2, 4, 13 – 15 fue moderado y para los sitios 1, 8, 12, 19 y 20 fue bajo.

En cuanto a la **salinidad-sodicidad** de los suelos, los sitios 5, 9 y 17 mostraron no serlo en los 30 cm superficiales, pero si dentro de los 100 cm de profundidad por presentar fase salina y/o sódica (apéndice A2), lo cual significa que hay riesgo potencial de daño para los cultivos en cuanto a estos parámetros. Los sitios 4, 6, 10 – 16 mostraron ser salinos de 0 – 30 cm de profundidad, pero también tuvieron propiedades sódicas o fase sódica. El resto de los sitios fueron suelos salino-sódicos tanto en los 30 cm superficiales como hasta 1 m de profundidad.

Como la precipitación promedio anual en la zona es de 1096.8 mm y como se presentan de 3 – 4 meses con días secos (enero – abril; Fig. 28), ello hace considerar al **régimen de humedad** como Ústico (**precipitación efectiva** ⇒ clase I; **días secos acumulados** ⇒ clase II). Dado que la temperatura promedio anual es de 15.9° C, el **régimen de temperatura** del suelo se considera como térmico (clase I). En este contexto, el clima de la zona se evalúa como IIC2, a excepción de las áreas chinamperas con disposición de canales para riego, en donde su clase pasa a ser I.

De acuerdo al sistema de **capacidad de uso de la tierra**, sólo los sitios 5, 9 y 17 pudieron ser calificados como clase **I**; los sitios 6 y 11 resultaron como clase **IIS3** (con salinidad ligera); los sitios 1 y 19 tuvieron clase **IV**, el primero por sodicidad fuerte y drenaje somero, y el segundo por salinidad y sodicidad fuertes; el resto de los sitios quedó con clase **III**, con problemas moderados de salinidad, sodicidad, drenaje y capacidad acumulativa de agua aprovechable combinados de manera variable o individualmente (Tabla 31).

Los sitios en cuestión mostraron una gran estratificación del suelo (lo cual puede corroborar el lector con más detalle, si consulta los trabajos ya mencionados), existiendo por ejemplo, la presencia de diferentes capas texturales en cualquier combinación y profundidad posibles. Entre los 20 sitios se contabilizaron 250 capas de suelo conforme al muestreo cada 10 cm, de las cuales 114 correspondieron a una textura franca (45.6 %), 59 a migajón arcilloso (23.6 %), 30 a migajón limoso (12.0 %), 26 a migajón arcillo-arenoso (10.4 %), 15 a migajón arcillo-limoso (6.6 %), 5 a migajón arenoso (2.0 %) y 1 a arcilla (0.4 %).

Similarmente, la materia orgánica (MO) mostró grandes fluctuaciones, pero en general con valores altos. El valor mínimo cuantificado de MO fue de 0.7 % (prof. 90 – 96 cm, sitio 10) y el máximo fue de 49.6 % (prof. 90 – 100 cm, sitio 3). El valor mínimo promedio de MO para los 20 sitios fue de 9.33 %, el valor máximo promedio fue de 24.44 %, y el promedio global para las 250 capas fue de 15.94 %.

Por razón de estas características, los **suelos de chinampa** fueron clasificados como **Antrosoles** según el sistema FAO-UNESCO (1989), porque resulta muy evidente y determinante la mano del hombre en su formación y desarrollo. La descripción de las claves empleadas aparece en la Tabla 32 y el Apéndice A2.

5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA FOTOINTERPRETACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.2.1 USOS DEL SUELO Y CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

Los Mapas 1 y 2 ilustran los usos y ocupación del terreno más evidentes del área chinampera y cerril cercana a los pueblos de San Gregorio (centro - este de cada mapa) y Santa Cruz Acalpixca (hacia el suroeste). Conviene aclarar que ni estos mapas ni el tercero fueron restituidos fotogramétricamente, por lo que es de esperar que ellos manifiesten las deformaciones propias de las fotos de las que fueron elaborados. Las coordenadas extremas que se reportan fueron las más aproximadas de acuerdo al cubrimiento de terreno por cada foto. La escala en cada caso se calculó con el apoyo de la carta topográfica de CETENAL (1976).

Como puede apreciarse, lo representado en los Mapas 1 y 2 corresponde a las fechas del 14/ene/87 y 23/ene/91 respectivamente. Las categorías definidas se enlistan en la simbología convencional anexa. Los suelos propiamente de chinampa puede reconocérseles en el Mapa 3. Las áreas agrícolas marcadas en verde, incluyen principalmente áreas de temporal en los cerros y partes bajas de los mismos, aunque también incluyen suelos de chinampa.

Las áreas potenciales a urbanizarse se consideran en este trabajo como áreas muy propensas a cambiar de uso u ocupación (bosque, agricultura, vegetación herbácea silvestre, etc.) hacia una ocupación por construcciones humanas con uso habitacional, industrial, plazas públicas, iglesias, etc., en un período relativamente corto (2 – 5 años) y mediante un *proceso difusivo*, de las áreas más urbanizadas hacia las menos urbanizadas.

La categoría *áreas agrícolas sin uso* fue agregada en el Mapa 2 por las siguientes razones:

1. Están cercanas a terrenos agrícolas activos.
2. La interpretación de la fotografía aérea del 91 permitió reconocer que diversas áreas que fueron consideradas en el Mapa 1 como áreas potenciales a urbanizarse, eran terrenos agrícolas que en ese momento no estaban en uso.
3. La interpretación de estas áreas daba indicios de que pudiese reanudarse y prolongarse su uso agrícola en vez de tender hacia la urbanización.

Con estos antecedentes y comparando los Mapas 1 y 2, se observa que entre las tendencias de cambio de uso del suelo, la urbanización es la fuerza dominante. Es muy claro reconocer en el Mapa 2 mayor densidad de caminos (terracería y veredas), de casas aisladas y una mayor extensión urbana de San Gregorio y Santa Cruz, que en el Mapa 1.

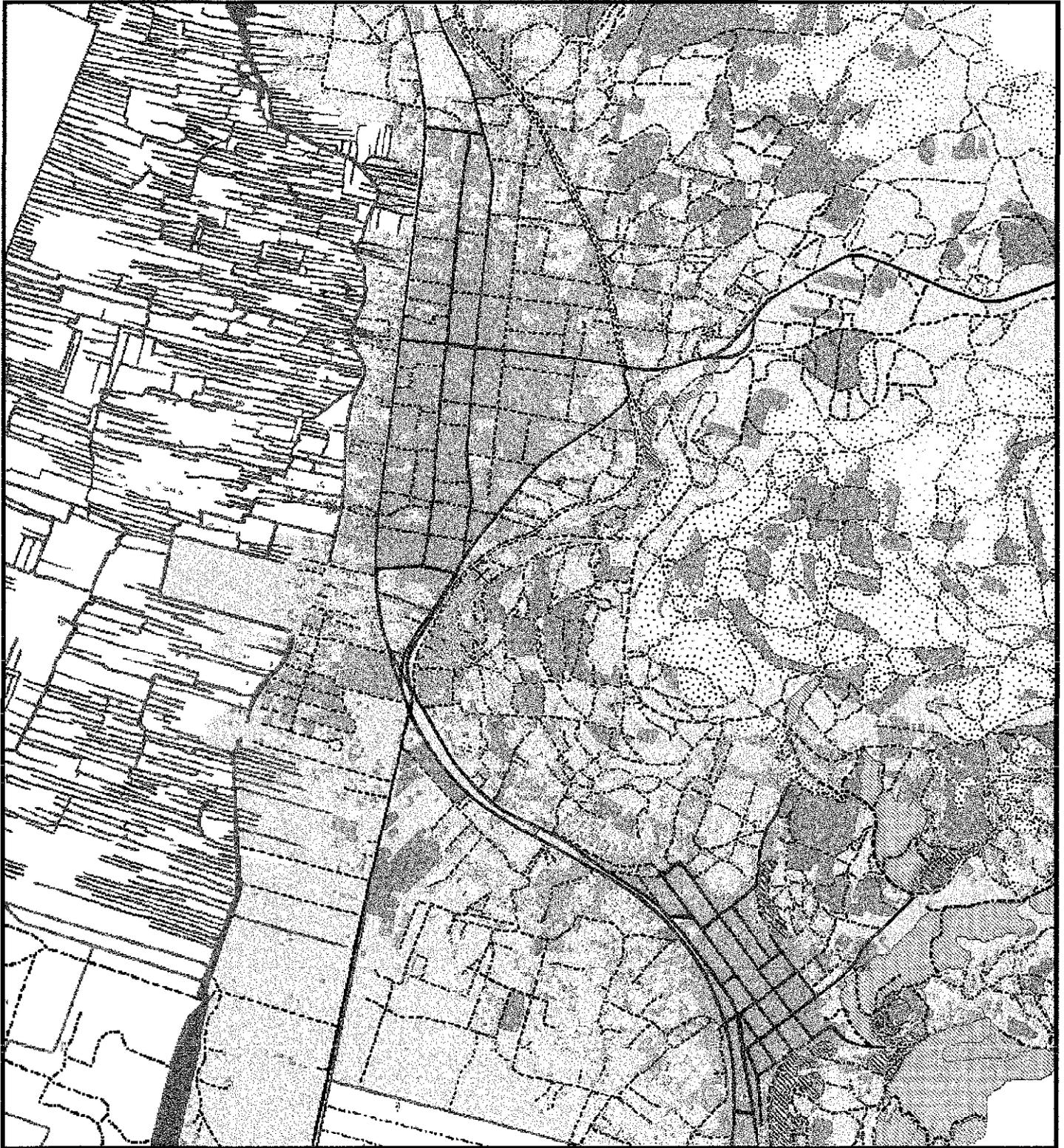
El proceso de la urbanización incluye varios aspectos:

1. Las casas aisladas y los asentamientos irregulares se convierten en focos de crecimiento urbano.
2. Los terrenos que pasan a ser urbanos lo hacen más fácil y rápidamente si presentan bajas pendientes, si se encuentran cercanos a caminos transitables (especialmente por vehículos) y a otras áreas urbanas que les sirvan como centros de provisión de materiales para construcción, alimentos, agua, electrificación, servicios médicos, empleo, etc.
3. La colonización de las chinampas por casas individuales se acentúa por la construcción de puentes sobre los canales (apartado 1.1).

99° 02' 43" W
19° 16' 06" N



99° 02' 43" W
19° 14' 06" N



99° 04' 42" W
19° 16' 06" N

Escala aproximada: 1: 16,930

99° 04' 42" W
19° 14' 06" N

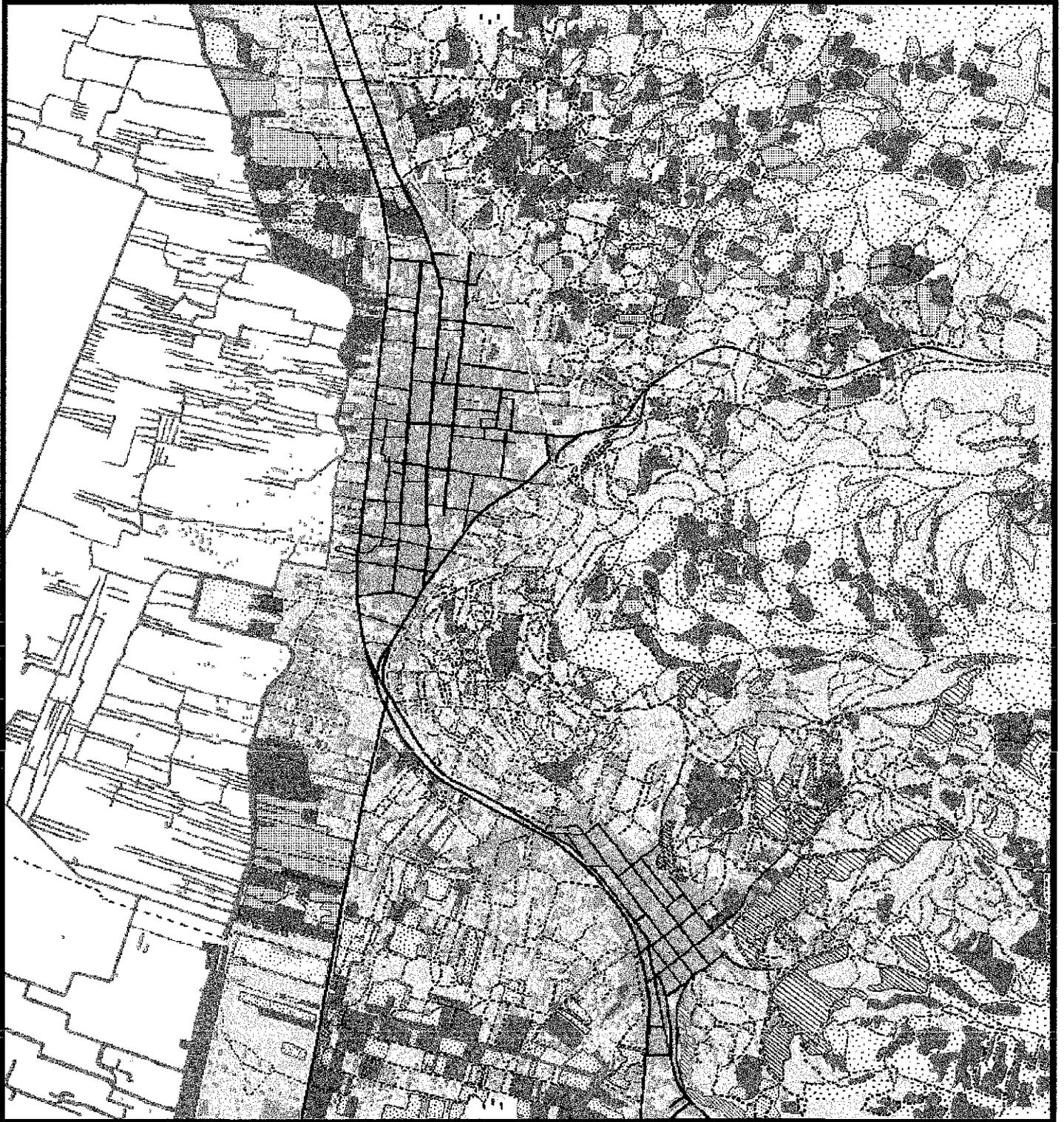
MAPA 1. USO DEL SUELO, VEGETACIÓN Y TENDENCIA DE CAMBIO DEL USO DEL SUELO DEL ÁREA DE SAN GREGORIO ATLAPULCO, XOCHIMILCO (14/ENE/87).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

99° 02' 25" W
19° 16' 13" N



99° 02' 25" W
19° 13' 46" N



Escala aproximada: 1: 21,450

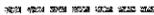
MAPA 2. USO DEL SUELO, VEGETACIÓN Y TENDENCIA DE CAMBIO DEL USO DEL SUELO DEL ÁREA DE SAN GREGORIO ATLAPULCO, XOCHIMILCO (21/ENE/91)

99° 04' 52" W
19° 16' 13" N

99° 04' 52" W
19° 13' 46" N

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

Camino pavimentado.....	
Terracería.....	
Vereda.....	
Cuerpos de agua y canales.....	 
Acueducto.....	
Casas aisladas.....	
Áreas totalmente urbanizadas.....	
Áreas potenciales a urbanizarse.....	
Áreas con uso agrícola en cerros y sus partes bajas.....	
Áreas con uso agrícola en suelos de chinampa.....	 
Áreas agrícolas sin uso.....	
Vegetación herbácea y arbustiva en los cerros.....	
Bosque perturbado.....	
Bosque perturbado y potencial a urbanizarse.....	

Reconociendo que el crecimiento urbano se va produciendo rápidamente en las partes bajas de los cerros y hacia las chinampas del norte de San Gregorio y Santa Cruz, y comparándolo con las capacidades de uso del suelo del Mapa 3, se aprecia el hecho lamentable (como en muchos otros casos) de que por urbanización se están perdiendo primero los suelos agrícolas de mejor calidad, que los suelos con baja o ninguna aptitud para este fin.

Considerando las categorías temáticas empleadas en los Mapas 1 y 2, las tendencias de cambio entre ellas quedan resumidas de la siguiente forma: Las *áreas con bosque* pueden deforestar y seguir 2 caminos: (1) *urbanizarse paulatinamente* o, (2) quedar como *áreas perturbadas con vegetación secundaria arbustiva y herbácea*, y que pueden durar más o menos tiempo dependiendo de su inaccesibilidad, topografía irregular, pendientes pronunciadas, su lejanía de los poblados, etc. Estas áreas (2) a su vez, pueden seguir 2 caminos. (3) *urbanizarse paulatinamente* o, (4) pasar a ser terrenos para *agricultura de temporal*. Finalmente, recordando lo establecido en el apartado 1.1, *las áreas agrícolas que se abandonan tienden a urbanizarse rápidamente*.

5.4.2 UNIDADES DE SUELO Y CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

En el Mapa 3 se sintetiza la información concerniente a 2 mapas o temas para la región: 1) Unidades y subunidades edafológicas (FAO-UNESCO, 1989) y, 2) Clases y subclases de capacidad de uso de la tierra. Esto se logró porque las unidades de terreno separadas y los sistemas de clasificación empleados así lo permitieron. Vink (1963; cita en MOPT, 1991) señala que cuando se trabaja con fotografías aéreas a escala 1: 10,000 para obtener un mapa edafológico a la misma escala, las unidades cartográficas de suelos coinciden con las unidades taxonómicas de los mismos.

En la Tabla 32 se enlistan las claves empleadas en el Mapa 3 para designar sus correspondientes categorías. Puede observarse en ella, que ambos sistemas de clasificación se complementan, dando en lo posible, información más precisa de las categorías definidas.

Las unidades edafológicas reconocidas para el área de estudio fueron: *Antrosoles*, *Cambisoles*, *Fluvisoles*, *Phaeozem*, *Leptosoles* y *Regosoles*. Los *Leptosoles*, *Cambisoles* y *Regosoles* predominan en la zona cerril y de piedemonte, mientras que en las partes más planas de origen aluvial-lacustre, predominan los *Fluvisoles* y *Antrosoles*. Los *Phaeozem* se reconocieron en áreas muy reducidas, en transición entre los 2 grupos de suelos antes mencionados.

A pesar de que la escala del mapa es grande (1: 17,620) y de que la superficie de la unidad mínima cartografiable se considera debe ser de 0.25 cm², se aprecia que en el mapa muchas de las unidades cartográficas son menores a dicha superficie, porque hubo el problema de representar la alta heterogeneidad espacial de los suelos de chinampa. La complejidad de estos suelos corrobora lo establecido en el apartado 5.3, observándose una alta heterogeneidad tanto vertical como horizontal y reforzando su clasificación como *Antrosoles*.

En la definición de las unidades cartográficas, obviamente se trató de que éstas tuviesen congruencia con los diferentes parámetros de los sitios de muestreo y de que representasen gradientes de la superficie del suelo, principalmente en cuanto a salinidad y sodicidad. No siempre se pudo representar continuidad en dichos gradientes, pues en algunos casos, entre chinampas adyacentes se observaron saltos de niveles de algún parámetro, por ejemplo, de un nivel IIS3 a uno IVS3.

99° 04' 26" W
19° 16' 49" N

99° 02' 26" W
19° 16' 49" N



99° 04' 26" W
19° 14' 49" N

Escala aproximada: 1: 17,620

99° 02' 26" W
19° 14' 49" N

MAPA 3. UNIDADES EDAFOLÓGICAS Y CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA DEL ÁREA DE SAN GREGORIO ATLAPULCO, XOCHIMILCO (14/ENE/87).

TABLA 32. CLAVES Y CATEGORÍAS DEL MAPA 3, CONFORME A LOS SISTEMAS FAO-UNESCO (1989) Y DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA (USDA, Tabla 4).

Clave en Mapa	Clasificación FAO-UNESCO (1989)	Clasificación Capacidad de Uso	Clave en Mapa	Clasificación FAO-UNESCO (1989)	Clasificación Capacidad de Uso
1	ATcf fs, fn	I	5a	ATcf ps, pn	VS3
2a	ATcf	IIS1S6S7	5b	ATcfg ps, pn	VS3IIS4D3
2b	ATcf fs, fn	IIS3	5c	ATcfg ps, pn	VS3IVS4
2c	ATcf ps, pn	IIS3S4	5d	ATcf ps, pn	VS4IVS3
2d	ATcf fs, fn	IIS3D3	5e	ATcfg ps, pn	VS4IVS3
2e	ATcf ps, pn	IIS3S4 D3	5f	ATcfge ps, pn	VS4IVD3
3a	ATcf ps, fn	IIIS3	5g	ATcfge ps, pn	VS4IVS3D3
3b	ATcf ps, fn	IIIS3IID3	5h	ATcfg ps, pn	VS3S4
3c	ATcf ps, pn	IIIS3IIS4	5i	ATcfge ps, pn	VS3S4 IVD3
3d	ATcf fs, pn	IIIS4	B1	CMx/1 fl	VIIE1TIS2
3e	ATcf ps, pn	IIIS4IIS3	B2	CMx/2	IIIC1C2
3f	ATcfg fs, fn	IIID3	B3	CMe/1 fl	VS2S6S7
3g	ATcf ps, pn	IIIS3S4	B4	CMe/2	IIIC1C2
3h	ATcfg ps, pn	IIIS3D3		CMe/2 fr	IIIT2S5S7
3i	ATcfg ps, pn	IIIS4D3		FLc/2	IIIS1S6S7
3j	ATcfg ps, pn	IIIS3S4D3		FLm/2	IIID4S6S7
4a	ATcf ps, pn	IVS3		FLs/2 pn	IIIS3S4
4b	ATcfg ps, pn	IVS3IID3		FLsg/2 pn	VS3S4
4c	ATcf ps, pn	IVS3IIS4	F1	FLsge/2 pn	VS3S4IVD3
4d	ATcfg ps, pn	IVS3IIS4D3	H	PHh/2	IIIC1C2
4c	ATcf ps, pn	IVS4	L1	LPe/1	VIIE1TIS2
4f	ATcf ps, pn	IVS4IIS3	L2	LPe/2	VIIE1TIS2
4g	ATcfg ps, pn	IVS4IID3	L3	LPq/1	VIIIIE1TIS2
4h	ATcfg ps, pn	IVS4IIS3D3		RGe/2	IIIS1S6S7
4i	ATcfge ps, pn	IVS4D3		RGe/2 fr	IVS6S7IIIT1E1
4j	ATcf ps, pn	IVS3S4			
4k	ATcfg ps, pn	IVS3S4			

CLAVES DE LAS CATEGORÍAS EDAFOLÓGICAS:

AT: Antrosol, c: cumúlico, f: fímico; g: gléyico; ge: epi-gléyico.

CM: Cambisol, x: crómico; e: éútrico

FL: Fluvisol; e: éútrico, m: mólico, s: sálico; g: gléyico; ge: epi-gléyico.

PHh: Phaeozem háplico;

LP: Leptosol, e: éútrico, q: lítico.

RGe: Regosol éútrico

Clases Texturales /1: gruesa; /2: media.

ps: propiedades salinas; fs: fase salina; fl: fase lítica,
pn: propiedades sódicas; fn: fase sódica; fr: fase rúdica,

NOTA: La descripción específica de estas categorías y características se mencionan en el Apéndice A2

Los patrones generales de distribución de las sales y el sodio intercambiable se aprecian de la siguiente manera en el Mapa 3.

1. En la parte cerril y partes bajas al sur del área, así como en algunas chinampas adyacentes al canal *Apatlaco* no hay problemas en cuanto a estos parámetros.
2. Las chinampas al noreste de San Gregorio, al sur del canal *El Bordo* y al este del canal *San Sebastián*, presentan problemas severos y fuertes de salinidad y/o sodicidad (clases VS3IVS4, IVS3S4, IVS3, IVS4, IIS3), con problemas también de drenaje (clases IID3 y IVD3).
3. Las chinampas en la porción central del mapa, entre los canales *El Bordo* y *Apatlaco* manifiestan salinidad y/o sodicidad fuertes y moderadas (clases VS3, VS3IVS4, IVS3, IVS4IIS3, IVS3IIS4, IVS3S4, IIS3, IIS4, IIS4IIS3, IIS3S4). En algunas porciones los niveles de estos parámetros fueron ligeros (clases IIS3 y IIS3S4).
4. La mayor parte de las chinampas en la porción centro-oeste del mapa, entre los canales *El Bordo* y *Apatlaco* muestran problemas fuertes de salinidad (clases IVS3 y IVS3IIS4), otra porción importante comprende chinampas con salinidad y/o sodicidad moderada (clases IIS3, IIS3IIS4, IIS4, IIS4IIS3 y IIS3S4); porciones menores de terreno tienen sodicidad y/o salinidad muy fuerte (clases VS4IVS3, IVS4 y IVS3S4) o ligera (clases IIS3 y IIS3S4).
5. Las suelos al norte de San Gregorio entre los canales *El Bordo* y *Chalco*, se consideraron los más degradados por salinidad y sodicidad, siendo no aptos para la agricultura (clases VS3S4, VS3IVS4 y VS4IVS3).
6. Observando detenidamente el Mapa 3 y la Tabla 32 en cuanto a las categorías de capacidad de uso de los suelos de chinampa y los fluvisoles con problemas de salinidad y sodicidad, se reconoce que la predominancia de las clases, tanto en superficie como en número de categorías, se da en orden descendente, es decir, V, IV, III, II y I, lo cual pone en evidencia que el nivel de degradación de los suelos en la zona por salinidad y sodicidad es muy agudo.

Las *principales limitaciones* para el *uso agrícola* de los *suelos de la zona cerril* son: ser someros o muy someros (profundidad efectiva de 25 – 50 cm), la presencia de fase lítica o rúdica (pedregosa), el riesgo de erosión desde moderadamente alto a muy alto, las pendientes pronunciadas (25 – 100%) y la baja capacidad de almacenamiento de agua (0 – 15 cm) y nutrimentos para las plantas (0 – 15 cmol(+)/kg). Para los *suelos de la zona ahivial-lacustre*, sus *principales limitaciones* son: salinidad ($CE \geq 4$ dS/m), sodicidad ($PSI \geq 15$), manto freático elevado (0 – 50 cm), riesgo de inundación en las áreas más bajas y en algunas partes también baja capacidad de almacenamiento de agua (7.5 – 15 cm) y nutrimentos (5 – 15 cmol(+)/kg).

Los *Antrosoles* y *Fluvisoles* salinos y sódicos tampoco son aptos para uso urbano, porque tienen problemas de: compactación y hundimientos diferenciales; humedad y corrosividad para las construcciones y riesgo de inundación, por consiguiente, es mejor rehabilitar estos suelos por su alto potencial agrícola.

Es importante aclarar que los mapas que se presentan en este trabajo, especialmente el tercero, necesitan mayor verificación en campo y laboratorio para su validación, ya que en un sentido estricto, los 20 sitios empleados como apoyo se consideran insuficientes. A este respecto, Vink (1963; cita en MOPT, 1991) establece que para un mapa edafológico 1:10 000, el número aproximado de observaciones en el campo por km² debe ser de 100 – 500. Tomando en cuenta que el Mapa 3 cubre una extensión aproximada de 12 km² y suponiendo una densidad de muestreo de 100 sitios/km², entonces, el número aproximado de éstos debió ser de 1200 para darle mayor validez a dicho mapa.

5.5 ESTRATEGIAS GENERALES PARA LA REHABILITACIÓN – CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS Y EL AMBIENTE DE LA ZONA DE ESTUDIO

1. Para los suelos agrícolas del *área cerril y de piedemonte* conviene formar terrazas y plantar árboles alrededor de éstas, formando cortinas rompevientos; Para los suelos no agrícolas conviene reforestar, especialmente con árboles frutales que han sido de interés para los habitantes de la zona (tabla 10).
2. Dado que los suelos de la *zona aluvial-lacustre*, se encuentran en una cuenca cerrada, con una desecación progresiva y con el aporte continuo de aguas contaminadas, entonces, su rehabilitación respecto a salinidad y sodicidad, involucraría los siguientes aspectos:

a) Extraer las sales en exceso de toda la zona:

- i) Si el ascenso y acumulación de las sales en la superficie del suelo es un proceso dominante, esto puede aprovecharse con la ayuda de mejoradores químicos como el CaCl_2 , azufre, yeso y KCl que formen sales solubles de Mg y Na (para extraer) y que a la vez cambien las proporciones de los cationes intercambiables a un nivel óptimo para la producción de cultivos: $\text{Ca}^{++} = 60 - 70 \%$; $\text{Mg}^{++} = 10 - 20 \%$; $\text{K}^+ = 2 - 5 \%$; $\text{Na}^+ = 2 - 4 \%$ (PPL, 1988; cita en Vázquez y Bautista, 1993).
- ii) Lavar la totalidad de los suelos (también con el uso de mejoradores) desde las áreas con mayor altitud hasta las más bajas, para acumular y extraer las sales. Obviamente, para lograr esto, debe primero realizarse lo siguiente

b) Restablecer el nivel y la circulación hidráulica en los canales.

c) Mejorar la calidad de depuración de las plantas de tratamiento de aguas residuales y aumentar el número de las mismas.

d) Aunque la materia orgánica es una variable edafológica importante, su uso en estos suelos mediante la adición de estiércol, implica 2 limitaciones fundamentales:

- i) Un gasto considerable para los campesinos.
- ii) Un mejoramiento del suelo por un tiempo limitado, porque como se mencionó en el apartado 5.1, la materia orgánica tiene un límite de saturación por cationes intercambiables, después del cual, sus efectos benéficos para el suelo dejan de ser importantes

3. Dado que la urbanización ha promovido y acelerado la degradación del ambiente, entonces, la conservación de éste implica la reactivación de la agricultura de la zona, para que se frenara o disminuyera el ritmo de urbanización.
4. Es necesario dar apoyo técnico a los campesinos respecto al uso de fertilizantes, mejoradores, agua, cultivos viables y técnicas para rehabilitar los suelos, etc
5. Pueden emplearse cultivos tolerantes a las sales y el sodio y con elevada evapotranspiración, según lo recomendado en el apartado 1.2.2.6.

6. CONCLUSIONES

6.1 CALICATAS 114 Y 115

1. Los valores de densidad aparente (DA) determinados mediante el método de la probeta (Baver, 1956), se consideran subestimados, y consecuentemente, los de porosidad sobreestimados. El método del terrón con parafina (Blake and Hartge, 1986) es mejor para determinar la DA de suelos que pueden formar terrones.
2. A pesar de las pocas correlaciones observadas de la MO con otras variables, o de su relativo bajo peso en el Análisis de Componentes Principales, la importancia de ésta es de todos modos evidente por la asociación que demostró con el "Limo", las sales solubles e intercambiables, las densidades aparente y real, la porosidad y el agua que puede retener el suelo o la que puede necesitar para su lavado. Dado que se reconoce como una variable edafológica importante, entonces, se resalta la necesidad de más repeticiones de ésta al momento de determinarse.
3. Según los resultados obtenidos, los volúmenes de agua agregados y retenidos por el suelo para obtener las pastas de saturación, dependieron directamente de la MO y la porosidad, e inversamente de las densidades aparente y real. Dichos volúmenes mostraron también pero en menor grado, una relación directa con el contenido de arcilla.
4. Los altos porcentajes de arcilla en la calicata 115 han promovido una mayor salinización y sodificación del suelo respecto a la calicata 114. Ambas se consideran salino - sódicas según los resultados de pH, CE y PSI.
5. Dado que la SCI fue mucho mayor que la CICT, se reconoció entonces, que dicha suma corresponde mas bien a los cationes solubles + intercambiables; esto resalta también la necesidad de buscar mejores métodos para determinar la CICT y los cationes intercambiables en suelos salino-sódicos.
6. Los cationes solubles calculados (SCI-CICT) fueron mayores que los determinados analíticamente (SCS2), lo cual indicó que el suelo está sobresaturado con sales y que éstas no se removieron con un solo lavado a capacidad de campo, sino que se necesitarían para la C-114 de 2-11 lavados (prom = 8) y para la C-115 de 5-16 lavados (prom = 10) según los cálculos con los extractos de las pastas de saturación.
7. La predominancia de los iones evaluados fue de la siguiente manera:
Cationes intercambiables: $Mg^{++} > Ca^{++} > Na^{+} > K^{+}$
Cationes solubles: $Na^{+} > Mg^{++} > Ca^{++} > K^{+}$ (C-114), $Mg^{++} > Na^{+} > Ca^{++} > K^{+}$ (C-115)
Aniones solubles: $SO_4^{-} > Cl^{-} > HCO_3^{-} > CO_3^{-}$
8. La marcada acumulación de sales de 0-40 cm, especialmente sulfatos y cloruros de Na y Mg, revela que éstas son muy solubles y fáciles de remover mediante lavados. También se aprecian como las sales más abundantes, intensificándose las propiedades sódicas del suelo por los altos contenidos de Mg^{++} soluble e intercambiable.
9. En 7 de las 10 capas analizadas de la C-114 (en la C-115 en todas) predominaron los aniones solubles respecto a los cationes solubles, lo cual se atribuyó a la MO, y que por ésto se haya producido una correlación negativa entre el pH del Extracto y los pH's con KCl y agua.
10. En la calicata 115 se reconoce con mayor claridad que en el caso de la calicata 114, la importancia de la MO en el suelo, además de que se refuerzan las aseveraciones establecidas en los análisis de componentes principales sobre las interrelaciones entre la MO y las demás variables estudiadas.

11. Dentro de los resultados que destacan al comparar las calicatas 114 y 115 y que pueden ser atribuibles a la materia orgánica están:

- A mayor cantidad de MO, mayor cantidad de Limo y menor de arcilla.
- Menores densidades aparente y real, y a su vez, mayor porosidad y aireación del suelo.
- Valores más altos de las variables SCI, CICT y SCI-CICT.
- Mayor proporción de cationes en forma intercambiable y disminución en sus formas solubles.
- Predominio de aniones solubles respecto a los cationes solubles.
- Mayor número de lavados para remover las sales, lo cual sugiere una mayor capacidad de retención de sales por parte de los suelos orgánicos.
- Amortiguamiento de las condiciones desfavorables para el suelo y las plantas, ocasionadas por el sodio y las sales en general.

6.2 BALANCE HÍDRICO

1. Respecto a las condiciones climáticas y a los suelos con problemas de salinidad y sodicidad, los resultados obtenidos mediante el método de Thornthwaite (1948), indican que el proceso dominante es el ascenso y acumulación de las sales en la superficie del suelo.
2. Los altos contenidos de MO, limo y arcilla pudieran estar atenuando los efectos desfavorables del déficit hídrico para las plantas en los meses de estiaje.
3. El abatimiento del nivel freático y la desecación del área disminuyen la reserva de agua en el suelo y agudizan la duración del déficit hídrico.
4. Los suelos que no se manejen apropiadamente o se rehabiliten respecto a salinidad y sodicidad, disminuirán su diversidad y densidad vegetal, lo cual a su vez, incrementará la evaporación desde el suelo y retroalimentará la degradación del mismo.

6.3 USOS DEL SUELO Y SUS CAMBIOS

1. Entre las tendencias de cambio de uso del suelo, la urbanización es la fuerza dominante.
2. El crecimiento urbano en el área de estudio ha aumentado rápidamente en las partes bajas de los cerros y en las chinampas del norte de San Gregorio y Santa Cruz.
3. La urbanización se ha promovido en los terrenos sin uso, con pendientes bajas, cercanos a caminos transitables y áreas urbanas.
4. La construcción de puentes sobre los canales ha facilitado la urbanización de las chinampas y la pérdida de los mejores suelos para uso agrícola.
5. Considerando las categorías temáticas definidas en los mapas 1 y 2, las tendencias de cambio entre ellas se resumen así:

Áreas con bosque ⇒ Áreas con vegetación secundaria ⇒ Terrenos con agricultura de temporal o chinampas sin uso agrícola ⇒ Terrenos urbanos.

En las 2 primeras categorías la urbanización suele darse paulatinamente, mientras que en la tercera lo hace rápidamente

6.4 UNIDADES DE SUELO Y CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

1. Dada la alta heterogeneidad vertical y horizontal de los suelos de chinampa, especialmente en cuanto a su textura y altos contenidos de materia orgánica, ellos se clasificaron como *Antrosoles* (FAO-UNESCO, 1989).
2. Las unidades edafológicas reconocidas para el área de estudio fueron: *Antrosoles*, *Cambisoles*, *Fluvisoles*, *Phaeozem*, *Leptosoles* y *Regosoles*. Los *Leptosoles*, *Cambisoles* y *Regosoles* predominan en la zona cerril y de pie de monte, mientras que en las partes más planas de origen aluvial-lacustre, predominan los *Fluvisoles* y *Antrosoles*. Los *Phaeozem* se reconocieron en áreas muy reducidas, en transición entre los 2 grupos de suelos antes mencionados.
3. Los *Antrosoles* y *Fluvisoles* mostraron ser los suelos afectados por salinidad y sodicidad, desde niveles ligeros hasta volverse inapropiados para la agricultura.
4. La salinidad y sodicidad de los suelos aumentan en general de sur a norte, pero también hacia el noreste y el noroeste de San Gregorio, hacia las áreas con menor altitud y sujetas a inundaciones.
5. Respecto a las categorías de capacidad de uso de los *Antrosoles* y *Fluvisoles* con problemas de salinidad y sodicidad, se reconoce que la predominancia de las clases, tanto en superficie como en número de subclases, se da en orden descendente, es decir, V, IV, III, II y I, lo cual pone en evidencia que el nivel de degradación de los suelos en la zona por salinidad y sodicidad para la fecha de 14/ene/87 es muy agudo, y debe serlo aún más actualmente; seguramente ya no existan suelos clase I, y es de esperar que todos se hayan incrementado al menos una clase.
6. Las *principales limitaciones* para el uso agrícola de los *suelos de la zona cerril* son: suelos someros o muy someros, la presencia de fase lítica o rúdica (pedregosa), el riesgo de erosión, las pendientes pronunciadas y la baja capacidad de almacenamiento de agua y nutrimentos para las plantas. Para los *suelos de la zona aluvial-lacustre*, sus *principales limitaciones* son: salinidad, sodicidad, manto freático elevado, riesgo de inundación en las áreas más bajas y en algunas partes también baja capacidad de almacenamiento de agua y nutrimentos.
7. Los *Antrosoles* y *Fluvisoles* salinos y sódicos tampoco son aptos para uso urbano, porque tienen problemas de compactación y hundimientos diferenciales; humedad y corrosividad para las construcciones y riesgo de inundación, por consiguiente, conviene rehabilitar estos suelos por su alto potencial agrícola.

7. REFERENCIAS

- Aceves, N.E., 1979. "El ensalitramiento de los suelos bajo riego". Colegio de posgraduados. Rama de riego y drenaje. Chapingo, México. 376 pp.
- Aguilera, H.N., 1989. *Tratado de Edafología de México. Tomo I. Laboratorio de Investigación de Edafología.* Departamento de Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. 272 pp.
- Antoine, J., 1990. Applications of Geographic Information Systems in Land Resources. pp: 235-263. In: Remote Sensing Applications to Land Resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Remote Sensing Center. Research and Technology Development Division Agriculture Department. RSC series 54. Report of the 14th UN/FAO International Training Course. Course in Cooperation with the Government of Italy. Rome Italy, 6-24, November 1989.
- Bastida, A y Maciel, I., 1986. Estudio Físico y Económico-Social de Xochimilco. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Baver, H.D., 1956. Soil physics. John Wiley and Sons Inc. New York, Chapman & Hall Ltd, London.
- Becerril, R.M.L.G. y Diaz, L.I.F., 1993. Chinampas de San Gregorio Atlapulco. Tesis de Biología, Fac. de Ciencias, UNAM, 83 pp.
- Blake and Hartge, 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. SSSA Book Series 5, 2nd Edition. Arnold Klute, Editor.
- Bohn, H.L., McNeal, B.L. y O'connor G.A., 1993. Química del suelo. LIMUSA - Noriega Editores, 370 pp
- Bresler, E., McNeal B.L. and D.L. Carter, 1982. Saline and sodic soils. Principles-Dynamics-Modelling. Springer-Verlag. N.Y., U.S.A. 236 pp
- Bouyoucos, G.V., 1961. "Directions of making mechanical analysis of soil by hydrometer method". Soil Science 42: 25 - 30.
- Buckman, H.O. y N.C. Brady, 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simon S.A. Barcelona, 590 pp.
- Carbajal, L.M., 1985. Proyecto de Desarrollo Rural Integral de la Zona Chinampera. Programa Agrícola, Subprograma de Organización de Productores, SARH. Representación General en el D.F., Distrito Agropecuario y Forestal de Temporal. No 1 Xochimilco, D.F. sin núm. de págs
- Castillo, A.G.I., 1993. Rehabilitación de Suelos de Chinampa a Nivel Invernadero, Paraje Texhuilo, Xochimilco, D.F. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, 88 pp.
- CETENAL, 1976a. Carta topográfica de la Ciudad de México (E - 14 - A - 39), escala 1: 50 000
- _____, 1976b. Carta topográfica de la Ciudad de México (E - 14 - A - 49), escala 1: 50 000.
- COLMEX-DDF, 1987. Atlas de la Ciudad de México. Plaza y Valdez Editores, México.
- CNA, 1989. Manual de Clasificación, Cartografía e Interpretación de Suelos, con base en el Sistema de Taxonomía de Suelos (1ª versión) IMTA, Tecnología de Riego y Drenaje.
- Cruickshank, G.G., 1988. Apoyo de Emergencia a la Zona Lacustre de Xochimilco-Tláhuac. Síntesis del Informe del Proyecto: TCP/MEX/6652(E). Dir. Gral del Proyecto Xochimilco-Tláhuac. Cooperación Técnica: FAO-SARH-DDF-SRA.
- DDF, 1989. Rescate Ecológico de Xochimilco. Folleto 52 pp., DDF, México.
- Domínguez, R.V.I. y Aguilera, H.N., 1990. Metodología de Análisis Físico-Químicos de Suelos. Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. 34 pp.
- Dunne, T. and Leopold, L.B., 1978. Water in environmental planning. Freeman, San Francisco
- Escobedo, F.R., 1987. Estudio edafológico de chinampas de Xochimilco y San Gregorio. Tesis de Biología, Fac. de Ciencias, UNAM, 80 pp.

- FAO-UNESCO, 1989. Mapa Mundial de Suelos, Leyenda Revisada. Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 60. Roma, 1989.
- Fernández Q.C.M., 1988. Manejo y recuperación de un suelo salino-sódico en chinampas de Xochimilco. Tesis de Biología, Fac. de Ciencias, UNAM
- García, E., 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México, 245 pp.
- Gavande, S. A., 1991. Física de Suelos: Principios y Aplicaciones. Editorial LIMUSA, págs: 161-165.
- Gerasimov, I.P. and Ivanova, E., 1959. Comparison of Three Scientific Trends in Resolving General Question of Soil Classification. *Sov. Soil Sci.* 1-18.
- González, M.A., Acosta G.J., Duffing E., Gómez A.T., Gómez F.P.G., Ortiz A.M.E. y Romero L.P., 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. Nov. 1990. 127 pp.
- González, M.A., 1991. Xochimilco. La Salvación de las Aguas. México Indígena, No. 13: 25-33, Abril 1991, Edit. Nueva Época.
- Guía Roji, 1994. Ciudad de México. Área Metropolitana y Alrededores. Guía Roji S.A. DE C.V., Méx. D.F.
- INEGI, 1986. Ciudad de México. Carta de Efectos Climáticos Noviembre-Abril, 1: 250,000. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- _____, 1990. Guías para la Interpretación de Cartografía: Uso Potencial del Suelo. 49 pp.
- Jáuregui, E., 1987. Climas. Atlas de la Ciudad de México. Colegio de México, DDF y Plaza y Valdés Editores, México.
- Jackson, M. L., 1982. "Análisis Químico de Suelos". 4ª Edición, OMEGA, Barcelona, España.
- Jeffers, J.N.R., 1978. An Introduction to System Analysis: With Ecological Applications. Edward Arnold (Ed), London, 199 pp.
- Mendoza, R.M., 1961. Estudio Geográfico de la Delegación Xochimilco. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1991. Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico: Contenido y Metodología; 3ª Edición; Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, MOPT, Madrid, España, págs: 88-98.
- Mooser, F., 1961. Informe sobre la Geología de la Cuenca del Valle de México y sus Zonas Colindantes. SRH CHCVM, México.
- _____, F., 1987. Geología. Atlas de la Ciudad de México. Colegio de México, DDF y Plaza y Valdés Editores, México.
- Munsell Color Company, 1975. Munsell Soil Color Charts. Baltimore, Maryland, USA.
- Negendank, F.W. and Jörg T., 1972. Volcanics of Valley of Mexico. Description of some volcanics rocks with special consideration of the opaques. Stuttgart, Mai.
- Nieves, B.M. y Torcal S.L., 1983. Introducción a la Práctica de la Fotoedafología (Primera Parte). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 41 pp.
- Novelo, R.A. y Gallegos M.M., 1988. Estudio de la Flora y la Vegetación Acuática relacionada con el Sistema de Chinampas en el Sureste del Valle de México. *Biótica* 13 (1, 2): 121-139.
- Ortega, T.E., 1987. Química de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, 152 pp.
- Pizarro, F., 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. Agrícola Española. España, 520 pp.

- Fla, L.E., 1986. Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D.C., 94 pp.
- Popma, J.A.M., 1988. Presentación de Programas con Métodos Estadísticos Multivariados Usados en el Análisis de Comunidades. Memoria del Taller: Base de Datos Biológicos y Estadísticos. Octubre 17-28 de 1988. Escuela Internacional de Computación, UNAM-IBM.
- Porta, C.J., López-Acevedo, R.M. y Roquero L.C., 1994. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Castelló 37, Madrid.
- Ramos, C.P.J., 1990. Estudio Edafológico de Algunas Chinampas de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco. Tesis de Biología. Fac. de Ciencias, UNAM, 112 pp.
- Richards, L.A. (Ed), 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. LIMUSA, México. 172 pp.
- Rojas, R.T., 1990. Chinampas: Un Legado. Revista México Indígena. No 6, marzo de 1990. págs: 42-45.
- Sánchez, S.L., 1989. Algunos Estudios Edafológicos en San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, D.F.. Tesis de Biología. Fac. de Ciencias, UNAM, 110 pp.
- Saulés, G.R., 1986. Estudio de algunas características físicas y químicas del suelo, en relación al cultivo de soya inoculada con *Rhizobium* sp., en Santa Cruz Acalpixa, Xochimilco. Tesis para obtener el título de Químico Farmacéutico Biólogo. Fac. de Química, UNAM, 88 pp.
- SRH, 1972. Dirección General de Estudios Especiales, Dir. de Agrología. Instructivo para la determinación del clima de acuerdo al Segundo Sistema de Thornthwaite, México, 30 pp.
- 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.
- _____, 1980. Centro de Agricultura. Hoja Milpa Alta E-14-A-49, México
- 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 Balluff F.M.C., 1989. Salinization and Solodization. Chapter 11: 81-84. In: Soil Morphology, Genesis and Classification. John Wiley and Sons.
- Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agriculture Handbook 436.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. Geogr. Rev. 38: 55-94.
- Thornthwaite, C.W. and Mather J.R., 1955. The Water Budget and Its Use in Irrigation. USDA Yearbook of agriculture. USDA, Washington, 346-358.
- Valdez, M.G., 1995. Recuperación de un Suelo Salino-Sódico en una Chinampa de la Laguna del Toro, Xochimilco, D.F.. Tesis de Biología. Fac. de Ciencias, UNAM, 104 pp.
- Vallejo, A.C., 1992. Contaminación de Suelos en Algunas Calicatas en San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxiátemalco, D.F. Tesis de Biología. Fac. de Ciencias, UNAM, 78 pp.
- Vargas-Gómez M.L., (En redacción). "Génesis, Mineralogía y Taxonomía del Orden Vertisol". Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Veruette, F.J., 1967. Notas sobre Fotogrametría y Fotointerpretación Instituto Agrario Nacional Programación y Presupuesto. Evaluación y Programación. Caracas, Venezuela, 68 pp.
- Walkley, A.L., 1947. A rapid determination of soil organic matter. Jour. Agr. 25(598): 63-68.

APÉNDICE A1:

DESCRIPCION DE LA FORMULA CLIMATICA CORRESPONDIENTE A LA ESTACION METEOROLOGICA XOCHIMILCO (García, 1988).

Fórmula Climática: $C(w_2)(w)b(i')w''$	
SIMBOLO	SIGNIFICADO
C	Grupo de climas templados húmedos y subhúmedos
Cw	Tipo de clima templado subhúmedo con lluvias en verano: Por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco. Precipitación del mes más seco menor a 40 mm.
C(w ₂)(w)	Subtipo climático dentro del clima C(w)
(w ₂)	El subtipo más húmedo dentro de los templados subhúmedos. Cociente P/T > 55.0
(w)	Precipitación invernal < 5 % de la anual.
b	Designación para describir las condiciones de temperatura:
Cb	Clima templado con verano fresco largo. Temperatura media anual entre 12 y 18° C. Temperatura media del mes más frío entre -3 y 18° C. Temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22° C.
<i>Variantes Climáticas</i>	
(i')	Con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales: entre 5 y 7° C.
w''	Con presencia de <i>canicula</i> : La época más seca es en el invierno, existiendo otra época seca (menos húmeda) en el verano, separando 2 estaciones lluviosas.

APÉNDICE A2:

DESCRIPCION DE LAS CATEGORÍAS EDAFOLÓGICAS EMPLEADAS (FAO-UNESCO, 1989)

ANTROSOLES (AT):

Suelos en los cuales las actividades humanas han provocado profundas modificaciones de las características originales del suelo, a través de la remoción o perturbación de los horizontes superficiales, cortes y rellenos, adiciones frecuentes de materiales orgánicos, riego continuo por mucho tiempo, etc.

Antrosoles cumúlicos (ATc): Antrosoles que presentan una acumulación de sedimentos con una textura migajón arenosa o fina, de más de 50 cm de espesor, como consecuencia de riego continuo y prolongado o de la elevación de la superficie del suelo hecha por el hombre.

Antrosoles fimicos (ATf): Antrosoles que tienen un horizonte "A" fimico.

Antrosoles cumúlico-fimicos (ATcf): Categoría propuesta en este trabajo para definir un intergrado entre las 2 anteriores y que es más acorde con los suelos de chinampa.

CAMBISOLES (CM)

Suelos que tienen un horizonte "B" cámbico y un horizonte "A" ócrico o úmbrico; carecen de propiedades sálicas; carecen de las características que son de diagnóstico para Vertisoles o Andosoles; carecen de propiedades gléicas dentro de una profundidad de 50 cm a partir de la superficie.

Cambisoles éutricos (CMe): Cambisoles con un horizonte "A" ócrico y un grado de saturación (por NH_4OAc) del 50 % o más, al menos entre 20 y 50 cm de profundidad desde la superficie, pero que no son calcáreos en esta profundidad; el horizonte "B" cámbico no es de color pardo fuerte a rojo; carecen de propiedades: a) vérticas, b) ferrálicas en el horizonte "B", c) gléicas en una profundidad de 100 cm, o d) de permafrost en una profundidad de 200 cm a partir de la superficie.

Cambisoles crómicos (CMx): Cambisoles con un horizonte "A" ócrico y un grado de saturación (por NH_4OAc) del 50 % o más, al menos entre 20 y 50 cm de profundidad desde la superficie, pero que no son calcáreos en esta profundidad; el horizonte "B" cámbico es de color pardo fuerte a rojo; carecen de propiedades: a) vérticas, b) ferrálicas en el horizonte "B", c) gléicas en una profundidad de 100 cm, o d) de permafrost en una profundidad de 200 cm a partir de la superficie.

FLUVISOLES (FL):

Suelos que presentan propiedades flúvicas y sólo tienen como horizontes de diagnóstico: un horizonte "A" ócrico, úmbrico o móllico; o un horizonte "H" hístico, o un horizonte sulfúrico o material sulfuroso dentro de una profundidad de 125 cm a partir de la superficie.

Fluvisoles éutricos (FLe): Fluvisoles que tienen un grado de saturación (por NH_4OAc) del 50 % o más, como mínimo entre 20 y 50 cm de profundidad desde la superficie, pero que no son calcáreos en esta profundidad; carecen de un horizonte sulfúrico y de material sulfuroso dentro de una profundidad de 125 cm a partir de la superficie; carecen de propiedades sálicas.

Fluvisoles móllicos (FLm): Fluvisoles que tienen un horizonte "A" móllico o un "H" hístico éutrico; carecen de un horizonte sulfúrico y de material sulfuroso dentro de una profundidad de 125 cm a partir de la superficie; carecen de propiedades sálicas.

Fluvisoles sálicos (FLs): Fluvisoles que tienen propiedades sálicas.

LEPTOSOLES (LP):

Suelos limitados en profundidad por roca dura continua o por material muy calcáreo (carbonato cálcico equivalente > 40 %), o por una capa continua cementada dentro de una profundidad de 30 cm a partir de la superficie, o que tienen menos del 20 % de tierra fina hasta 75 cm de profundidad; sólo tienen como horizontes de diagnóstico un horizonte "A" móllico, úmbrico u ócrico, con o sin un horizonte "B" cámbico.

Leptosoles éutricos (LPe): Leptosoles con un horizonte "A" ócrico y un grado de saturación (por NH₄OAc) del 50 % como mínimo en todo el horizonte; carecen de roca dura o de una capa continua cementada dentro de una profundidad de 10 cm y de permafrost en 200 cm de profundidad a partir de la superficie.

Leptosoles líticos (LPq): Leptosoles limitados en profundidad por roca dura continua o por una capa continua cementada dentro de una profundidad de 10 cm a partir de la superficie.

PHAEOZEMS (PH):

Suelos con un horizonte "A" móllico y que tienen un grado de saturación (por NH₄OAc) \geq 50 %, al menos en los 125 cm superiores del perfil; carecen de los siguientes horizontes de diagnóstico: cálcico (y concreciones de caliza pulverulenta blanda), gypsico, "B" ferrálico o nátrico; carecen de las características que son diagnóstico para Vertisoles, Nitisoles, Planosoles o Andosoles; carecen de propiedades sálicas; carecen de propiedades gléicas en una profundidad de 50 cm a partir de la superficie cuando no existe un horizonte "B" árgico y carecen de granos de arena y limo sin revestimientos sobre las superficies de las unidades estructurales, cuando el horizonte "A" móllico tiene una intensidad de color, en húmedo, de 2 o menos, hasta una profundidad de 15 cm por lo menos.

Phaeozems háplicos (PHh): Phaeozems que carecen de un horizonte "B" árgico y que no son calcáreos entre 20 y 50 cm de profundidad desde la superficie; carecen de propiedades gléicas en una profundidad de 100 cm a partir de la superficie y carecen de propiedades estágnicas.

REGOSOLES (RG):

Suelos procedentes de materiales no consolidados, excepto materiales de textura gruesa o con propiedades flúvicas, que sólo tienen como horizontes de diagnóstico un horizonte "A" ócrico o úmbrico; carecen de las características que son diagnóstico para Vertisoles y Andosoles; carecen de propiedades gléicas en una profundidad de 50 cm a partir de la superficie; carecen de propiedades sálicas.

Regosoles éutricos (RGe): Regosoles que tienen un grado de saturación (por NH₄OAc) del 50 % o más, al menos entre 20 y 50 cm de profundidad desde la superficie, pero que no son calcáreos en la misma profundidad; carecen de permafrost en una profundidad de 200 cm a partir de la superficie.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

Horizonte "A" fimico (del latín *finum* estiércol, purín, fango) es una capa superficial hecha por el hombre de 50 cm o más de profundidad, que se formó mediante un abonado continuo durante mucho tiempo, con mezclas de tierra.

Propiedades flúvicas: se refiere a los sedimentos fluviales, marinos y lacustres que reciben materiales frescos a intervalos regulares y que, excepto los de polders, tienen una o ambas de las siguientes propiedades: 1) un contenido en carbono orgánico que decrece irregularmente con la profundidad o que permanece por encima del 0.2 % a una profundidad de 125 cm. Los estratos delgados de arenas pueden tener menos carbono orgánico si los sedimentos situados debajo (más finos); con exclusión de los horizontes "A" enterrados,

cumplen los requisitos; 2) estratificación en al menos el 25 % del volumen del suelo dentro de una profundidad de 125 cm a partir de la superficie.

Propiedades gléicas y estágnicas: estos términos se refieren a materiales edáficos que están saturados con agua en algún periodo del año o todo el año, en la mayoría de los años, y que muestran señales evidentes de procesos de reducción o de reducción y segregación de fierro. En los *Antrosoles* y *Fluvisoles* del mapa 3, el término *gléico* se usó para definir la existencia de propiedades gléicas en el suelo en una profundidad entre 50 y 100 cm desde la superficie, mientras que *epi-gléico* cuando éstas se presentaron en los 50 cm superficiales.

Propiedades sálicas: este término se refiere a una conductividad eléctrica del extracto saturado $> 15 \text{ dS m}^{-1}$ a 25° 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 $\text{pH} > 8.5$.

Propiedades sódicas: este término se refiere a una saturación en el complejo de cambio del 15 % como mínimo, de sodio intercambiable o ≥ 50 % de sodio + magnesio intercambiables.

Fase sálica - La 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 dS m^{-1} a 25° 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 ≥ 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.

Fase lítica - esta fase se usa cuando se presenta roca dura continua dentro de una profundidad de 50 cm a partir de la superficie.

Fase rúdica - esta fase indica áreas en las que la presencia de gravas, piedras, rocas y afloramientos rocosos en las capas superficiales o en la superficie, hace impracticable el uso de equipos agrícolas mecanizados. Herramientas manuales y equipo mecánico simple pueden usarse si otras condiciones son particularmente favorables. Los fragmentos con un diámetro de hasta 7.5 cm son considerados como gravas; los fragmentos mayores se denominan piedras o rocas. Aunque esta diferencia de tamaño no puede ser reflejada en un mapa a pequeña escala, obviamente es importante para propósitos del manejo del suelo.

Textura gruesa: arenas, arenosos francos y franco arenosos con menos del 15 % de arcilla y más del 70 % de arena.

Textura media: franco arenosos, francos, franco arcillo arenosos, franco limosos, 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 el 85 % si presenta un mínimo de 15 % de arcilla.