

68



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE SUELOS DE
CHINAMPA CONTAMINADOS POR SALES
Y/O SODIO EN XOCHIMILCO, MIXQUIC Y
TLAHUAC

T E S I S

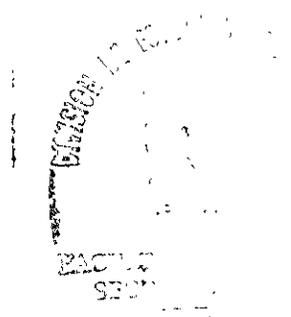
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G A
P R E S E N T A
ELIZABETH FUENTES ROMERO

2001

DIRECTOR DE TESIS: NORMA E. GARCIA CALDERON



2001





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.



MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
Estudio comparativo de suelos de chinampa contaminados por
sales y/o sodio en Xochimilco, Mixquic y Tlahuac.

realizado por Elizabeth Fuentes Romero.

con número de cuenta 8725410-7, pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario Dra. Norma E. García Calderón

Propietario Dr. Miguel Ortíz Olguín

Propietario M en C. María del Socorro Galicia Palacios

Suplente Biol. Abel Ibañez Huerta

Suplente Biol. Caudia Vallejo Albarrán

FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología

Dra. Luisa A. Alba Lois



DEPARTAMENTO DE
DE BIOLOGÍA

Dedicado a mi corazón, mi familia

A mi madre, Graciela por su dedicación

A mi abuela Ana por su fuerza

A mis amados hermanos Memo y Marco

A Noé

A la memoria del Dr. Nicolás Aguilera Herrera

Agradecimientos

Quiero agradecer de manera especial a la Dra. Norma E. García Calderón por la dirección de este trabajo de investigación, así como por su confianza y apoyo brindados en todo momento. Reconociendo su enorme esfuerzo invertido para el término de este trabajo.

Agradezco al Dr. Miguel Ortiz Olguín, M en C María del Socorro Galicia Palacios, y a los Biólogos Abel Ibañez Huerta y Claudia Vallejo Albarrán por la revisión de este trabajo; así como por sus comentarios y observaciones que fueron importantes para el desarrollo y mejoramiento del mismo.

Quiero agradecer a Luz María Gurrola, Rosalia Ramos, Abel Ibañez y Claudia Vallejo, quienes me asistieron en el campo, cuya presencia y entusiasmo hicieron agradable los muestreos

Gracias a mis amigos del laboratorio de Edafología, Italia, Abel, Martha, Mary, Luz Maria, Claudia quienes amablemente me enseñaron las técnicas de laboratorio para el análisis, físico, químico y de salinidad de los suelos de chinampa. También un agradecimiento por su interminable paciencia durante las largas horas de discusión, importante en mi formación académica. Así como un reconocimiento a Chelo por su apoyo con el equipo y material del laboratorio.

Gracias a Víctor Peña por su incondicional ayuda en el análisis estadístico; su colaboración y amistad fue muy valiosa.

A Dulce María, Raúl, Víctor y Noé por su incondicional amistad, cariño y apoyo para la finalización de este trabajo.

También un enorme agradecimiento al Dr. Alberto Hernández por la revisión y sugerencias para mejorar este trabajo. Así como al Dr. Jorge Batlle, en últimas fechas, por las horas de conversación, crítica y apoyo los cuales me dieron animo para terminar esta investigación y continuar en el estudio del suelo.

Un agradecimiento especial al Dr. Nicolás Aguilera Herrera por haberme invitado a conocer el suelo e iniciarme en esta área de la investigación.

Finalmente quiero agradecer a la Facultad de Ciencias de la UNAM, ya que dentro del proyecto UNAM – CONACyT, No. P220CCAR 880379 se llevó acabo el apoyo logístico para esta investigación.

ÍNDICE

Agradecimiento	VII
Resumen	IX
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Presentación	1
1.2. Procesos de salinización del suelo	3
1.3. Tipo de sales en el suelo	4
1.4. Evaluación de la salinidad y sodicidad	7
1.5. Efecto de las sales sobre las propiedades del suelo	9
1.6. Respuestas de las plantas a la salinidad	13
1.7. Las zonas Chinamperas	16
1.7.1. Productividad de las chinampas	17
1.7.2. Los suelos de chinampa	19
1.8. Hipótesis y Objetivos	24
Capítulo 2. Descripción de las zonas de estudio	25
2.1 Cuenca de México	25
2.2 Las zonas Chinamperas	29
2.3 Localidades de Xochimilco	30
2.4 Localidades de Tláhuac	33
Capítulo 3. Material y métodos	38
3.1. Trabajo de campo	38
3.2. Trabajo de laboratorio	40
3.2.1. Pruebas físicas	40
3.2.2. Pruebas químicas	41
3.2.3. Análisis de salinidad	43
3.2.4 Análisis de datos	45
Capítulo 4. Resultados	46
4.1 Características edáficas de suelos de chinampa de Xochimilco	47
4.1.1 Características físicas	47
4.1.2 Características químicas	53
4.1.3 Salinidad	59

4.2 Caracterización edáfica del suelo de chinampa de San Andrés Mixquic, Tláhuac..	65
4.2.1 Características físicas	65
4.2.2 Características químicas	70
4.2.3 Salinidad	76
4.3. Caracterización edáfica del suelo de chinampa de San Pedro Tláhuac, Tláhuac...	81
4.3.1. Características físicas	81
4.3.2. Características químicas.....	84
4.3.3. Salinidad	87
4.4. Comparación de las características de los suelos de los tres sistemas de chinampa.....	92
4.4.1. Comparación de las características edáficas en la profundidad 0 – 20 cm.....	92
4.4.2. Comparación de las características edáficas en la profundidad 20 - 40 cm.	97
4.4.3. Comparación de las características edáficas en la profundidad 40 - 60 cm.....	101
Capítulo 5. Discusión	105
Literatura citada	114

RESUMEN

Las chinampas han tenido una gran importancia debido a su origen antropogénico, al empleo de técnicas tradicionales de producción agrícola, así como por su uso pecuario, forestal y acuícola los cuales han hecho que el agroecosistema chinampero haya sido considerado altamente sustentable. El cambio de la calidad de agua de los canales en los años 50's y la acumulación de sales y/o sodio en el suelo han afectado fuertemente la productividad del agroecosistema. En el presente estudio se llevó a cabo la caracterización física, química y de salinidad de los suelos del agroecosistema chinampero en las comunidades de Xochimilco, San Andrés Mixquic y San Pedro Tláhuac, D. F. Los suelos de chinampa presentaron características edáficas muy similares tienen colores entre gris, gris oscuro a negro, una baja densidad, son altamente porosos, con texturas predominantemente francas, migajón limoso y migajón arcilloso. Presenta un contenido de medio a alto de materia orgánica, alta capacidad de intercambio catiónico con una secuencia de cationes intercambiables: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$. Debido a esto, los suelos de chinampa pueden ser caracterizados de manera similar entre los diferentes sitios que conforman el agroecosistema. En cuanto a la salinidad, los suelos fueron salinos, asociados a problemas salino-sódicos. Dentro de los iones solubles presentes en la solución del suelo se encontraron dominados por Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- y SO_4^{2-} . Finalmente, el estudio demostró diferencias entre las tres comunidades, sobre todo, de San Pedro Tláhuac, el cual además presenta problemas salino-sódicos. La caracterización edáfica y la evaluación de la salinización en el agroecosistema chinampero son de suma importancia para su manejo y rehabilitación.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación

El suelo es un cuerpo natural tridimensional (Porta y Acevedo-López, 1994) formado por complejos materiales biogeoquímicos como la temperatura, humedad, aire, espacio poroso, materia orgánica, nutrientes y partículas minerales (Singer y Munns, 1991; Loowis y Connor, 1992); en donde se encuentran desarrollándose una gran cantidad de comunidades vegetales y animales (Wild, 1993). El desarrollo del suelo se encuentra controlado por los factores de formación: material parental (precursores geológica u orgánicos), clima (precipitación y temperatura), biota, topografía (configuración de la superficie del suelo) y tiempo (Buckman y Brady, 1993). Debido a la importancia que representa el suelo para los organismos, es fundamental tratar de entender algunos procesos naturales y artificiales, a los que está sometido, los cuales provocan su transformación.

Los procesos que modifican las características físicas y químicas del suelo se encuentran el intemperismo físico (meteorización de las rocas), químico (hidrólisis, hidratación, óxido - reducción, carbonatación) y bioquímico (descomposición, degradación y mineralización de la materia orgánica; Brady y Weil, 1990; Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990). Además de los procesos de salinización y sodificación, los cuales afectan la fertilidad del suelo (Porta y Acevedo-López, 1994). Los procesos artificiales, sobre todo de origen antrópico, han adquirido una gran importancia en la transformación del suelo. El uso intensivo de pesticidas, fertilizantes, agua de riego de mala calidad, así como la

erosión causan la modificación del suelo a corto plazo; a su vez, promueven algunos procesos naturales (hidrológicos y geoquímicos) los cuales aceleran la degradación del suelo (Wild, 1993; Tanji, 1996). A través de la historia de la humanidad se ha visto una gran transformación de los ecosistemas naturales en agroecosistemas, dándose por lo tanto la utilización intensiva del suelo (Singer y Munns, 1991), esto ha provocado que en muchos países haya una importante disminución en la producción de alimentos. El problema de alimentación se debe principalmente al agotamiento del suelo debido a la acumulación de compuestos que al aumentar su concentración se vuelven tóxicos, para los organismos. Dentro de estos compuestos podemos encontrar metales pesados (Cr^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , etc.), algunos compuestos orgánicos, sales solubles, sodio o la combinación de ambos.

La acumulación, primaria o secundaria, de sales solubles y de sodio en el suelo se ha convertido en un grave problema en las zonas áridas, semiáridas y templadas. Esto ha provocado que suelos con bajas concentraciones se transformen en suelos salinos, sódicos o sódicos - salinos. El fenómeno de salinidad es causado por algunos procesos naturales (intemperismo y sales cíclicas), aunque en gran medida se han visto elevados debido a procesos antrópicos (uso de agua de riego de mala calidad y el manejo del suelo), aunada a esto, la demanda evaporativa de cada sitio propicia la acumulación de sales y sodio en la superficie del suelo y en la zona radicular. Esto provoca la contaminación y degradación del suelo, así como de las aguas superficiales y freáticas trayendo alteraciones en los cultivos, lo cual se refleja de manera directa en la productividad (Oster *et al.*, 1996; Porta y Acevedo-López, 1994; Allison *et al.*, 1990; Tanji, 1996).

El presente trabajo se encuentra dentro de la línea de estudios de los suelos de chinampa con problemas de sales, sodio o ambos. Este trabajo consiste en la caracterización física y química de estos suelos; además, de la evaluación de salinidad, la cual pudiera estar afectando algunas de sus propiedades.

En los siguientes apartados se llevará a cabo una revisión teórica de los procesos de salinización de los suelos, el efecto que tienen las sales en sus propiedades físicas y químicas, así como su impacto sobre las plantas. Por último, se hará una revisión de este problema en los suelos de chinampa que se encuentran en la zona agrícola del D.F.

1.2. Procesos de salinización del suelo

La afección de los suelos por sales se debe a diversos factores: litológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos y antrópico, dando origen a los ciclos primarios y secundarios de sales. Dentro del ciclo primario, se encuentra el ciclo continental el cual consiste en la liberación de sales por intemperismo químico de las rocas y minerales de la corteza terrestre. Los agentes involucrados en el proceso geoquímico del intemperismo son el agua, oxígeno y dióxido de carbono. Las sales producidas pueden acumularse en los sitios de origen, aunque frecuentemente se dispersan a otros lugares mediante el viento o agua (hacia el mar en cuencas abiertas o en el fondo de cuencas endorréicas). Las fuentes secundarias de sales consisten en los ciclos atmosféricos y marinos. Las sales formadas en los ecosistemas marinos son introducidas a los continentes como cristales en suspensión mediante la brisa o como gotas de lluvia altamente salinas (sales atmosféricas). Estos ciclos van a tener una fuerte influencia sobre todo en zonas de marismas; conforme entran las sales al continente disminuye su concentración de manera exponencial debido a la disminución de la velocidad del viento, que transporta las sales, por la topografía y por la precipitación de las sales debido a la lluvia (por lavado).

El ciclo artesiano de sales se da por la elevación de agua subterránea salina por capilaridad a la zona superficial del suelo, causando el afloramiento de las sales. La salinización del agua subterránea se da por su contacto con estratos salinos o con agua marina. (Richards, 1990; Bresler *et al.*, 1982; Porta y Acevedo-López, 1994, Tanji, 1996). En zonas inundables, cuando el agua de río entra en contacto con agua marina se da un aumento en la concentración de sales en la zona de manglares se propicia el ciclo deltáico de las sales. La salinización mediante sales fósiles se debe a depósitos de una época geológica anterior; estos depósitos pueden ser expuestos al ambiente por diversas actividades, ya sea, antrópicas o naturales en donde posteriormente se da la formación del suelo. Cuando estos depósitos no son expuestos, la salinización del suelo se da por elevación capilar de agua subterránea que tiene contacto con estos depósitos salinos (Bresler *et al.*, 1982). Los eventos naturales de acumulación de sales son favorecidos cuando la demanda evaporativa, de un sitio afectado, se eleva o cuando se da un aumento en el nivel del manto freático (Porta y Acevedo-López, 1994; Tanji, 1996).

Dentro de la dinámica de aportación de sales, los fenómenos artificiales (ó antrópicos) han cobrado una gran importancia debido al aumento de los procesos de transformación y degradación de suelo causado por el cambio de áreas naturales a agrícolas; así como por su manejo agrícolas inadecuado. El uso de agua de riego de mala calidad, de fertilizantes, de lodos residuales o uso extensivo de estiércoles, etc son importantes fuentes de entrada de sales en el suelo (Bresler *et al.*, 1982; Oster *et al.*, 1996 y Tanji, 1996). Esto ha provocado que la salinidad no sea exclusiva de las zonas áridas o semiáridas, donde este proceso se presenta de manera natural, si no que se desarrolla en zonas húmedas y semi-húmedas con una fuerte influencia antrópica (Bresler *et al.*, 1982; Keren, 1996; Porta y Acevedo-López, 1994). La acumulación de las sales provoca la degradación del suelo, estrés sobre cultivos sensibles, evitando su establecimiento, y la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de sales en época de lluvia (Bohn *et al.*, 1985; Buckman y Brady, 1993, Keren, 1996 y Marschner, 1988).

1.3. Tipo de sales en el suelo

Los suelos afectados por la salinidad son el resultado de la acumulación de sales más solubles que el yeso, de sodio intercambiable o de ambos (Oster *et al.*, 1996; Porta y Acevedo-López, 1994). Los componentes principales de las sales solubles son los iones calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y nitratos (NO_3^-) (Tanji, 1996 y Richards, 1990). Los problemas ocasionados por la acumulación de sales (toxicidad), en el suelo y en las plantas, esta relacionado con su solubilidad y concentración (Tabla1). La composición de la solución del suelo depende de la calidad de agua de riego y reacciones químicas (dilución, precipitación, adsorción e intercambio y evapotranspiración; Tanji, 1996). Los suelos con problemas de sales y/o sodio pueden ser evidenciados por afloramiento de costras de color blanco y negro en la superficie (Richards, 1990).

Tabla 1. Sales presentes en el suelo, su solubilidad y toxicidad para las plantas (Porta y Acevedo-López, 1994).

Clase	Presencia en el suelo	Solubilidad g L ⁻¹	Toxicidad para las plantas
Cloruro			
Sódico	Común	317	+++
Magnésico	Común	410	++++
Cálcico	Raro	400-500	++
Potásico	Baja	Elevada	+
Sulfato			
Sódico	Común	F(T°), a 10° C es de 90, 20° C es de 185 y 30° C es de 373	++
Magnésico	Común	262	++++
Potásico	Baja	Elevada	+
Carbonato sódico	Suelos sódicos	178	+++++
Bicarbonato sódico	Suelos sódicos	262	+++++

En el proceso de salinización, los compuestos que primero se presentan son los carbonatos y bicarbonatos por la reacción del dióxido de carbono (por la respiración) y el agua. Los carbonatos causan la inmovilización de compuestos por precipitación (sodio, calcio, magnesio, potasio, fósforo y sulfatos); así como, la adsorción de una gran cantidad de nutrientes (Mg²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Fe²⁺, Al³⁺, Mn²⁺, incluso pueden reaccionar con los nitratos). Debido a esto las primeras sales que se forman son los carbonatos de sodio, seguidos por los de calcio, magnesio y potasio. Estas sales van a causar problemas indirectos a las plantas al modificar las características físicas y químicas del suelo. Para el caso de los bicarbonatos de sodio las condiciones son menos alcalinas y menos tóxicas, ya que los bicarbonatos neutralizan el efecto de los carbonatos al reaccionar con él y formar ácido carbónico, aunque estos a su vez son precursores de los carbonatos. El efecto desfavorable se presenta cuando hay valores de 0.05 y 0.1% de esta sal (Richards, 1990 y Porta y Acevedo-López, 1994). Los carbonatos tienen diverso origen, por intemperismo de minerales (albita).



Dentro de las sales con alta toxicidad para las plantas destacan el cloruro y sulfato de sodio, debido a alta solubilidad (Tabla 1). De acuerdo con Nepesov y Airapotova (1984, citados por Obregón *et al.*, 1996) estas sales causan un aumento del potencial

osmótico del suelo. En particular la solubilidad del sulfato de sodio (Na_2SO_4) depende de los cambios de temperatura que hace que la sal se solubilice y se acumule en la superficie por capilaridad (forma de tenardita, Na_2SO_4 anhidro), a alta temperatura. En tanto que, a baja temperatura las sales son menos solubles, tienden a precipitarse y a recristalizarse en miribilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), este proceso provoca que en el suelo se formen una gran cantidad de espacios que le confieren al suelo una consistencia esponjosa. Estas sales se presentan en el suelo como afloramiento de color blanco, principalmente en la época de secas. La eliminación depende directamente de las condiciones de drenaje del suelo. El cloruro y sulfato de magnesio son sales comunes, son altamente tóxicos (salinidad extrema) para las plantas y se presentan cuando se da un intercambio de sodio por magnesio en las zonas de intercambio o por la gran solubilidad de minerales magnésicos. El cloruro de magnesio da lugar a que el suelo permanezca húmedo por un largo tiempo ya que es altamente higroscópico y puede absorber la humedad del ambiente. El mejoramiento de los suelos con esta sal es problemático debido a que cuando son lavados, el magnesio va a ocupar sitios de intercambio desplazando a iones monovalentes, como el sodio. Dentro de las sales del suelo hay algunas que no representan un gran problema ya que no son muy frecuentes en el medio, tal es el caso del cloruro de calcio y potasio, al igual que el sulfato de potasio. Estas sales presentan poca estabilidad con respecto a las anteriores. En el caso de las sales de potasio van a tener una baja concentración en el suelo, debido a que el potasio va ser retenido en las arcillas o es absorbido por las plantas como macronutriente. El problema con estas sales se presenta cuando el uso de abonos potásicos es excesivo (Porta y Acevedo-López, 1994 y Richards, 1990).

Finalmente, Basilevich (1970) clasifica a los suelos afectados por sales en función de su acumulación. Donde en la relación $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ a valores ≥ 2.5 se da un dominio de los Cl^- , entre 1 – 2.5 se encuentran la relación sulfatos – cloruros, a 0.2 – 1 se encuentran cloruros - sulfatos, a > 1 se encuentran soda, sulfatos y cloruros; así como a valores < 1 se encuentran soda - cloruros – sulfatos.

1.4. Evaluación de la salinidad y sodicidad

Los suelos afectados por sales y/o sodio son tradicionalmente evaluados mediante la conductividad eléctrica (C.E) del extracto de la pasta de saturación a una temperatura de 25° C y por el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) el cual se calcula empleando la relación de adsorción de sodio (RAS, Tabla 2). Estos parámetros permiten separar los suelos normales de los que tienen problemas con sales (Bohn *et al.*; 1985; Bresler *et al.*, 1982 y Richards., 1990).

Tabla 2. Clasificación tradicional y propuesta de suelos afectados por sales (Comité de Terminología de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (Bohn *et al.*, 1985; Richards, 1990).

Clasificación	Suelo normal	Suelo salino	Suelo sódico	Suelo sódico-salino
Tradicional	CE < 4 dS m ⁻¹ PSI < 15	CE > 4 dS m ⁻¹ PSI < 15	C.E < 4 dS m ⁻¹ PSI > 15	CE > 4 dS m ⁻¹ PSI > 15
Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo	CE < 2 dS m ⁻¹ RAS < 13	CE > 2 dS m ⁻¹ RAS < 13	C.E < 2 dS m ⁻¹ RAS > 13	CE > 2 dS m ⁻¹ RAS > 13

Los **suelos salinos** se ha considerado reducir el límite de la CE (2 dS m⁻¹), de acuerdo con el Comité de Terminología de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, debido a que algunas plantas de tipo comercial (ornamentales, frutales y hortalizas) son muy sensibles a la salinidad (Bohn *et al.*, 1985). Además presentan un pH menor de 8.5, debido a las reacciones neutras o ligeramente básica de las sales, el porcentaje de sodio intercambiable es menor de 15. Las sales más frecuentes son el NaCl y Na₂SO₄ (suelos salinos con sodio), MgSO₄, MgCl₂, CaSO₄ (suelos salinos con calcio y magnesio) y bajas cantidades de carbonatos y bicarbonatos (Obregón, 1996; Pizarro, 1978). Los suelos salinos se encuentran floculados con una permeabilidad un poco mayor o igual a los suelos no salinos. El manejo de estos se lleva acabo mediante el desplazamiento de las sales por lavado para disminuir la C.E., por lo que, el agua empleada debe ser bajas en sales y sodio, para evitar la acumulación de estos compuestos (Richards, 1990; Bresler *et al.*; 1982; Tanji, 1996).

Los **suelos sódicos** presentan una C.E menor a 4 dS m⁻¹, debido a la baja cantidad de sales solubles, y PSI mayor de 15 o RAS > 13 El pH de estos suelos es

mayor a 8.5 hasta 10. El alto contenido de sodio (más de la mitad de los cationes) sustituye el calcio y magnesio (disminuyendo su contenido) del complejo de intercambio los cuales se precipitan en presencia de carbonatos y sulfatos (en forma de CaSO_4 , CaCO_3 , MgCO_3). Las sales dominantes son de hidrólisis alcalina como los Na_2CO_3 , así como, en menor cantidad bicarbonatos, cloruros y sulfatos (Obregón, 1996 y Richards, 1990). Los suelos sódicos tienen color pardo oscuro o negros, debido a la materia orgánica dispersa, son pobremente estructurados (estructura columnar gruesos), por cambios de humedad estacional y por la acumulación de arcillas; son suelos duros cuando se encuentran secos y húmedos son plásticos y pegajosos (Tanji, 1990). En los agregados del suelo se puede presentar acumulación de sales entre las grietas debido a que las sales se mueven de manera horizontal debido a la conductividad hidráulica, esto provoca que la superficie de los agregados presenten un mayor enriquecimiento de sales, en la época de secas (Hallaire *et al.*, 1996). La rehabilitación de estos suelos se lleva a cabo mediante el desplazamiento del sodio con el incremento de calcio en el complejo de intercambio. (Richards, 1990; Keren, 1996).

Los suelos **salino-sódicos** presentan una $\text{C.E} > 4 \text{ dS m}^{-1}$, PSI o $\text{RAS} > 15$ y $\text{pH} < 8.5$ cuando la salinidad predomina y > 8.5 , cuando el catión predominante es sodio. Debido a esto, los suelos presentan condiciones de floculación cuando la cantidad de sales es alta y de dispersión cuando predomina el sodio en la solución del suelo y en el complejo de intercambio. El problema que presentan estos suelos para su rehabilitación suele ser muy compleja ya que no basta el lavado de los componentes, previamente se debe hacer un desplazamiento del sodio y favorecer el incremento de calcio en el complejo de intercambio (Richards, 1990; Keren, 1996).

Desde el punto de vista agrícola el proceso de salinización y sodificación del suelo tiene una gran importancia, por lo que, se han clasificado de acuerdo con el efecto que tengan sobre la productividad (Aceves, 1989, Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de suelos salinos, sódicos y su efecto sobre las plantas

Clasificación	Intervalos	Efecto sobre las plantas
Suelos salinos		
Ligeramente salinos	$\text{CE } 2 - 4 \text{ dS m}^{-1}$	Altera rendimiento de cultivos sensibles.
Medianamente salinos	$\text{CE } 4 - 8 \text{ dS m}^{-1}$	Mayoría de los cultivos reducen su rendimiento.
Fuertemente salinos	$\text{CE } 8 - 12 \text{ dS m}^{-1}$	Sólo cultivos tolerantes

Tabla 3. Continuación.

Clasificación	Intervalos	Efecto sobre las plantas
Extremadamente salinos	CE > 12dS m ⁻¹	No aptos para cultivos convencionales (plantas halófilas).
Suelos sódicos		
Ligeramente sódicos	PSI 7 –15	Reducción del 20 a 40 % de productividad en cultivos agrícolas en suelos arcillosos.
Medianamente sódicos	PSI 15 – 20	Reducción de la productividad del 40 al 60%.
Fuertemente sódicos	PSI 20-30	El rendimiento se reduce al 60 a 80%
Extremadamente sódicos	PSI > 30	El rendimiento agrícola se reduce hasta 80%.

1.5. Efecto de las sales sobre las propiedades del suelo

Los suelos con elevadas concentraciones de sales y/o sodio presentan alteraciones en sus procesos físicos, químicos y microbiológicos (Keren, 1996; Pathak y Tao, 1998; Shainberg y Levy, 1992), alterando de manera importante su fertilidad. Las alteraciones van a estar directamente relacionadas con el comportamiento de los coloides orgánicos y minerales, éstos últimos a su vez dependen del tipo de arcillas, de la composición de los electrolitos y de la concentración de sales en la solución del suelo (Bresler *et al.*, 1982; Porta y Acevedo-López, 1994; Shainberg y Levy, 1992). Los coloides orgánicos van a ser más estables que los inorgánicos en presencia de dichos compuestos, por lo que el fenómeno de hinchamiento y contracción es menor (Bresler *et al.*, 1982).

Las arcillas son muy importantes en la dinámica de los suelos debido a que son fracciones muy activas; intervienen en la mayoría de los procesos físicos y químicos del suelo como en la estructura y en los fenómenos de floculación y dispersión (Quirk, 1986 en Oster *et al.*, 1996; Shainberg y Levy, 1992). La gran actividad de las arcillas se debe a su tamaño coloidal y estructura laminar los cuales le proporcionan una mayor área superficial de intercambio (Buckman y Brady, 1993; Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990). Las cargas negativas de la red cristalina se compensan con las cargas de los cationes de la solución del suelo, ésto se lleva a cabo mediante fenómenos electrostáticos en la interfase sólido – líquido. Durante el proceso de intercambio en los coloides, la atracción de los cationes incrementa con el aumento de su valencia, los iones trivalentes (Al³⁺) tienen una mayor preferencia en los sitios de intercambio (Jenny, 1954 en Hillel, 1982) por lo que los

iones monovalentes o altamente hidratados son reemplazados (Oster *et al.*, 1996). Las cargas de los coloides y de los cationes de la solución van a conformar la doble capa difusa y su tamaño depende de la composición de los cationes, de la concentración de sales en la solución del suelo y de la diferencia de la presión osmótica entre la doble capa (Figura 1) debido a absorción del agua de las arcillas (Hillel, 1982). La compresión de la doble capa difusa se da cuando los iones divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+} , de radio iónico pequeño) tienen una mayor concentración en la zona de intercambio; así como por la presencia de elevados contenidos de sales en la solución, las cuales impiden la difusión de los cationes a la solución, disminuyendo la fuerza de hinchamiento (Bresler *et al.*, 1982; Hillel, 1982; Oster *et al.*, 1996). Esto causa que el contenido de agua en el sistema sea bajo (Flores, 1996).

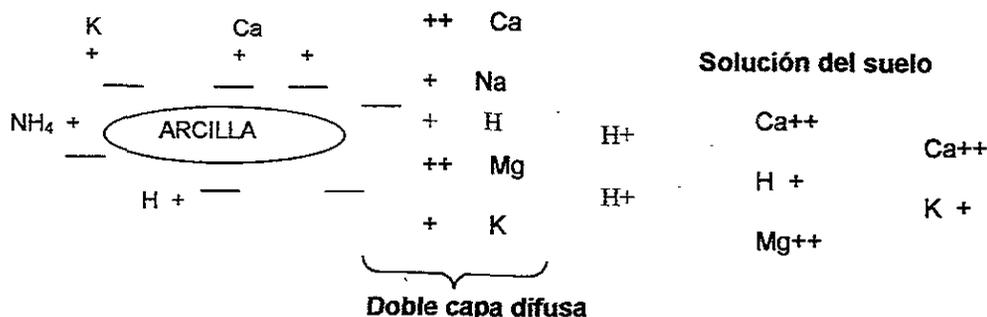


Figura 1. Doble capa difusa (Oster *et al.*, 1996).

El fenómeno de compresión puede causar la sobreposición o floculación de las láminas de arcillas. Esto es posible debido a que se supera la fuerza de repulsión eléctrica entre cargas similares, por el tamaño de la doble capa (Oster *et al.*, 1996). Quirk y Aylmore (1971 en Oster *et al.*, 1996; Shainberg *et al.*, 1971) observaron esto en arcillas montmorilloníticas; la sobreposición formó paquetes de arcillas denominadas tactoides o cuasicristales (Figura 2). Los tactoides, al igual que las placas de arcillas participan en los procesos de hinchamiento mediante cargas superficiales. La floculación de las arcillas y tactoides también puede ser favorecido por el pH, esto fue observado en caolinitas de sodio, a pH 7. De acuerdo con Schofield (1954 en Shainberg y Levy, 1992), la superficie plana de los tactoides se carga negativamente, en tanto que los bordes se vuelven

positivos, esto motiva la atracción entre ellos provocando su floculación.

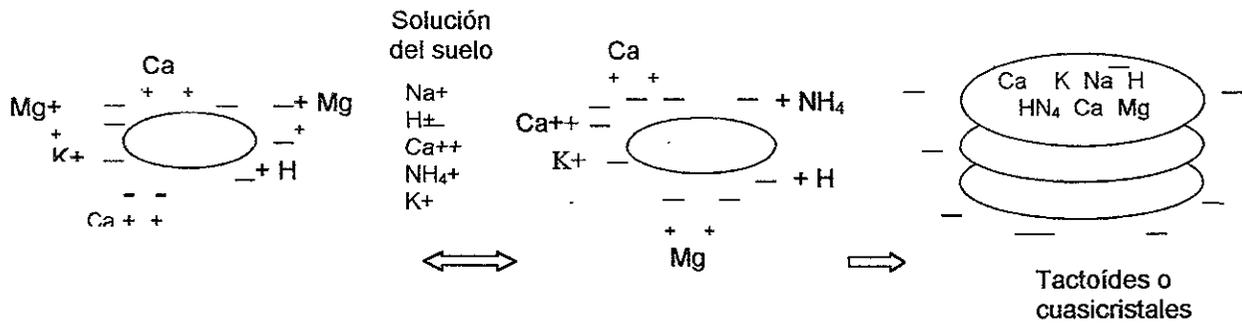


Figura 2. Formación de cuasicristales o tactoides (Oster *et al.*, 1996).

La dispersión de las arcillas, por hinchamiento de la doble capa difusa, se da en presencia de alto contenido de iones monovalentes en las zonas de intercambio (Oster *et al.*, 1996; Shainberg y Levy, 1992). La presencia de un alto porcentaje de saturación de sodio aumenta la presión de hinchamiento causando la separación o dispersión de los coloides del suelo (Emerson y Bakker, 1973; Shainberg *et al.*, 1971; Oster *et al.*, 1996). Quirk y Aylmore (1971 en Oster, 1996) observaron esto en motmorillonitas floculadas las cuales se dispersaron cuando hubo un aumento de la concentración de sodio intercambiable. En este proceso el sistema presenta un mayor contenido de moléculas de agua (Flores, 1996).

La respuesta de los suelos a las condiciones de salinidad y sodicidad va a depender de la cantidad y tipo de arcillas, contenido de óxidos de fierro y aluminio, materia orgánica y densidad aparente (MacNeal y Coleman, 1966). El hinchamiento y dispersión de las arcillas son muy sensibles a los cambios en la concentración de iones en el suelo. La dispersión responde con facilidad a cambios mínimos en el porcentaje de sodio intercambiable (Emerson y Bakker, 1973) causando la redistribución de las arcillas, y por lo tanto, la degradación del horizonte sodificado (Zomoviets y Jitrov, 1991 citado en Obregón *et al.*, 1996). Aunado a esto, se presenta una pérdida de estructura del suelo ya que se forman bloques columnares debido al aumento del contenido de arcillas y al continuo humedecimiento, por la lluvia y el riego, y desecación (Shainberg y Levy, 1992) propiciando el endurecimiento del suelo (Van Hoorn, 1998). Además, la capacidad de retención de humedad del suelo se afecta de manera importante ya que depende de la

concentración iónica de la solución del suelo, sobre todo en los suelos con arcillas del tipo de las esmectitas. El contenido de agua aprovechable del suelo se incrementa cuando disminuye la concentración de sales y aumenta el sodio soluble, esto se puede explicar mediante las propiedades electrostáticas del suelo, por la porosidad, la presión osmótica, que se desarrolla entre las placas de arcillas, y la concentración de sales (Bresler *et al.*, 1982; Quirk y Schofield, 1955).

Otras alteraciones en el suelo por la dispersión de las arcillas, así como por la acumulación de los carbonatos sobre las fracciones finas y agregados del suelo (Flores, 1996) se dan en la estructura, permeabilidad, encostramiento, infiltración y la conductividad hidráulica (Bresler *et al.*, 1982; MacNel y Coleman, 1966; MacNel *et al.*, 1968 ambos en Keren, 1996; Oster *et al.*, 1996; Porta y Acevedo-López, 1994; Tanji, 1996; Shainberg y Levy, 1992. El bloque parcial o total de los poros de conducción y la baja permeabilidad impiden la infiltración y movimiento del agua a través del suelo (conductividad hidráulica; Flores, 1996, Oster, 1996; Tanji, 1990); además evita la circulación de gases propiciando un ambiente anaerobio. En cuanto a la capacidad de infiltración (IR), dependiente de la concentración de electrolitos del agua de percolación y del porcentaje de sodio intercambiable; así como de las características intrínsecas del suelo (contenido de arcillas, pérdida de macroporos, encostramiento y destrucción de agregado), disminuye en altos contenidos de sales y sodio (Kazman *et al.*, 1983; Shainberg y Levy, 1992 ; Tanji, 1990). En cuanto a los coloides orgánicos, estos se dispersan en la solución del suelo, se redistribuyen y tienden a acumularse en la zona superficial, por evaporación. Además debido a la presencia de raíces necrosadas por la salinidad y disolución de microorganismos dan origen a la formación de costras oscuras en la superficie del suelo (Richards, 1990).

En el caso de los suelos salinos floculados (presencia de sales de calcio), los agregados son más estables; además presentan una permeabilidad, al agua y al aire, comparables a los suelos normales (Obregón, 1996). En este caso, la presión osmótica, causante de aridez edáfica debido a que los iones solubles y las moléculas reducen el agua disponible para las plantas; así como la toxicidad de los compuestos de la solución del suelo causan la disminución importante de su productividad (Tanji, 1990).

Otra propiedad química que es afectada, por la salinidad y sodicidad, de manera directa es el pH del suelo. Los cationes de las sales neutras se intercambian por los iones

de H^+ y Al^{3+} , adsorbidos en el complejo de intercambio, haciendo más ácido al suelo; sobre todo, en presencia de cationes divalentes (Ortíz-Villanueva y Ortíz, 1990). En presencia de iones monovalentes, en especial el sodio, el pH del suelo aumenta (elevación del pH 9-12) causando la precipitación de calcio y magnesio, por lo que su concentración en el complejo de intercambio es muy baja. Esto crea un desbalance nutricional causando una deficiencia en la disponibilidad de estos cationes, de igual forma, se da una disminución del contenido de fósforo por precipitación con calcio, hierro, magnesio, etc., propiciados por el cambio de pH (Flores, 1996; Obregón, 1996).

La salinidad y sodicidad del suelo afectan de manera importante los procesos bioquímicos sobre todo en los procesos de mineralización del carbono y nitrógeno debido a la depresión de la actividad microbiana, importante en la descomposición de la materia orgánica y liberación de nutrientes del suelo. En suelos salinos la amonificación se inhibe, ya que los amonificadores son poco tolerantes; así como el proceso de nitrificación. Contrariamente, la nitrificación se estimula con el aumento del porcentaje de sodio intercambiable o del pH debido a la disolución de la materia orgánica en formas coloidales. Esto causa el aumento de substratos ricos en carbono, propiciando una disminución del estrés de los microorganismos, los cuales elevan la mineralización del carbono y del nitrógeno. La alta concentración de nitrógeno, especialmente de los nitratos en suelos alcalinos, puede convertirse en un problema ya que pueden ser altamente contaminantes (Pathak y Rao, 1998).

1.6. Respuestas de las plantas a la salinidad

La distribución de la vegetación está influenciada de manera importante por algunos factores del suelo como el pH, salinidad y nutrientes disponibles. Debido a esto, las plantas presentan diferentes estrategias adaptativas para su establecimiento en condiciones ecológicas específicas. Las plantas se pueden clasificar dependiendo de las condiciones del suelo en acidófilas y acidófagas (resistencia a la acidez); calcífugas y calcícolas (desarrollan en suelos calcáreos); metalófilas (resistencia a metales pesados), halófilas y glicófilas (resistencia a la salinidad). La resistencia de las plantas está determinada por la presencia de genotipos tolerantes a condiciones drásticas (toxicidad por aluminio, saturación por humedad o salinidad) en el suelo (Marschner, 1988)

La presencia de sales en la solución del suelo (zona radicular) puede causar cambios en las plantas de tipo nutricionales, balance de energía (Pastenark, 1987), efectos osmóticos; así como por los efectos indirectos por las alteraciones en las propiedades de los suelos (Merschner, 1988 y Tanji, 1996). Estas alteraciones contribuyen a una reducción en el crecimiento, establecimiento, retardo de germinación, marchitamiento y cambio de coloración en las hojas, reducción de biomasa, menor área foliar, disminución del rendimiento y muerte de las plantas (Bresler *et al.*, 1982; Porta y Acevedo-López, 1994 y Tanji, 1996).

La concentración de solutos (sales de sodio y magnesio) afecta de manera importante el potencial osmótico de la solución del suelo, al que se encuentran sometidas las raíces. El cambio de la relación del potencial osmótico externo e interno de las plantas disminuye la entrada de agua a las plantas. La disminución del potencial osmótico externo propicia la salida del agua de las plantas, para compensar la concentración de sales, causando la desecación osmótica en las células (Tanji, 1990). Además, el cambio de potencial, provoca un déficit de agua disponible, y por lo tanto su menor absorción por las plantas, debido a la reducción en la presión de conducción de agua a través del xilema (Merschner, 1988). El déficit de agua y la concentración de sales provocan deficiencias nutricionales ya que disminuye la entrada de iones importantes como el potasio, calcio, nitrógeno, entre otros, los cuales participan en los procesos metabólicos (Epstein Y Rains, 1987 en Tanji, 1996; Georgiev y Atkins, 1993; Merschner, 1988 y Porta y Acevedo-López, 1994).

Estas alteraciones nutricionales y cambios en el potencial osmótico afectan de manera importante a las plantas. Sinha *et al* (1986) han observado que las plantas de sorgo (*Shorgum halepenses* RS), en concentraciones alta de NaCl (100 y 150 moles), presentan una disminución en el rendimiento y muerte de las plantas; así como la reducción da la altura, área foliar y demora de la germinación en otras especies (Chartzoulakis y Loupassaki, 1997). La disminución de la tasa de crecimiento de las plantas esta relacionada con un aumento del gasto energético, invertido en la extracción de agua del suelo y por ajustes bioquímicos importantes en el desarrollo (Tanji, 1990). En plantas de tomate las alteraciones se presentan en la longitud de las raíces las cuales se reducen hasta un 40% en presencia una elevada concentración de sales (NaCl y CaCl₂) y una alta mortalidad bajo tales condiciones (Snapp y Sherman, 1992). Los problemas de

salinidad causan alteraciones metabólicas (alto contenido de Na y Cl) ya que se da una menor síntesis de proteínas, menor tasa fotosintética (debido a la disminución del área foliar) y de respiración. La presencia de alto contenido de cloruros disminuye la fijación neta del CO₂ la cual se relaciona con el déficit de agua, al cierre parcial de estomas, pérdida de turgencia de las células mesófilas y por efecto de la toxicidad de algunos iones (Chartzoulakis y Loupassaki, 1997; Geogiev y Atkins, 1993; Meshner, 1988; Yeo *et al.*, 1985 en Meshner, 1988). Además, los efectos secundarios relacionados con la alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo por la salinidad y sodicidad causan la disminución de la germinación de semillas y desarrollo de las plántulas por encostramiento; así como estrés hídrico de las plantas por la disminución de la infiltración en la zona radicular (Bresler *et al.*, 1982; Tanji, 1990, Van Hoorn, 1998).

La salinidad del suelo no siempre es un problema ya que la distribución de algunas comunidades vegetales (halófilas) se encuentra determinada por esta condición. Las estrategias de adaptación de estos organismos se basan en una gran cantidad de mecanismos para responder a la condición de salinidad del medio. Dentro de estos mecanismos se encuentran los fenómenos de inclusión y exclusión de sales en plantas tolerantes, estos procesos son de suma importancia debido a que pueden reducir los efectos de la salinidad mediante el ajuste osmótico al interior de las plantas permitiendo el aprovechamiento del agua (Flowers, 1985a, Tanji, 1996). La absorción o inclusión de sales se da mediante un aumento en la concentración de solutos osmóticamente activos dentro de los tejidos. Ésto puede ser efectuado por síntesis de compuestos orgánicos tales como azúcares y aminoácidos o por un aumento en la absorción de nutrientes (K⁺, Ca²⁺ o NO₃⁻; Marschner, 1988; Tanji, 1996), disminución del nivel de enzimas (involucradas en la hidrólisis y deshidrogenación) y la disminución de la actividad fotosintética por inhibición de la apertura de los estomas (Flowers, 1985b). La absorción o inclusión de los iones del medio es posible debido a las adaptaciones de diferentes órganos o tejidos a elevadas concentraciones de sales, siendo éstos altamente tolerantes. Contrariamente, la concentración de sales en estos tejidos puede ser baja, esto sucede en algunas hojas de las Chenopodiceae, en donde la acumulación de iones se da en las vacuolas mesófilas. Estas aumentan su volumen ocasionando la disolución de las sales o disminuyen la acumulación de sales en los apoplastos y en el citoplasma. Ésto se debe a que algunos iones, como el sodio, no se acumulan, sino que son

utilizados en procesos metabólicos de las células los cuales estimulan el crecimiento de las plantas halófilas como la remolacha *Beta vulgaris* var. *crassa* (Marschner, 1988). La acumulación de las sales en plantas altamente tolerantes se lleva a cabo en tallos, raíces y hojas (jóvenes y viejas, peciolo y células de la lámina foliar) y en órganos vegetativos o reproductivos. En plantas moderadamente sensibles bajo moderada salinidad puede haber acumulación de sales en las raíces y en los tallos para evitar la exposición de las hojas y de esta forma disminuir los efectos directos sobre la fotosíntesis (Tanji, 1996). La eliminación de las sales acumuladas en las plantas puede darse mediante glándulas de secreción, caída de hojas senescentes, y la retranslocación a otros órganos. Otras adaptaciones que pueden ser mencionadas son los cambios de fotosíntesis C3 a CAM en halófitas facultativas debido a una drástica disminución de transpiración y por eso las sales son transportadas a los tallos (Marschner, 1988). Todos estos mecanismos de respuesta tienen como consecuencia un gasto energético alto que se ve reflejado en el crecimiento, sobre todo en las plantas excluyentes de sales (Marschner, 1988; Tanji, 1996). Dentro de las plantas de importancia agrícola se encuentran algunas especies tolerantes a la salinidad que pueden ser empleadas en agrosistemas con estos problemas.

Tabla 4. Plantas tolerantes a la salinidad

Cultivo	C.E. (dS m ⁻¹)
Frijol	4.0 a 10.0
Maíz	8.0 a 12.0
Espinaca	2.0 a 14.0
Betabel	4.0 a 14.0
Algodón	8.0 a 26.0
Remolacha	7.0 a 23.0

1.7. Las zonas Chinamperas

Dentro de los sistemas de producción de alimentos se encuentran diferentes métodos agrícolas, éstos se pueden diferenciar por los tipos de insumos que emplean. El sistema agrícola moderno hace uso de un sinnúmero de elementos químicos y tecnológicos para elevar la producción de las zonas de cultivo, provocando la

degradación del medio ambiente (Bourlog, 1986; citado en Jiménez-Osornio, 1985). En comparación con éste, el uso de técnicas tradicionales de cultivo tiene una gran importancia, demostrando que son sistemas altamente rentables y productivos (Jiménez-Osornio, 1985). Este tipo de sistemas generalmente es derivado del conocimiento empírico de una comunidad; en la actualidad las chinampas son preservadas por tradición o por las condiciones económicas de la zona que no permiten el cambio de estrategias agrícolas.

Las chinampas son agroecosistemas que se desarrollaron en la zona lacustre de la Cuenca de México, en zonas inundables y/o poco profundas. Estos sitios fueron utilizados por pequeños grupos étnicos como los chichimecas, acolhuas, tepanecas, otomíes y grupos de influencia tolteca, pueblos dominados por los Aztecas. Estos grupos desarrollaron una cultura y tecnología lacustre como: el riego por inundación y la formación de una sucesión de campos elevados, donde se desarrollaron técnicas agrícolas (Ezcurra, 1990), dentro de las que se encontraban los chapines y policultivos; además de emplearlas para la construcción de viviendas. **Las chinampas** (palabra nahuatl: chinamitl, "*seto o cerca de cañas, y pan, sobre*) son porciones de suelo de formas rectangulares, alargadas y angostas; diseñadas para capturar por infiltración la humedad, debido a que se construyeron en el lecho lacustre. Los campos se hicieron mediante la transferencia de suelo, utilizando materia orgánica, lodo o cualquier material que consolidara a los islotes. Además, implementaron un sistema de canales que servían de comunicación y de drenaje de las chinampas (Palerm y Wolf, 1972 citado por Jiménez-Osornio, 1985; Jiménez, 1995). Las chinampas han tenido una gran importancia debido al manejo tradicional, de producción de alimentos (Jiménez, O. J y Gómez-Pompa, A. 1993; Rojas, R.T. 1995).

1.7.1. Productividad de las chinampas

El sistema de chinampa es una técnica agrícola tradicional, altamente integral, económica y productiva, ya que en éste se lleva a cabo una serie de actividades agropecuarias, forestales, de pesca y de captura de diversos organismos (Gómez-Pompa, 1978; Ezcurra, 1990; Rosas *et al.*, 1984).

La producción de cultivos, al menos de 30 tipos, entre los que se encuentran varios

tipos de hortalizas, maíz, etc. El uso del método de policultivo adquirió una gran importancia ya que se le daba diversidad al agroecosistema, manteniéndose así una dieta nutritiva de los productores a través del ciclo agronómico (Gleissmann, 1983). Dentro de algunas zonas chinamperas como Xochimilco la combinación de hortalizas con flores beneficiaron el sistema, no sólo por la importancia económica que tiene, sino por la importancia biológica para los insectos benéficos. La actividad forestal fue de suma importancia en el sistema chinampero debido a que los árboles como el ahuejotes (*Salix bonplandiana*) y el pirul (*Schinus mole*) retienen el suelo, dan fisonomía a las chinampas y funcionan como cortinas contra el viento y plagas. Además, estos eran utilizados de manera secundaria para la construcción, leña y herramientas; las ramas son utilizadas dentro del sistema de producción de plantas en los almácigos.

Otros tipos de árboles eran importantes en estos agrosistemas debido a sus frutos como: duraznos, chabacanos y membrillos (Jiménez-Osornio, 1985). Otra actividad que se desarrollaba dentro del sistema es la pesca, en los canales, y captura de diversos organismos: aves, ajolotes, acociles, patos, conejos, ranas, etc., los cuales formaban parte de la dieta alimenticia de los productores (Rojas-Rabiela, 1985). En el sistema se lleva a cabo el reciclaje de nutrientes mediante el uso de residuos de cosechas y de productos acuáticos, esto favoreció la producción de alimentos para las (Gómez-Pompa, 1978; Ezcurra, 1990, Figura 3).

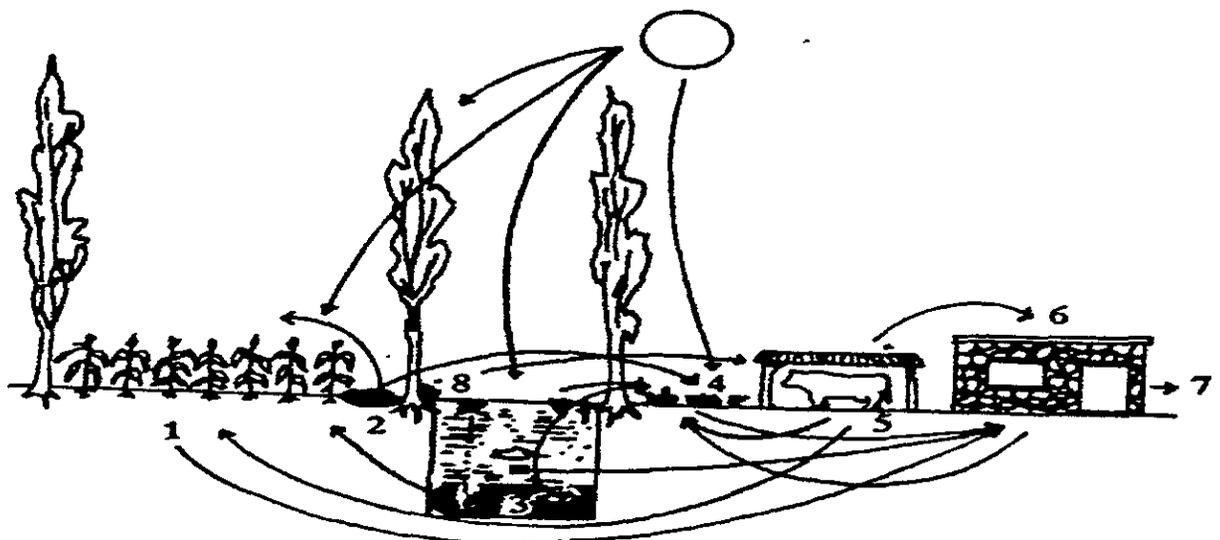


Figura 3. La chinampa y sus elementos. 1) Suelo orgánico, 2) Almácigo, 3) Agua lodo, 4) Legumbres, 5) Animales domésticos, 6) Hombre, 7) Ingresos y 8) Hierba.

Un componente importante del agroecosistema es la red de canales las cuales fueron empleadas como sistema de drenaje, así como para proveer de agua de riego y que mantenía la humedad del suelo. La explotación excesiva del agua de los canales, para consumo, trajo como consecuencia la disminución del nivel de agua, así como la desecación y casi desaparición del lago. Debido a esto se llevó a cabo la recuperación mediante agua semitratada partir de 1959. El tratamiento consistía en la eliminación de partículas gruesas, sedimentación primaria, difusión convencional de aire en tanques y clarificación y desinfección con cloro. La emisión del agua en principio de aproximadamente de 400 litros s^{-1} hasta alcanzar los 1250 litros s^{-1} , aumentando el número de litros con la creación de otras plantas de tratamiento que mantienen el nivel del agua en el lago (Ezcurra, 1990; Rosas *et al.* 1984). Las aguas residuales domésticas poseen altos contenidos de sales, metales tóxicos, y organismos patógenos los cuales pueden afectar de manera drástica el suelo, los animales, las planta; además de ser un serio problema de salud pública (Rosas *et al.*, 1984). Diversos estudios realizados en las aguas de canal en estos agrosistemas han evidenciado la presencia de altos contenidos de sales y bajo riesgo de sodificación (Galicia, 1993, Vallejo y Aguilera 1994). Posiblemente, el uso continuo de esta agua para riego desde los años 50's podrían haber causado el aumento en la concentración de sales, de sodio; además de la acumulación de materia orgánica. Otros estudios realizados por Rosas *et al.* (1984) han demostrado que el uso de aguas residuales domésticas para el riego de vegetales consumibles, en las zonas de cultivo de Xochimilco, tiene serios problemas de contaminación por bacterias. Esto es de suma importancia debido que pueden causar problemas en la salud como: salmonelosis, shigelosis.

1.7.2. Los suelos de chinampa

La importancia del sistema chinampero no es solo por su método tradicional de producción, sino también por su origen antrópico. Los suelos de las chinampas se construyeron sobre una empalizada o estacada que se asentaba sobre el fondo del lago, rellenándose con diferentes materiales como agua lodo, césped, plantas acuáticas, materia orgánica y su orillas se protegían con entretejidos de diversos materiales vegetales, (Jiménez, *et al.*, 1995) los cuales le confieren características físicas y químicas

particulares a los suelos que dependen principalmente del manejo. A continuación se da la descripción de los suelos de chinampa realizada por diversos estudios en la zona.

Los suelos de chinampa presentan coloraciones oscuras que van de gris a negro y pardo oscuras; esta coloración es atribuida principalmente al contenido de materia orgánica y a los materiales de origen volcánico depositados en la zona fluvial que fueron sacados del fondo del lago para la construcción de las chinampas. La densidad aparente es menor de 1 mg m^{-3} (Galicia, 1990) y la densidad real es menor 2.16 mg m^{-3} (Fernández, 1988). Esto ocasiona que la porosidad del suelo sea alta hasta un 70% (Vallejo, 1992). Los suelos de chinampa se caracterizaron por tener un elevado contenido de materia orgánica (de 11.2 a 25.7%), lo que les confiere las coloraciones oscuras. Esto se debe a la presencia de las fracciones húmicas debido al empleo de restos orgánicos y lodos provenientes del fondo del lago (Jiménez-Osornio, 1985; Jiménez, 1995). El suelo es dominado por limos y arcillas, del tipo de las esmectitas, altamente hidratadas (Aguilera y Fuentes, 1951 en Chávez, 2000) debido a esto las clases texturales dominantes son la franca, migajón limoso y en menor porcentaje el migajón arenoso (Escobedo, 1987; Fernández, 1988; Galicia, 1990; Vallejo, 1992; Chávez, 2000). Este tipo de texturas se presenta en los suelos de la zona lacustre asociadas a que los materiales dominantes de origen volcánico intemperizados (Fernández, 1988). Los suelos tienen un pH activo de 8 a 9 y un pH potencial de 7 a 8 (Chávez, 2000; Galicia, 1990; Fernández, 1988; Vallejo, 1992). La CIC es mayor de 50 cmol kg^{-1} y los cationes intercambiables se encuentran en elevadas concentraciones, siendo el calcio, magnesio y el sodio los dominantes (Escobedo, 1987; Fernández, 1988; Vallejo, 1992). A pesar de presentar características físicas y químicas adecuadas, que mantiene la fertilidad del suelo, el principal problema es la degradación del suelo debido a los procesos de salinización y/o sodificación (Galicia, 1990; Escobedo, 1987; Fernández, 1988; Vallejo, 1992). El agua de riego semi-tratada proveniente de los canales (Ezcurra, 1990) puede favorecer el enriquecimiento de sales y sodio por contacto continuo con el suelo. Además de una entrada importante de un alto contenido de materia orgánica y alta densidad de microorganismos provenientes de agua de drenaje lo cual representan un serio problema de salud social (Rosas *et al.*, 1984). Los problemas de la degradación del suelo ha provocado la reducción de la productividad agrícola y económica causando el abandono de este agroecosistema (Vallejo y Aguilera, 1994).

Las propiedades de los suelos dependen de la composición y de la forma en que se encuentran ligados sus componentes (Ortíz-Villanueva y Ortíz, 1990); así como de los factores formadores que influyen a los componentes minerales y orgánicos (Buol, *et al.*, 1979). El color de los suelos minerales se encuentra relacionado con las características físicas y químicas del suelo, puede ser heredado de la roca madre o es el resultado de la edafogénesis; así como de la influencia del clima y la materia orgánica. La coloración oscura de los suelos según Schulze *et al.* (1993) tiene una importante relación con el contenido de materia orgánica, sobre todo en suelos agrícolas con texturas limosas y francas. El color oscuro se debe principalmente a la presencia al alto contenido de fracciones húmicas, ya que tienen una baja reflectancia, enmascarando la coloración, amarilla, de los ácidos fúlvicos. Además de la presencia de materiales volcánicos, cenizas y materiales derivados de basaltos, componentes ferromagnesianos (Galicia, 1990; López, 1981).

La materia orgánica comprende una parte de la masa de un suelo; el mayor contenido de esta se encuentra en la zona superficial y disminuye con la profundidad en suelos, formados *in situ* (Brady y Weil, 1990). En tanto que en suelos transportados, el contenido de materia orgánica se distribuye de manera irregular (Ortiz-Villanueva y Ortíz, 1990). El contenido de materia orgánica de suelos minerales bien drenados, en la zona superficial, tienen de 1 a 6% (Brady y Weil, 1990), en tanto que los suelos orgánicos (turberas) presentan un contenido mayor de 20 % de materia orgánica. Ortíz-Villanueva y Ortíz (1990) han propuesto diferentes intervalos del contenido de materia orgánica para suelos minerales. Los suelos con bajo contenido tienen menos de 1 a 2% y de 3 a 5% o mayor de este son suelos ricos y muy ricos en materia orgánica. Este componente del suelo tiene una importante influencia sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estabiliza las fracciones minerales, en gránulos, mejorando la estructuración de los suelos. Es una fuente importante de nutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre, en forma orgánica), aumenta la capacidad de cambio (30 a 90%), aumenta el espacio poroso y contenido de humedad en el suelo (Buckman y Brady, 1991; Ortíz-Villanueva y Ortíz, 1990).

La densidad aparente representa la medida de una masa en la cual se determina el volumen total del suelo. Los valores de esta característica son afectados por las partículas del suelo y el espacio poroso. La densidad aparente baja en los suelos se debe

al hecho de que se presentan elevados contenidos de materia orgánica, por el hinchamiento y floculación de las partículas del suelo, el cual depende del contenido de arcillas y la humedad; además de la presencia de los contenidos importantes de amorfos causando que la densidad aparente sea de 0.85 Mg m^{-3} . Los suelos superficiales arcillosos presentan valores entre 1 a 1.6 Mg m^{-3} ; en los arenosos la densidad aparente es de 1.20 a 1.80 Mg m^{-3} y los compactos 2 Mg m^{-3} . Los suelos con densidad aparente baja generalmente son sueltos y porosos, fácilmente laborables (Buckman y Brady, 1991). La densidad real se encuentra directamente ligada a los minerales que componen al suelo. Los cuarzos, feldespatos, entre otros son los principales componen minerales del suelo, por lo que la densidad real de los suelos agrícolas es aproximadamente de 2.65 Mg m^{-3} y puede aumentar en presencia de minerales pesados (magnetita); la disminución de la densidad de las partículas va a depender de manera importante del contenido de materia orgánica y del tipo de mineral presente (Hillel, 1982; Bückman y Brady, 1993). La porosidad del suelo es la porción ocupada por aire y agua, depende de manera importante por la colocación de las partículas del suelo. Los suelos con porosidad alta se presentan en texturas medias o finas y con elevados contenidos de materia orgánica (Buckman y Brady, 1993).

Los suelos se encuentran formados por porciones relativas de partículas minerales (arena, limos y arcillas) que varían en su tamaño, forma y actividad. De acuerdo con la proporción de estas fracciones se denomina la clasificación textural de un suelo. La textura tiene una importante influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Los suelos con clases texturales francas tienen una mezcla proporcional de las partículas del suelo haciendo que estos tengan buenas condiciones de drenaje, de retención de agua, nutrientes y aireación, las cuales son importantes en la producción agrícola. La presencia de cantidades importantes de arenas, limos o arcillas pueden modificar las características de los suelos francos dominando las características de las fracciones más abundantes; aumento en el drenaje, en suelos arenosos, o menor aireación y mayor dificultad de laboreo y mayor peso, en suelos arcillosos (Buckman y Brady, 1993; Hillel, 1980; Ortíz-Villanueva y Ortíz, 1990)

La reacción del suelo es trascendental debido a que influye en la absorción de los nutrientes (solubilidad y toxicidad de iones), del suelo, y en el crecimiento de las plantas. De acuerdo con la escala propuesta por Buckman y Brady (1990), los suelos ácidos

tienen un pH menor a 7, los neutros si es igual a 7 y básicos si los valores son mayores de 7. El pH depende de la concentración de H^+ o de OH^- en el suelo los cuales son influenciados por la composición de los cationes intercambiables, la naturaleza de los materiales de intercambio, composición de las sales solubles como el yeso y los carbonatos. (Richards, 1990). El aumento del pH (basicidad) se debe al aumento de los OH^- en la solución del suelo por la hidrólisis de las sales, especialmente carbonatos de sodio, magnesio y calcio. El aumento de cationes se puede dar por la cantidad de sales en las aguas de riego, por cambios estacionales de los cationes, disminución de la actividad biológica; la disminución de exudados ácidos de las raíces en el periodo de secas (invierno y primavera) puede aumentar los OH^- ; además de una baja precipitación, que no remueven la mayoría de los cationes metálicos del suelo (zonas áridas y semiáridas; Buckman y Brady, 1993).

La capacidad de intercambio depende de manera importante de la variación textural, tipo de arcillas coloidales y del humus; su función principal es la retención de nutrientes, así como, la regulación del pH del suelo, por su efecto amortiguador (Buckman y Brady, 1990; Obregón *et al.*, 1996; Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990). Los suelos con texturas finas presentan mayor capacidad de intercambio debido a las arcillas coloidales; así como la presencia de altos contenidos de materia orgánica.

Los cationes intercambiables del suelo son críticos para el desarrollo de las plantas y en las características físicas y químicas del suelo (Richards, 1990). El calcio se presenta, de manera general, en mayor proporción en el suelo y su reemplazamiento de las zonas de intercambio es mayor; bajo condiciones de alta precipitación, el calcio, se pierde fácilmente ocasionando la acidez del suelo por la entrada de H^+ al complejo de intercambio. El potasio y magnesio son menos críticos, que el calcio, aunque esto no significa que su carencia tenga una menor importancia. El potasio se presenta con una alta concentración en el suelo, aunque en forma menos asimilable; en tanto que el magnesio intercambiable es alto en el suelo, pero en menor cantidad que el calcio y es aportado principalmente por la meteorización de minerales como las micas, montmorillonitas, etc. Estos elementos nutritivos se presentan en dos condiciones: 1) compuestos complejos insolubles (feldespatos, micas, etc) y 2) formas solubles en agua y asimilables; estas últimas se debe a que son fácilmente reemplazadas e intercambiables de las fracciones coloidales del suelo (Brady y Buckman, 1990)

1.8. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Las chinampas siguen siendo utilizadas por algunos agricultores en las zonas de Xochimilco, Mixquic y Tláhuac, D.F, aunque en menor proporción ya que presentan importantes porciones de este agroecosistema abandonado. Esta problemática esta relacionada con la disminución de la producción por la degradación del suelo, esto pone en riesgo a éste importante sistema tradicional agrícola. Debido a la importancia tradicional y productiva de estos agroecosistemas es importante realizar estudios edafológicos, que permiten la caracterización física y química de los suelos de chinampa; así como la evaluación de la salinidad y/o sodicidad que permitan determinar el grado de degradación. Este trabajo tiene como propósito realizar un estudio edáfico y de salinidad en las zonas chinamperas del Distrito Federal. Planteándose como hipótesis que los suelos de chinampas presentan graves problemas de salinidad y/o sodicidad las cuales causan cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo contribuyendo a una gradual degradación que conlleva al abandono parcial de este agroecosistema. Los objetivos de este trabajo son:

1. Caracterización física y química de los suelos de chinampa de Xochimilco, San Andrés Mixquic y San Pedro Tláhuac.
2. Evaluar la salinización y/o sodificación en estos suelos.
3. Comparar las características químicas, físicas y de salinidad de los tres sitios de estudio

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en la zona chinampera en las localidades de las delegaciones de Xochimilco Y Tláhuac, D.F. (Figura 4), México. A continuación se hace una descripción más detallada del área de estudio.

2.1. Cuenca de México.

La Cuenca de México se encuentra dentro del eje neovolcánico transversal, tiene una extensión territorial de aproximadamente 7000 km² (Ezcurra, 1990). La cuenca está conformada por estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y el D.F (Figura 5; Vallejo, 1992; Ezcurra, 1990). La parte más baja de la cuenca es una planicie lacustre que se encuentra a una altitud de 2240 m s.n.m, la cual se encuentra rodeada por una sucesión de cerros que alcanzan una altitud de más de 3 500 m s.n.m (Ezcurra, 1990).

La Cuenca de México pertenece a la región morfogénica del Eje Volcánico Transversal, una formación geológica del Terciario tardío. La formación tiene de 20 a 70 km de ancho y atraviesa de este a oeste la República Mexicana desde el Pacífico hasta el Atlántico (Mosser, 1987). Los materiales parentales que constituyen la cuenca son: tobas, brechas y materiales volcánicos de 15 a 30 millones de años aproximadamente (Vallejo, 1992; INEGI, 1997). La parte sur de la cuenca se encuentra conformada por lavas basálticas y andesíticas de volcanes de la Sierra del Chichinautzin, principalmente del Xitle. Estas formaciones rocosas presentan una edad aproximada de 2 000 a 40 000 años y de 700 mil años para las otras formaciones volcánicas de la cuenca (Martín del Pozo, 1985) es por lo tanto, la zona sur de la cuenca la más recientemente formada.

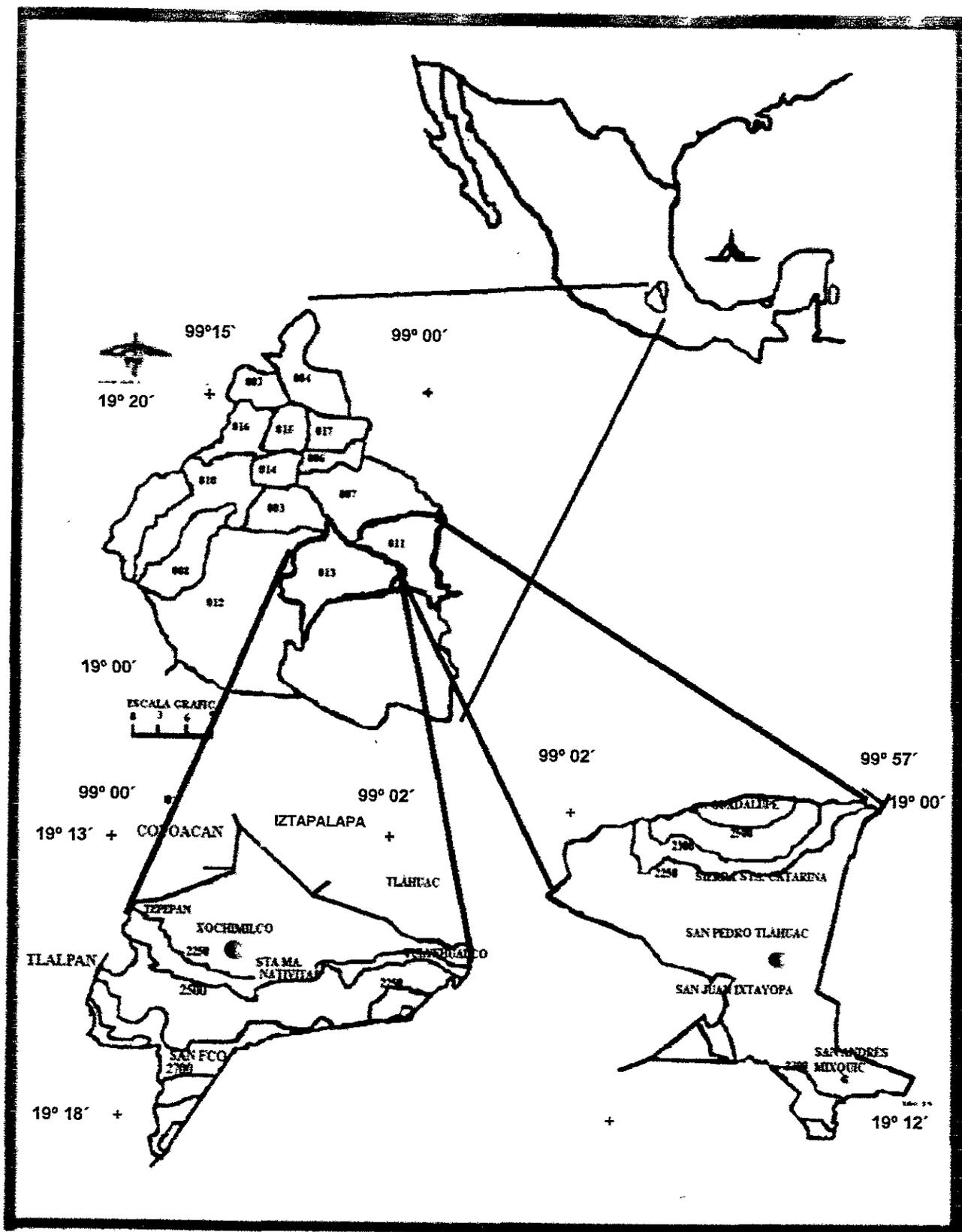


Figura 4. Localidades del agroecosistema chinampero pertenecientes a las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac, D.F.

Debido a la gran actividad volcánica de la parte sur de la Cuenca se interrumpió su comunicación con el río Balsas el cual se conectaba por medio de las cuencas de Morelos y de Nautla, la obturación de las salidas de agua conllevó a la transformación de una cuenca exorréica a una endorréica citado por Vallejo, 1992 provocando la acumulación del agua de escorrentía en la parte baja de la cuenca, dando lugar a la formación de un sistema lacustre de aproximadamente 1,500 km² (Ezcurra, 1990). Posteriormente, el sistema lacustre sufrió alteraciones de tipo pluviométrico motivando la disminución del nivel del agua de manera importante lo cual originó el fraccionamiento del lago en cinco lagos someros (Vallejo, 1992). Los lagos se encontraban comunicados entre sí con una orientación de norte a sur, teniendo a los lagos de Zumpango y Xaltocan, al norte; Chalco y Xochimilco, al sur (Figura 5). Los escurrimientos de los cuatro lagos se encontraban dirigidos hacia el lago central y más bajo que era el de Texcoco. La acumulación del agua de escorrentía en este lago produjo la acumulación de sales minerales y de sedimento, haciendo de éste un lago salobre (Ezcurra, 1990).

La cuenca de México presenta precipitaciones medias anuales de 1500 mm en la zona sureste y de 600 mm en las zonas más secas (la zona noreste). Las temperaturas medias registradas en el fondo de la cuenca son de 15° C, con una amplitud de 8° C entre las medias de verano e invierno con heladas nocturnas durante el invierno, las cuales aumentan con la elevación y la aridez (Járegui, 1987).



Figura 5. Cuenca de México y estados que la conforman, D.F., Edo. De México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (Ezcurra, 1990)

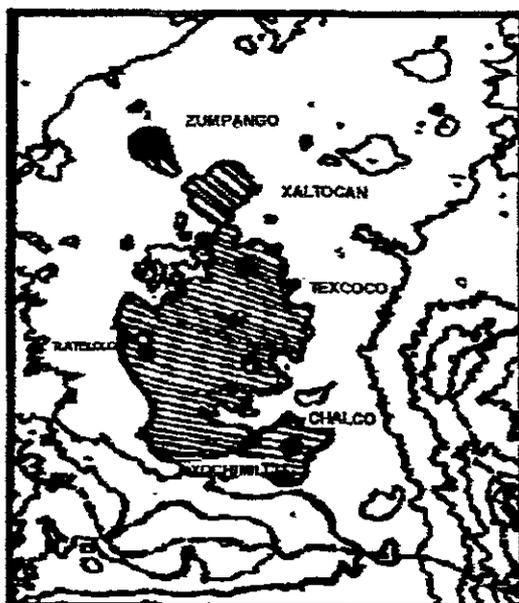


Figura 6. Area lacustre de la Cuenca de México (De: Ezcurra, 1990)

La cuenca presenta una gran heterogeneidad de paisajes, hábitats y especies vegetales y animales. De acuerdo con Rzedowski (1975) se pueden reconocer diez tipos de vegetación por lo cual la cuenca adquiere importancia biológica y de productividad. Dentro de estos tipos de vegetación se encuentra la halófila y la acuática. Éstas se establecen principalmente en las zonas lacustres de la cuenca del Valle de México. La fisonomía de las comunidades halófitas son pastizales bajos y densos, representados por *Distichlis spicata*, *Eragrostis obtusiflora*. Dentro del estrato arbustivo se establece *Atriplex* sp. y *Suaeda nigra* (romerito). En cuanto a la vegetación acuática, se encuentra representada por tulares (*Typha latifolia*) y *Scirpus validus*). Dentro de las comunidades flotantes predominan las lentejillas de agua (*Lemna gibba* (L), *Lemna minor*, *Azolla filiculoides* (Lam)), lirio acuático (*Eichornia crassipes* (Marts)), ombligo de Venus (*Hydrocotyle ranunculoides*), margarita de agua (*Jaegeria bellidiflora* (Moc & Sessé)) Otros elementos fisonómicos en la zona lacustre de acuerdo con Wolf (en Fernández, 1988) son los ahuejotes (*Salix bonplandiana*, *Salix acuminata*) y *Schinus mole* (pirul); además de algunos árboles frutales como el chabacano (*Prunus armeniaca* L.), durazno (*Prunus persica* Stokes), membrillo (*Cydonia oblonga* Mill.) y ciruela (*Prunus* sp.; Jiménez-Osornio) y Gómez Pompa, 1987; Jiménez et al., 1995).

2.2. Las zonas Chinamperas

La zona chinampera del Distrito Federal se encuentra en las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac, las cuales se localizan al sureste del Distrito Federal (Figura 6). Xochimilco se localiza 19° 19' de latitud norte y 99° 00' y 99° 09' longitud oeste; Tláhuac se localiza 19° 20' y 19° 11' latitud norte y 98° 56' y 99° 04' longitud oeste.

Las zonas chinamperas de Xochimilco se localizan en San Gregorio, Atlapulco; San Luis, Tlaxialtemalco y Xochimilco. En Tláhuac éstas se encuentran ubicadas en San Pedro Tláhuac, San Nicolás Tetelco y San Andrés, Mixquic (Figura 6). Hasta 1989 la FAO - México reportó que la zona chinampera presenta una superficie total de 2,297 has dentro de las que 1,070 has se encuentran bajo cultivo y 1,227 has se encuentran abandonadas (Tabla 5; Jiménez 1995). La pérdida o abandono, de éstos sistemas agrícolas, se debe principalmente al cambio de las actividades de los habitantes (Jiménez *et al.*, 1995).

Tabla 5. Superficie de Chinampas (hectáreas). FAO-México, SARH, 1989 (De: Jiménez, 1995).

Poblado	Cultivadas	Abandonadas	Total
Xochimilco	294	530	830
San Gregorio	106.5	193.5	300
San Luis	29.5	67.5	107
San Pedro	327	223	550
Tetelco	35	25	60
Mixquic	268	182	450
Total	1,070	1,221	2,291

Las principales actividades reportadas por el INEGI (1997) de acuerdo con el uso potencial del suelo son la agricultura con el 41.37% y la ganadería con 2.34% (zonas de vegetación que se aprovechan para pastizal) de la superficie total de la delegación de Xochimilco. La delegación de Tláhuac presenta una superficie de 55.68% para la primera actividad y de 4.55% para la segunda. El porcentaje restante de la superficie de ambas delegaciones se encuentra ocupado por bosque (3.16% de Xochimilco y 0.62% de Tláhuac) y otros usos (52.85 y 39.77% respectivamente) como el de vivienda. Dentro de las zonas agrícolas, las zonas chinamperas tienen una importante superficie entre 1,070

has, oscilando entre 0.25 y 1.5 hectáreas por chinampa, las cuales se encuentran en producción. Dentro de este sistema agrícola se cultivaron maíz, hortalizas y flores, siendo los dos últimos los de mayor importancia económica. Las hortalizas ocupan el 70% del área total, produciéndose en San Gregorio y Mixquic, mientras que las flores se cultivan en San Luis y el maíz en Xochimilco y Tetelco (Jiménez *et al.*, 1995).

Los suelos que conforman las chinampas tienen diversos procesos genéticos. En la zona del lago, por debajo de los 2500 m s.n.m. los suelos son de origen aluvial, lacustre y volcánico. Debido al intemperismo de la roca madre, de las partes altas, en las partes bajas se encuentra depositados migajones volcánicos que dan forma a la llanura lacustre; además esta compuesta por arcillas altamente hidratadas del tipo de las montmorillonitas (Aguilera y Fuentes, 1951 en Chávez, 2000), por arenas basálticas, brechas y tobas los cuales conforman minerales como los feldespatos, elementos ferromagnesianos y partículas de limos, arcillas y humus. En otras zonas como Xochimilco se encuentran conformados por materiales pétreos con importantes contenidos de materiales piroclásticos y cineríticos (Alfaro y Orozco, 1980 en Fernández, 1988).

2.3. Localidades de Xochimilco

Los sitios de estudio se encuentran en las localidades de San Lorenzo, La Asunción y Cuemanco (cc-158, 162, 163 y 164) ubicados dentro de los terrenos de la localidad de Xochimilco (Figura 7) entre las coordenadas 19° 15' latitud norte y 99° 06' longitud oeste, y se ubican a una altitud aproximada de 2,240 m s.n.m (INEGI, 1997). La depresión de Xochimilco es una llanura lacustre-aluvial del cuaternario (Cenozoico), presenta acumulaciones levemente onduladas pertenecientes a la sierra del Chichinautzin con interestratificaciones de cenizas volcánicas pertenecientes al Plioceno (Vallejo, 1992). La zona montañosa está conformada por rocas ígneas extrusivas: basaltos, brechas y tobas volcánicas básicas del cuaternario; además de andesita y tobas básicas del terciario (INEGI, 1997).

En la zona de estudio se encuentran las estaciones meteorológicas de Moyoguarda, San Gregorio Atlapulco y San Francisco, Tlalnepantla que se localizan a una altitud de 2 230, 2 250 y 2 650 m s.n.m respectivamente, las cuales nos permiten conocer las condiciones climáticas prevalecientes en la zona. La temperatura media anual es de 14.6° C, y la precipitación es de 779.3 mm al año (INEGI, 1997). El clima correspondiente de

estos datos, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1981) es del tipo C(w₂)(w)b(1) templado subhúmedo con lluvias en verano con un cociente P/T mayor a 55.0, siendo el más húmedo de los subhúmedos.

Los sitios de estudio se encuentran inmersos dentro un sistema muy grande de canales de los que sobresalen el canal de Cuemanco, Chalco, Nacional, Bordo y canal de San Juan. Los suelos de las localidades han sido clasificados, debido a la presencia de elevados contenidos de sales y sodio, como salino - sódicos (Fernández, 1988). Diversos estudios muestran que los suelos de chinampa de Xochimilco son oscuros con una baja densidad aparente y una textura de migajón arcillosa, migajón limoso y franco. Los suelos son básicos (pH > 7.5) presentan elevados contenidos de materia orgánica; alta capacidad intercambio catiónico, la cual se encuentra ocupada principalmente por calcio y magnesio intercambiable. Los cationes solubles dominantes en el suelo son el sodio y el magnesio; dentro de los aniones los cloruros y los sulfatos fueron los dominantes (Escobedo, 1987; Fernández, 1988; Granados, 1948 en Bojorquez, 1995 y Vallejo, 1992). Diversos estudios, recopilados por Bojórquez (1995), reportan un deterioro importante del suelo y agua desde los años 40's dentro de las que se encuentran cambio en la transparencia del agua, debido al alto contenido de materia orgánica en descomposición. En los años 50's se presentó un importante desequilibrio ecológico debido al entubamiento de los manantiales que abastecían el sistema hidrológico (Ezcurra, 1990). Esto se ha incrementado debido al desarrollo urbano y la sobreexplotación de los manantiales profundos, dando como resultado el hundimiento del suelo. A partir de los años ochenta debido a la inconformidad de diversos grupos por la degradación del sistema se trató de disminuir la presión ejercida al agroecosistema por lo que la zona chinampera fue decretada como patrimonio de la humanidad en 1988 por la FAO-UNESCO (Camacho, 1995).

A pesar de la degradación del agroecosistema, las chinampas tienen, actualmente, una gran importancia debido a su producción agrícola, comercial y de autoconsumo, dentro de los que se encuentran el maíz (*Zea mays*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*), betabel (*Beta vulgaris*), pepino (*Cucumis sativus*), manzanilla (*Matricaria chamomilla*), romerito (*Suaeda torreyana*). Con anterioridad estos cultivos se encontraban asociados con una importante variedad de flores como: margaritas (*Chrysanthemum maximun*), clavel (*Dianthus caryophyllus*), crisantemo (*Chrysanthemum, indicum*), dalia (*Dhalia pinnata*), alhelí (*Mathiola incana*), etc (Bojorquez, 1995) Así como, por la importancia de su origen y manejo tradicional de los recursos

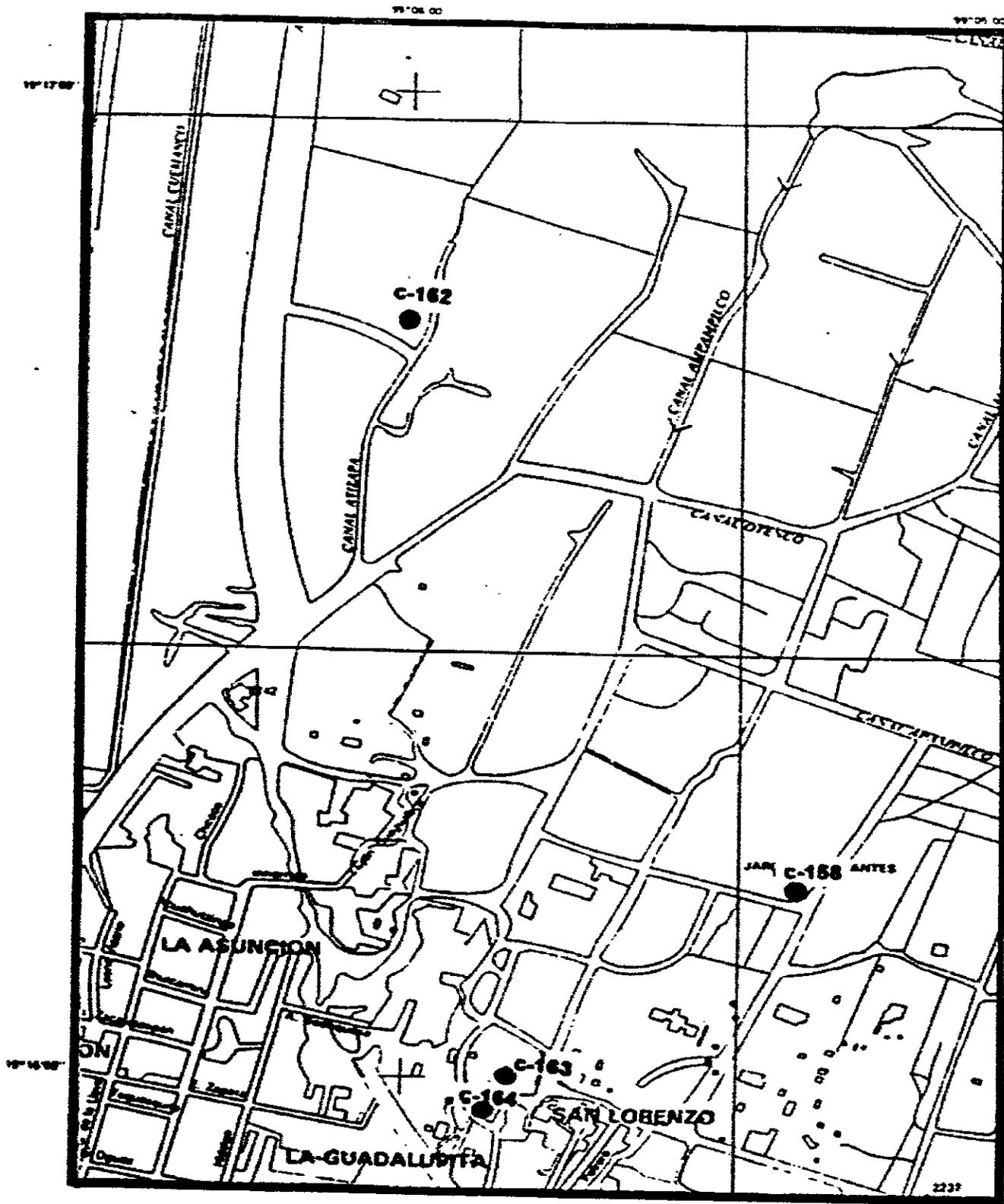


Figura 7. Ubicación de los sitios de estudio en Xochimilco. c-158 = San Lorenzo, c-161 = Cuemanco, c-163 y 164 = La Asunción.

2.4. Localidades de Tláhuac.

La delegación de Tláhuac se encuentra dividida en siete pueblos: San Pedro Tláhuac, Santiago Zapotitlán, Santa Catarina Yecahuizotl, San Francisco Tlaltenco, San Juan Ixtayopan, San Andrés Mixquic y San Nicolás Tetelco (INEGI, 1997). Presenta una superficie de 101.06 Km² el cual representa el 6.74% del área total del D.F (Galicia, 1990 y Quiroz, 1984).

Tláhuac pertenece a la depresión de Xochimilco-Chalco, una llanura lacustre-aluvial del Cuaternario (Cenozoico) presenta zonas escarpadas en la zona norte de la sierra de Sta. Catarina con fuertes pendientes hacia el sur, en el volcán Teuhtli (Quiroz, 1984). Las provincias fisiográficas de esta zona son: La provincia del eje Neovolcanico transversal, la subprovincia de lagos y volcanes del Anáhuac, con topoformas de tipo sierra volcánica, llanuras aluviales, lacustres (INEGI, 1997).

La zona montañosa está conformada por conos cineríticos como el cerro de Guadalupe, Tehutli, Xaltepec y el cerro Tetecón con una altitud máxima de 2,710 m s.n.m, pertenecientes a la sierra de Santa Catarina (Galicia, 1990). La composición de las rocas son principalmente ígneas extrusivas: basalto, brechas volcánicas básicas del Cuaternario y andesitas del Terciario, así como capas de cenizas volcánicas; materiales que también componen los sedimentos de la zona aluvial-lacustre, originada en el Cuaternario (INEGI, 1997), así como arcillas montmorillonitas (García-Calderón *et al.*, 1994).

El clima de Tláhuac presenta variaciones regionales, la zona de San Pedro Tláhuac, presenta un clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988) al tipo C(w₁)(w) b(1), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media con un verano fresco y una temperatura media del mes más frío de 12° C y del mes más caliente de 18 a 19.4° C, con una temperatura media anual de 15.1° C. Esta zona presenta heladas de noviembre hasta febrero, debido a la oscilación térmica extrema. La precipitación pluvial orográfica convectiva tiene poca variación con precipitaciones de 611.6 a 677.6 mm al año con una mayor incidencia en los meses de mayo a septiembre y con precipitaciones mínimas el resto del año (INEGI, 1997). San Andrés, Mixquic, Tláhuac, presenta una ligera variación con menor humedad en el verano por lo tanto el clima del sitio es C(w₀)(w)b(1). La precipitación es de aproximadamente de 700 mm, con una temperatura media anual de 14.6° C. La evapotranspiración es mayor a la precipitación en casi todo el año, excepto en los meses de junio a septiembre. Los vientos dominantes son

los alisios con dirección NE-SE con una velocidad de 10 km/h los cuales exceden en los meses de febrero y marzo (INEGI, 1997).

El agroecosistema se encuentra rodeado por un sistema de canales dentro de los que se encuentran el canal Atecuyuc, Guadalupanaco, Chalco y el canal Amecameca (INEGI, 1997). El sistema se encuentra influenciado por el río Amecameca (la zona sur de la delegación) el cual nace en Temamatla, Edo de México. Además de corrientes superficiales escasas e intermitentes, de corta longitud, de patrón radial y subradial en zonas volcánicas que desaparecen en las zonas bajas debido a la permeabilidad del material. Esto da lugar a inundación de zonas y recarga de mantos acuíferos (Quiroz, 1984).

Los sitios de estudio se ubican en las localidades de San Andrés Mixquic (calicatas 159,160 y 161; Figura 8) y San Pedro Tláhuac (calicatas 161; Figura 9). Los límites geográficos de San Andrés, Mixquic se encuentran ubicados aproximadamente entre 19° 13' latitud norte y 98° 58' longitud oeste a una altitud aproximada de 2,220 m s.n. m. Los límites geográficos de San Pedro, Tláhuac se encuentran entre 19° 17' latitud norte y 99° 00' de longitud oeste a una altitud de 2,240 m s.n.m. Las localidades estudiadas se encuentran en la zona sur y centro de la Delegación, respectivamente.

Los suelos de chinampa de Mixquic tienen valores bajos de densidad aparente, por lo que presentan una facilidad de labrado. El suelo presenta problemas de salinidad y sodicidad que afectan la producción del frijol (*Phaseolus vulgaris*) o de algunos cultivos poco tolerantes como la espinaca (*Spinacia oleracea*). El pH del suelo, 8.9, y presencia de una importante concentración de sodio, sugieren la dispersión de las partículas finas del suelo ocasionando la pérdida de su estructura. Estos suelos tienen elevadas concentraciones de fósforo, la cual podría deberse a la contaminación por aguas negras y/o por la alta aplicación de materia orgánica (Jacob, 1995).

De acuerdo con Galicia (1990), los suelos de San Pedro Tláhuac son de origen aluvial presentan colores de gris a negro, con texturas de migajón arcilloso a migajón arenoso y densidad aparente baja. El suelo es de reacción básica (pH >8) presenta un alto contenido de materia orgánica y elevada capacidad de intercambio. Los cationes solubles dominantes son el sodio y el magnesio, lo cual crea problemas en el suelo debido al elevado porcentaje de sodio intercambiable (>15). Los suelos chinamperos de esta localidad son clasificados como suelos salinos-sódicos cuya solución se encuentra compuesta por cloruros, sulfatos y bicarbonatos. La calidad del agua de los canales que

circundan los sitios de estudio se clasifica como C₃S₁ a C₃S₂ de acuerdo con Galicia, 1990), altamente salina con bajo riesgo de sodificación (Allison *et al.*, 1990).

Los problemas de esta región chinampera, son similares a los de Xochimilco, el cambio del agua de manantial por agua tratada ha causado alteraciones en el ecosistema. Actualmente, la zona chinampera esta constituida de 500 has las cuales requieren un importante volumen de agua para riego y aumento en la capacidad agrícola; además de mejores opciones de comercialización de los productos (Carmona, 1995)

Su producción agrícola es principalmente de *Zea mays* (maíz), *Brassica oleracea* var. botritis (coliflor), *Brassica oleracea* var. cauliflora (brócoli), *Spinacia oleracea* (espinaca), *Beta vulgaris* var. crassa (betabel), *Beta vulgaris* var. cicla (acelga), *Cucurbita pepo* (calabaza), *Chaenopodium nattulinae*, Saff (huauzontle), *Coriandrum sativa* (cilantro), *Lactuca sativa* (L) (lechuga), *Mentha sativa* (hierbabuena), *Suaeda torreyana* (romerito), *Apium graveolens* (apio), *Raphanus sativus* (rábano), *Centaurea cyanus* (pincel) y *Tagetes erecta* (cempaxochitl; Galicia, 1990).

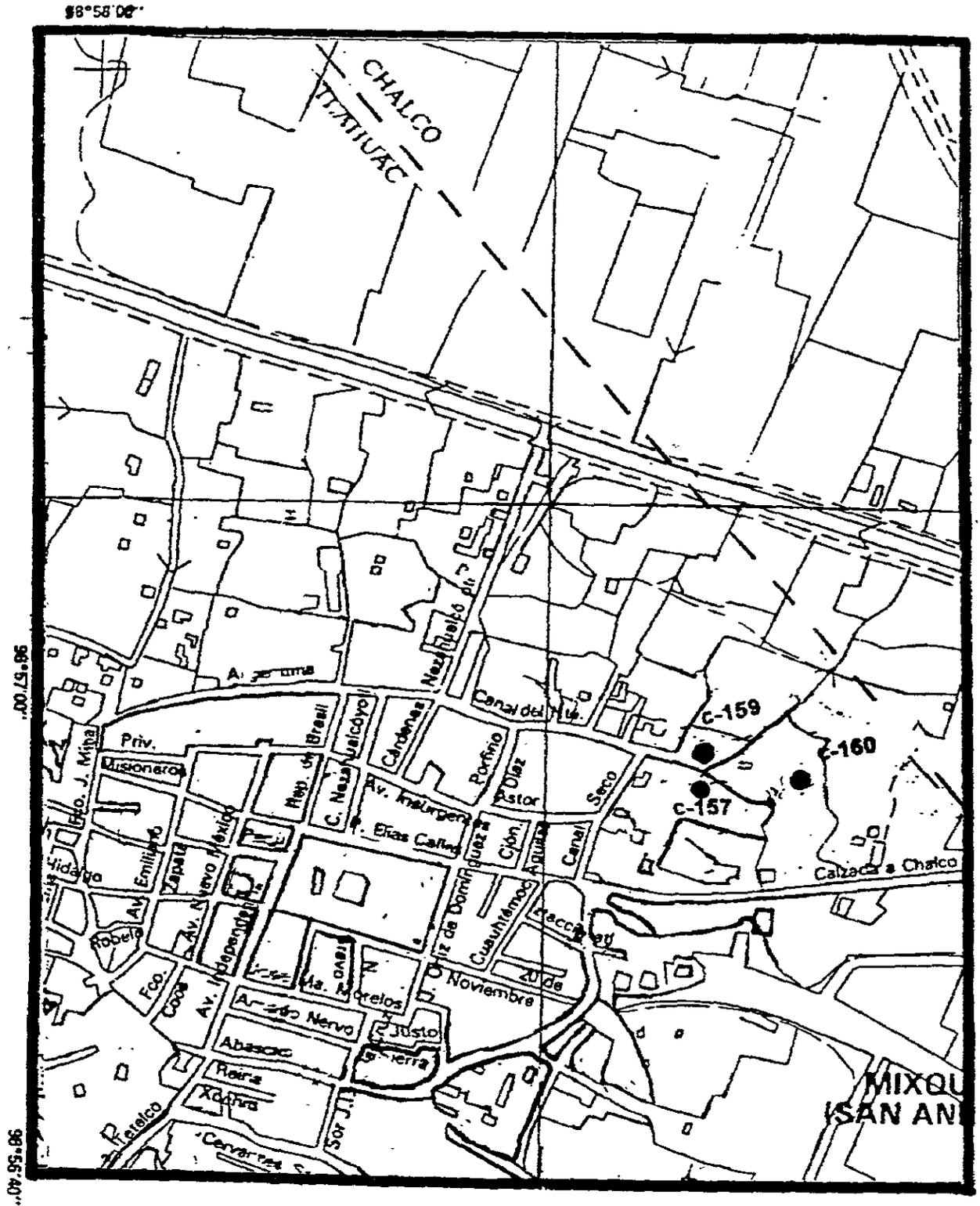


Figura 8. Ubicación de los sitios de muestreo de San Andrés Mixquic, Tlahuac. C-157, 159 y 160.

CAPÍTULO 3

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Trabajo de campo

Se realizaron siete salidas de colecta; para este estudio se contemplaron terrenos cultivados y abandonados para evaluar las condiciones de salinidad, de manera general en el agroecosistema. La elección de los terrenos estuvo condicionada a la autorización de los dueños de las chinampas. Los sitios se muestrearon generalmente, en la parte más representativa del terreno (tomando en cuenta la presencia de costras de sales en el suelo, altura promedio de la chinampa y cultivo o vegetación presente), la cual se localizó en la porción central, cuando no estaba cultivado. Las chinampas cultivadas se muestrearon en la parte desprovista de cultivo (donde se presentaron evidencias de sales) para evitar algún tipo de pérdida del cultivo.

El muestreo del suelo se hizo mediante una calicata con orientación este-oeste, procurando que una de sus caras estuviera expuesta a la luz del sol, para tomar registros fotográficos. El área aproximada de la calicata fue de 1.5 m² y de profundidad variable, de acuerdo con la presencia del manto freático (Tabla 6 y Figura 10). La cara elegida se dividió cada 10 cm y se colectaron en cada capa 2 kg de muestra de suelo, los cuales se colocaron en bolsas de plástico. Las muestras se etiquetaron y rotularon con el número de calicata correspondiente al registro del Laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias, UNAM.

En total se seleccionaron ocho sitios de muestreo (Tabla 6), estos se encuentran distribuidos en las localidades de Xochimilco y Tláhuac Figuras 7, 8 y 9. Una vez que las muestras fueron obtenidas se trasladaron al laboratorio para su posterior tratamiento y análisis

Tabla 6. Localización de los sitios de estudio en las delegaciones de Xochimilco, y Tláhuac, D.F.

Número de calicata	Localización	Profundidad (cm)
c-157	San Andrés, Mixquic, Tláhuac	130
c-158	San Lorenzo, Xochimilco	100
c-159	San Andrés, Mixquic, Tláhuac	30
c-160	San Andrés, Mixquic, Tláhuac	90
c-161	San Pedro, Tláhuac	110
c-162	Cuemanco, Xochimilco	110
c-163	La Asunción, Xochimilco	110
c-164	La Asunción, Xochimilco	110



Figura 10. Muestreo de suelos de chinampas en San Andrés Mixquic, Tláhuac.

3.2. Trabajo de laboratorio

Las muestras se secaron a temperatura ambiente, se molieron en un mortero de madera y se tamizaron (en una malla de 2 mm), terminado este proceso se colocaron en bolsas de plástico para almacenarlas. La metodología utilizada para los análisis físicos y químicos, a los que se sometieron las muestras, están citados en el manual de análisis del Laboratorio de Edafología, Facultad de Ciencias, UNAM (Domínguez y Aguilera, 1984).

3.2.1. Pruebas físicas

- La determinación del color se hizo mediante la comparación con las tablas de Munsell (1957). En esta determinación se obtuvo el color (hue = matiz, value = intensidad y chroma = pureza) del suelo, en una pequeña porción de muestras secas y húmedas, en una placa de porcelana.
- El análisis de la densidad aparente (Baver, 1956) se llevó a cabo a través de una probeta de 10 ml a la que se le colocó muestra de suelo hasta el volumen de 10 ml. La muestra se compactó golpeando la probeta (diez golpes); una vez realizado esto, se adicionó muestra nuevamente hasta el mismo volumen. Por último, se tomó el peso del suelo para sacar la densidad aparente la cual se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{Densidad aparente (Mg m}^{-3}\text{)} = \text{Peso de la muestra} / \text{ml.}$$

- Valoración de la densidad real (Baver, 1956) por el método del picnómetro. Para este análisis se utilizaron 5 g de suelo que fue colocado en un picnómetro de cristal tarado y se obtuvo el peso del suelo (S). La muestra contenida en el picnómetro fue humectada con agua destilada, se dejó reposar un día para eliminar el aire y poder obtener sólo el peso de la fracción mineral. Posteriormente el picnómetro se llenó con agua y se tomó el peso del picnómetro con suelo y agua (s+a). Por último, se tomó el peso del picnómetro con agua (A).

Cuando el proceso concluyó a todos los datos obtenidos se les restó el peso de picnómetro y se hizo la siguiente relación.

$$\text{Densidad real (Mg m}^{-3}\text{)} = S / (S + A - (s+a))$$

- Determinación del porcentaje de porosidad (Black *et al.*, 1965), usando la relación densidad aparente y densidad real. Porcentaje de porosidad = $100(1 - \text{densidad}$

aparente/densidad real).

- Para la evaluación de textura mediante el hidrómetro de Bouyoucos (1951) se utilizaron 50 g de suelo previamente tratado con agua oxigenada al 8%, con el fin de eliminar la materia orgánica. La muestra se dispersó, química y mecánicamente, mediante 5 ml de oxalato de sodio y 5 ml de metasilicato de sodio en una batidora eléctrica (Oster). Posteriormente, las muestras se llevaron a un litro, en probetas y se agitaron manualmente (para suspender las partículas). Las lecturas de sedimentación de las partículas se hicieron con un hidrómetro y un termómetro. Las lecturas se llevaron a cabo después de 40 segundos y 2 horas.

$$\% \text{ limos} + \% \text{ arcillas} = \text{primera lectura} \times 100 / \text{gr de suelo}$$

$$\% \text{ arenas} = 100 - (\% \text{ limos} + \% \text{ arcillas})$$

$$\% \text{ arcillas} = \text{segunda lectura} \times 100 / \text{gr suelo}$$

$$\% \text{ limo} = (\% \text{ limo} + \% \text{ arcilla}) - \% \text{ arcilla}$$

3.2.2. Pruebas químicas

- Medición del potencial de hidrógeno (pH) en agua y KCl 1N, pH 7, relación 1: 5 y 1: 10. Las determinaciones se hicieron en 10 g de suelo las cuales se agitaron con las soluciones correspondientes durante 30 minutos. Por último, se tomo la lectura de pH con el potenciómetro (Corning, modelo 7).
- Determinación de materia orgánica por el método de Walkley y Black, modificado por Walkey (1947). Se utilizaron 0.2 g de muestra de suelo a los que se les adicionaron 10 ml de dicromato de potasio 1N y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado; se dejaron reposar 30 min. Posteriormente se les agregaron 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico y 5 gotas de bariosulfonato de difenilamina y se titularon con sulfato ferroso 0.5 N hasta que se observó el cambio de color café a verde esmeralda. La fórmula utilizada para obtener el porcentaje de materia orgánica fue la siguiente:

$$\% \text{ Materia orgánica} = \frac{10 (\text{ml } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, 1\text{N}) - (\text{ml } \text{FeSO}_4, 0.5\text{N}) \times \text{N real}}{\text{g de muestra}} \times 0.69$$

- Porcentaje de carbono. Este fue obtenido por la fórmula:

$$\% \text{ Carbono} = \% \text{ de materia orgánica} / 1.724$$

- Cuantificación de calcio y magnesio intercambiables mediante el método volumétrico (Cheng y Bray, 1951) Para esta técnica se utilizó como extractor $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 1N, pH

7), con este reactivo las muestras se saturaron y se centrifugaron a 3000 rpm durante 5 min (se hicieron 5 repeticiones). El sobrenadante obtenido se aforó a 50 ml y se filtró con papel Watman No. 40. Del extracto se tomaron 10 ml, para titular Ca + Mg, al cual se le agregaron 10 ml de buffer pH 10, cinco gotas de KCN 2%, 5 gotas de clorhidrato de hidroxilamina, 5 gotas de indicador (negro de ericromo T) y se tituló con versenato (EDTA 0.02N), observando el vire de color vino a azul.

La titulación del calcio se realizó en una alícuota de 10 ml (del mismo extracto), se le agregó 5 ml de hidróxido de sodio al 5% y murexida como indicador. La muestra se tituló con versenato (EDTA 0.02N) hasta que se observó el cambio de color de rosa a púrpura. Las fórmulas utilizadas para obtener calcio y magnesio fueron las siguientes:

$$\text{Mg}^{2+} = \text{Gasto en ml EDTA (Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Ca}^{2+}$$

$$\text{Ca}^{2+} (\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}) = ((\text{ml EDTA} \times \text{N} \times 5) / \text{g de muestra}) \times 100$$

$$\text{Mg}^{2+} (\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}) = ((\text{ml EDTA} \times \text{N} \times 5) / \text{g de muestra}) \times 100$$

- Para la determinación de sodio y potasio intercambiable (Black *et al.*, 1965) se tomó 1 ml del filtrado de la determinación anterior. La lectura de sodio se hizo mediante diluciones 1:15, debido a la alta concentración del elemento; y para potasio las lecturas se tomaron directas de la muestra, en algunos casos se hicieron diluciones 1:5. Las lecturas de las muestras se llevaron a cabo en un flamómetro (Corning modelo 400).

Los mg kg^{-1} de las muestras de suelo, para ambos elementos, se obtuvieron de la extrapolación de su transmitancia en una curva patrón de 10, 20, 30, 40 mg kg^{-1} . El contenido de sodio y potasio se llevó a cabo mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Na}^+ (\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}) = \text{ppm curva} \times 5 \times \text{dilución/equivalente químico.}$$

$$\text{K}^+ (\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}) = \text{ppm. curva} \times 5 \times \text{dilución/ equivalente químico}$$

- La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo se valoró en 1g de muestra (Schollenberger y Simon, 1945). Ésta fue saturada con cloruro de calcio, 1N, pH 7 y se centrifugó a 3000 r.p.m. durante 5 min (5 repeticiones). Después el exceso de eluyente se eliminó con etanol al 96% siguiendo el proceso anterior; por último, se eluyeron con cloruro de sodio (1N, pH 7; cinco veces). Al extracto resultante de las eluciones, se le agregó 10 ml solución buffer pH 10, 5 gotas de clorhidrato de hidroxilamina, 5 gotas de KCN al 2% y 5 gotas de negro de ericromo T. Finalmente las muestras se titularon con versenato (0.02N).

$$\text{CIC} (\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}) = \frac{(\text{ml EDTA} \times \text{Nr (EDTA)})}{\text{g de muestra}} \times 100$$

3.2.3. Análisis de salinidad

- Para la obtención del porcentaje de sodio intercambiable (PSI; Richards, 1990) se usó la ecuación:

$$\text{PSI} = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}$$

- La relación de adsorción de sodio (RAS) se obtuvo según la relación:
$$\text{RAS} = \text{Na soluble} / (\text{raíz cuadrada de } (\text{Ca} + \text{Mg}/2))$$
- Extracción de la solución del suelo mediante la pasta de saturación (Bower y Wilcox, 1965), se realizó en 250 g de suelo saturados con agua destilada, los cuales se dejaron reposar durante 24 horas. Después de este periodo se extrajo la solución del suelo mediante vacío, la que se colocó en un frasco de vidrio para sus posteriores determinaciones.
- Conductividad eléctrica (Jackson, 1982). Esta prueba se aplicó a los extractos de las pastas de saturación mediante un puente de conductividad marca Orión, modelo 160 con una celda de constante de pila 1.
- La determinación de pH del extracto de la pasta de saturación fue medido mediante el potenciómetro marca Corning, modelo 7.
- La cuantificación del calcio y magnesio solubles (Cheng y Bray, 1951) se llevó a cabo en una relación 1:10 del extracto de la pasta de saturación y agua destilada. Posteriormente a las muestras se les adicionó 10 ml de solución buffer pH 10, 5 gotas de KCN al 2%, 5 gotas de clorhidrato de hidroxilamina y 5 gotas de negro de ericromo T. La valoración de la muestra se hizo con EDTA 0.02 N. hasta obtener calcio y magnesio a partir de una solución de color vino a azul. Para la evaluación del calcio se hizo la relación 1:10, antes mencionada, la cual fue tratada con 5 ml de hidróxido de sodio al 5% y muréxida, la valoración de ésta se hizo con EDTA 0.02N hasta que la muestra reaccionara obteniendo un color morado. El magnesio se obtuvo por la diferencia de ambos procedimientos y el contenido se obtuvo mediante las siguientes fórmulas:
$$\text{Ca}^{2+} (\text{cmol}^{(+)} \text{ l}^{-1}) = ((\text{ml de gasto EDTA} \times \text{N EDTA}) / \text{ml alícuota}) \times 1000$$

$$\text{Mg}^{2+} (\text{cmol}^{(+)} \text{ l}^{-1}) = ((\text{ml de gasto EDTA} \times \text{N EDTA}) / \text{ml alícuota}) \times 1000$$

Medición de sodio y potasio solubles (Jackson, 1982). Las evaluaciones se hicieron en una alícuota (1ml) del extracto de la pasta; esta muestra fue leída en el flamómetro (Corning modelo 400). La transmitancia de las muestras se extrapolaron en una curva patrón de 10, 20, 30, 40 mg kg⁻¹, para obtener los valores correspondientes. Finalmente, el

contenido de sodio y potasio se obtuvo mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Na}^+ (\text{cmol}^{(+)} \text{l}^{-1}) = \text{p.p.m. muestra} \times \text{dilución} / \text{equivalente químico.}$$

$$\text{K}^+ (\text{cmol}^{(+)} \text{l}^{-1}) = \text{p.p.m. muestra} \times \text{dilución} / \text{equivalente químico.}$$

- Obtención de los cloruros (Jackson, 1982). Para esta técnica se dispuso de 1 ml del extracto de la pasta de saturación y se llevó a cabo una dilución de 1:10. La valoración de los cloruros se realizó con nitrato de plata 0.01N y como indicador cromato de potasio (5 gotas) al 5%, por cambio de color de la muestra de naranja a canela.

$$\text{Cl}^- (\text{cmol}^{(+)} \text{l}^{-1}) = \text{ml de AgNO}_3 \times \text{Nr} / \text{ml alícuota} \times 1000$$

- Medición de sulfatos (en forma de sulfato de bario; Bower y Huss, 1948). En esta determinación se tomó 1ml de extracto y se diluyó a 5 ml (relación 1:5). La alícuota se dispuso en un tubo de ensayo de cristal (tarado), se aplicaron 5 gotas de anaranjado de metilo 0.01% y 1 ml ácido clorhídrico al 0.1N. El tubo con las soluciones se colocó en baño maría a ebullición, se les colocó 1 ml de cloruro de bario, 1N y se sometieron, nuevamente, a baño maría durante 30 min, posteriormente se dejaron enfriar. Una vez hecho esto, las muestras se lavaron con alcohol al 5% (3 veces) y se centrifugaron (500 r.p.m. durante 5 min); por último, se dejaron secar a 105^o C y se pesaron en una báscula analítica para determinar los sulfatos de bario. El contenido de sulfatos se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{SO}_4^{2-} (\text{cmol}^{(+)} \text{l}^{-1}) = (\text{peso de BaSO}_4 \times 8568.2) / \text{ml de alícuota}$$

- Para la determinación de los carbonatos y bicarbonatos (Reiteimeir, 1974) se emplearon 10 ml del extracto de la pasta. Las muestras fueron tratadas con 6 gotas de fenoftaleína para que presentaran un color rosado (sino sucedió esto, la muestra se calentó, mediante baño maría, para que apareciera el color). Posteriormente se hizo la determinación de carbonatos mediante la titulación con ácido clorhídrico 0.01N hasta que la quedara incolora. En el caso de que no se obtuviera el color antes referido se prosiguió a colocar cinco gotas de anaranjado de metilo para la valoración de bicarbonatos, mediante la titulación con ácido clorhídrico 0.01.

Las fórmulas utilizadas para estos aniones fueron las siguientes:

$$\text{CO}_3^{2-} (\text{cmol}^{(+)} \text{l}^{-1}) = ((\text{gasto de HCl}) \times \text{N} \times 1000) / \text{ml alícuota}$$

$$\text{HCO}_3^- (\text{cmol}^{(+)} \text{l}^{-1}) = (\text{gasto de HCl} - 2(\text{gasto de CO}_3) \times \text{N} \times 1000) / \text{ml alícuota.}$$

3.2.4. Análisis de datos

La comparación de los sitios de estudio se hicieron con los promedios de las características físicas, químicas y de salinidad de cinco calicatas para cada sitio de estudio, donde los datos de este trabajo fueron complementados con trabajos anteriormente realizados. (Chavéz, 2000, Galicia, 1980, Ramos, en elab). La comparación se realizó para tres profundidades 20, 40 y 60 cm. El análisis se hizo mediante una prueba de ANOVA para cada variable, utilizando una $p < 0.05$ (Berenson y Levine, 1979; Zar, 1984). El análisis estadístico se realizó con el programa STATISTICA, versión 6.0 para Windows.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Los resultados de la caracterización edáfica de los agroecosistemas chinamperos evidenciaron que las variables físicas y químicas se comportan de manera irregular dentro de las calicatas ya se presentaron variaciones en capas lo que da indicio de su origen antropogénico.

Los suelos de chinampa se encontraron bajo diferente manejo dentro de los que encuentran el cultivo agrícola y bajo pasto, estas condiciones causaron ligeras variaciones en las propiedades físicas y químicas de los suelos; esto mismo se presentó cuando las chinampas estuvieron influenciadas por el manto freático, sobre todo las más cercanas a los canales. A pesar de las variaciones de manejo y de condiciones de humedad, los suelos de chinampa se caracterizan, de manera general, por tener una densidad aparente $> 1 \text{ mg m}^{-3}$, densidad real menor a 2.2 mg m^{-3} , debido a esto, son altamente porosos (70%). Las fracciones dominantes en estos suelos fueron las arcillas y limos, por lo que las clases texturales dominantes fueron el migajón limoso, franco y migajón arcilloso.

Estos suelos presentaron un pH alrededor de 8.5, un alto contenido de carbono (hasta 14%); debido al alto contenido de materia orgánica y de fracciones minerales finas, la capacidad de intercambio estuvo entre 70 cmol kg^{-1} . Por último, los cationes intercambiables evaluados tuvieron la siguiente relación: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$.

En los tres sitios de estudio se observó que los suelos son predominantemente salinos y salino – sódicos con una composición de sales de sulfatos y cloruros de sodio y magnesio.

A pesar de que el suelo de los agroecosistemas de chinampa comparten características físicas y químicas similares los sitios estudiados en este trabajo, Xochimilco, San Pedro Tláhuac y San Andrés Mixquic, presentaron diferencias edáficas sobre todo en densidad aparente, porcentaje de porosidad y los limos; así como por el pH de suelo, el contenido de calcio y magnesio intercambiable. Finalmente, en cuanto a la salinidad las diferencias se presentaron en el contenido de sodio, cloruros, bicarbonatos y sulfatos.

A continuación se describen detalladamente cada una las características físicas, químicas y de salinidad de los tres sitios de muestreo.

4.1. Caracterización edáfica de los suelos de chinampa de Xochimilco.

Los suelos de chinampa de Xochimilco se encontraron con actividad agrícola relativamente baja ya que sólo en San Lorenzo se cultivaban con maíz y calabaza, el resto de los suelos se encontraron bajo pasto, indicando el abandono de este sistema. Además una característica importante fue que hubo influencia del manto en las calicatas (c) 158 y 163 en tanto que las c- 162 y 164 se encontraron más alejadas de los canales, por lo que la influencia del manto fue menor. Un Aspecto importante de estos suelos son las variaciones en capa de sus características físicas y químicas con la profundidad, asociado a su origen antropogénico. A pesar de esto, los suelos pueden ser caracterizados de manera general, esto se hizo mediante la descripción de cuatro calicatas A continuación se desglosan de manera detallada las características edáficas de los suelos de chinampa.

4.1.1. Características físicas

La Tabla 7 muestra los resultados de las determinaciones de las propiedades físicas de las calicatas (c) de la zona chinampera de Xochimilco, y su comportamiento se pueden observar en la Figura 11.

Los suelos se caracterizan por ser de color gris (10YR 5/1y 6/1), aunque se presentó una ligera variación en la intensidad (VALUE) del orden de una unidad (5/1 a

6/1), esto se observó entre las calicatas 158 (6/1) y 162 (5/1), mientras que en las c-163 y c-164 las variaciones fueron entre las capas. Otros colores presentes fueron el gris pardusco claro (10YR 6/2) y pardo grisáceo (10YR 5/2), en la c-163 entre las capas de 10 y 30 cm. Los colores en muestras húmedas fueron el gris muy oscuro (10YR 3/1) y negro (10YR 2/1) debido a variaciones en el brillo (2/1 a 3/1). El gris muy oscuro dominó en la calicata 158 hasta los 70 cm; posteriormente se presentó el color negro (capas profundas). Contrariamente, en la c-164 el color dominante fue el negro. Las calicatas 162 y 163 compartieron ambos colores, siendo el negro el color dominante. El gris muy oscuro sólo se presentó en algunas capas tales como: 30-40 y 70-80 cm en el caso de la primera calicata y 40-50, 60-70 y 100-110 cm para la segunda (Tabla 7). Los colores oscuros del suelo, sobre todo en las capas más profundas, así como su variación dentro de las calicatas se pueden asociar al alto contenido y distribución de la materia orgánica y al color de los materiales. Algo importante de mencionar es que los sitios sin cultivo y con un periodo largo de abandono presentaron una tendencia a presentar un color más oscuro (c-164) que los sitios cultivados o con periodos espaciados de manejo donde se dan cambios de color por capas.

La Densidad Aparente (D. Ap) de las calicatas de los suelos de chinampa se estableció entre 0.44 (c-158) a 0.70 Mg m⁻³ (c-162). De manera general, las calicatas 163, 164 y 162 (sin cultivar) tuvieron los valores más altos, en las capas superficial y media, respectivamente, en contraste con la c-158 (cultivado; Tabla 7). El comportamiento de la D. Ap. fue irregular en todas las calicatas y las variaciones de la densidad se dieron en capas. La tendencia de esta variable fue a presentar una alta densidad en capas superiores en las c-162 y 164 e intermedia en la c-163, en tanto que c-158 tuvo una menor densidad en las capas superficiales y aumenta con la profundidad (Figura 11).

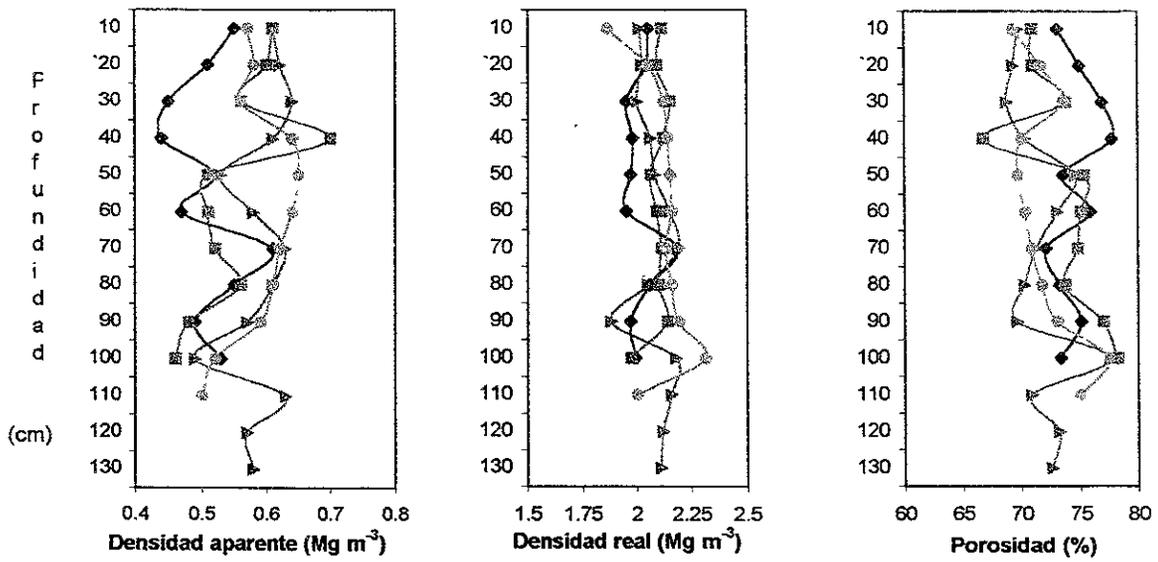
La Densidad Real (D.R) tuvo valores entre 1.8 (c-164) y 2.1 Mg m⁻³ (c-164) donde la c-158 (cultivada) presentó los valores más bajos (Tabla 7). La tendencia de la D.R. en las calicatas, al igual que la característica anterior, fue muy heterogénea. La D.R tendió a aumentar en las calicatas c-163 y 164, aunque en la primera este aumento se dio hasta los 70 cm y posteriormente disminuyó. En el caso de la c-158 y 162 la tendencia fue a disminuir, de manera irregular; sobre todo en la c-158 que tuvo un aumento de la D.R a los 70 cm y una posterior disminución, siendo las capas profundas de las calicatas donde la D.R fue alta. (Figura 11).

Tabla 7. Características físicas de cuatro calicatas de suelos de chinampa de Xochimilco, D.F.

Profundidad cm	Color en seco	Color en húmedo	Densidad		Porosidad %	Textura		
			aparente Mg m ⁻³	real		arena	limo	arcilla
						%		
Calicata 158. San Lorenzo, Xochimilco.								
00-10	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.55	2.0	73.1	23.6	54.0	22.4
10-20	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.51	2.0	75.0	33.6	54.0	12.4
20-30	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.45	1.9	76.9	29.4	46.2	24.4
30-40	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.44	1.9	77.7	31.4	42.2	26.4
40-50	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.52	1.9	73.6	23.6	44.0	32.4
50-60	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.47	1.9	75.9	27.6	40.0	32.4
60-70	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.61	2.1	72.1	48.0	34.0	18.0
70-80	10YR 6/1 gris	10YR 2/1 negro	0.55	2.0	73.3	41.8	40.2	18.0
80-90	10YR 6/1 gris	10YR 2/1 negro	0.49	1.9	75.1	35.8	44.2	20.0
90-100	10YR 6/1 gris	10YR 2/1 negro	0.53	1.9	73.3	43.6	38.4	18.0
Calicata 162 Cuernavaca, Xochimilco.								
00-10	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 negro	0.61	2.1	70.9	26.2	44.8	29.0
10-20	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 negro	0.60	2.0	71.0	28.4	46.2	25.4
20-30	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 Negro	0.56	2.1	73.7	29.8	36.8	33.4
30-40	10YR 5/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.70	2.1	66.7	24.4	41.6	34.0
40-50	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 negro	0.51	2.0	75.3	25.4	40.0	34.6
50-60	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 negro	0.51	2.0	75.0	24.4	44.4	31.2
60-70	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 negro	0.52	2.1	74.7	26.4	40.4	33.2
70-80	10YR 5/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.56	2.1	73.7	25.4	35.0	39.6
80-90	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 negro	0.48	2.1	76.9	27.4	29.0	43.6
90-100	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 negro	0.46	1.9	78.2	11.6	41.8	46.6

Tabla 7. Continuación.

Profundidad cm	Color en Seco	Color en húmedo	Densidad		Porosidad %	Textura		
			Aparente	Real		arena	limo	arcilla
			Mg m ⁻³		%			
Calicata 163								
La Asunción, Xochimilco.								
00-10	10YR 6/2	10YR 2/1	0.61	2.0	69.7	41.6	43.6	14.8
	gris pardusco claro	negro					franco	
10-20	10 YR5/2	10YR 2/1	0.62	2.0	69.3	39.6	43.5	16.9
	pardo grisáceo	negro					franco	
20-30	10YR 5/2	10YR 2/1	0.64	2.0	68.8	36.4	40.0	23.6
	pardo grisáceo	negro					franco	
30-40	10YR 6/1	10YR 2/1	0.61	2.0	70.3	31.7	35.6	32.7
	gris	negro					migajón arcilloso	
40-50	10YR 5/1	10YR 3/1	0.53	2.0	74.6	29.6	43.6	26.8
	gris	gris muy oscuro					migajón arcilloso	
50-60	10YR 5/1	10YR 2/1	0.58	2.1	73.1	21.6	47.6	30.8
	gris	negro					migajón arcilloso	
60-70	10YR 5/1	10YR 3/1	0.63	2.1	71.3	19.2	48.0	32.8
	gris	gris muy oscuro					migajón arcilloso	
70-80	10YR 6/1	10YR 2/1	0.61	2.0	70.3	35.6	43.6	20.8
	gris	negro					franco	
80-90	10YR 5/1	10YR 2/1	0.57	1.8	69.6	33.2	42.0	24.8
	gris	negro					franco	
90-100	10YR 5/1	10YR 2/1	0.60	2.1	72.4	45.6	39.6	14.8
	gris	negro					franco	
100-110	10YR 5/1	10YR 3/1	0.63	2.1	70.8	37.2	36.0	26.8
	gris	gris muy oscuro					franco	
110-120	10YR 6/1	10YR 2/1	0.57	2.1	73.2	31.2	40.0	28.8
	gris	negro					migajón arcilloso	
120-130	10YR 6/1	10YR 2/1	0.58	2.1	72.6	31.2	34.0	34.8
	gris	negro					migajón arcilloso	
Calicata 164								
La Asunción, Xochimilco.								
00-10	10YR 5/1	10YR 2/1	0.57	1.8	69.5	31.6	57.6	10.8
	gris	negro					migajón limoso	
10-20	10YR 6/1	10YR 2/1	0.58	2.0	71.7	35.4	48.1	16.5
	gris	negro					franco	
20-30	10YR 6/1	10YR 2/1	0.56	2.1	73.5	37.6	39.6	22.8
	gris	negro					franco	
30-40	10YR 6/1	10YR 2/1	0.64	2.1	70.0	33.4	39.8	26.8
	gris	negro					franco	
40-50	10YR 6/1	10YR 2/1	0.65	2.1	69.7	31.2	34.0	34.8
	gris	negro					migajón arcilloso	
50-60	10YR 6/1	10YR 2/1	0.64	2.1	70.7	39.2	38.0	22.8
	gris	negro					franco	
60-70	10YR 6/1	10YR 2/1	0.62	2.1	70.8	49.2	31.8	19
	gris	negro					franco	
70-80	10YR 6/1	10YR 2/1	0.61	2.1	71.7	45.7	32.2	22.1
	gris	negro					franco	
80-90	10YR 5/1	10YR 2/1	0.59	2.1	73.0	35.2	34.0	30.8
	gris	negro					migajón arcilloso	
90-100	10YR 5/1	10YR 2/1	0.52	2.1	77.4	37.6	29.6	32.8
	gris	negro					migajón arcilloso	
100-110	10YR 5/1	10YR 2/1	0.50	2.0	75.0	37.4	25.8	36.8
	gris	negro					migajón arcilloso	



- ◆ c-158
- c-162
- ▲ c-163
- c-164

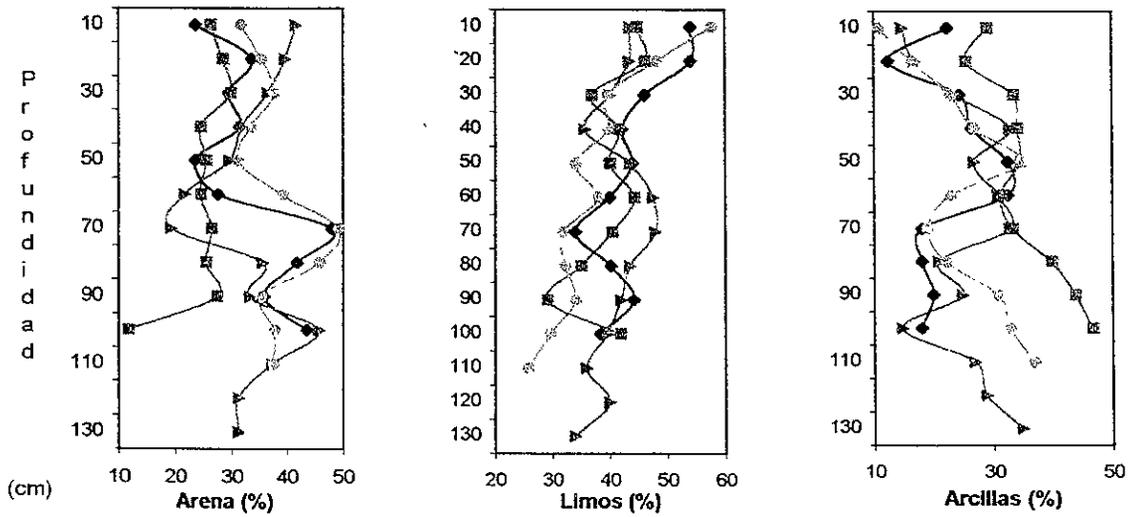


Figura 11. Características físicas de los suelos de chinampa de Xochimilco, D.F. c - 158, San Lorenzo, c - 162 Cuernavaca , c - 163 y 164 La Asunción.

La porosidad (% P) de los suelos de chinampa de Xochimilco se encuentra entre 66.7 (c-162) a 78.2% (c-162, Tabla 7). El comportamiento de esta característica fue a aumentar de manera irregular con la profundidad, esto se puede observar principalmente en las calicatas 162 y 164, y en las capas superficiales de la c-158 y 163. Posteriormente, en éstas últimas, el comportamiento de la porosidad fue irregular en capas y la tendencia fue a disminuir con la profundidad. (Figura 11).

La textura del suelo se puede observar en la Tabla 7. En donde se desglosan los datos de cada fracción y las clases texturales correspondientes. Las arenas tuvieron valores entre 11.6 (c-162) y 49.2% (c-164). Los limos presentaron un intervalo entre 25.8 (c-164) y 47.6% (c-164). Por último, las arcillas estuvieron entre 12.4 (c-158) y 46.6% (c-162). En general las partículas dominantes en las calicatas fueron los limos con 35%, seguidos de las arcillas, > de 20%, y las arenas, con mas de 20 %. Ésta proporción influye para que la clase textural predominante fuera la franca, seguida del migajón arcilloso y migajón limoso. La textura franca se presentó cuando el suelo tuvo una relación equilibrada de las fracciones del suelo; la relación de las arenas y limos estuvo entre 30 a 50 %, con un porcentaje de arcillas por debajo de 25, esta clase textural se presentó en la mayoría de las capas del suelo. Cuando el porcentaje de las arcillas fue mayor a 30% las características influenciaron al suelo por lo que la clase textural fue migajón arcilloso y arcillas, éstas se encontraron dominado la zona intermedia y más profundidad de las calicatas. Finalmente, cuando el porcentaje de limos presentó valores por arriba de 40% esta fracción determinó la presencia una textura migajón limosa la cual se cuantificó para las capas superficiales de las calicatas 158 y 164 (Tabla 7). El comportamiento de cada fracción fue de manera irregular y los cambios se dieron en capas, esto se observa en la Figura 11. A pesar de esto, se encontró un patrón general de distribución de las fracciones del suelo en las calicatas. Las fracciones gruesas (arenas) se van a encontrar en mayor proporción, de manera general, en las capas superficiales en las c- 163 y 164, pero sobre todo en las capas medias y profundas de algunas calicatas, excepto la c-162 en donde las arenas se distribuyeron de manera homogénea. Con respecto al comportamiento de los limos fue contrario a las arenas, los porcentajes más altos se dieron en las capas superficiales con una tendencia a disminuir con la profundidad, sobre todo en las calicatas 158 y 164, en tanto que en las c-162 y 163 la disminución fue de manera irregular precedidas por un aumento en las capas

superficiales. En cuanto a las arcillas tuvieron un comportamiento similar a las arenas, se acumularon en las zonas intermedias (entre los 50 a 60 cm) y profundas de las calicatas (70 a 130 cm).

La tendencia de las partículas del suelo refleja un cambio de la porosidad ya que las zonas donde aumenta el contenido de las fracciones finas presentaron, en general, una mayor porosidad (Figura 11).

4.1.2. Características químicas

Las características químicas de los suelos de chinampa de Xochimilco se observan en la Tabla 8 y su comportamiento en la Figura 12. A continuación se hace la caracterización detallada de las características del suelo.

Los valores de pH activo (H_2O) en relación 1:5 y 1:10 se establecieron entre 6.0 (c-163) a 10.0 (c-162), y de 6.1 (c-163) a 10.1 (c-162), respectivamente. En cuanto al pH potencial (KCl, 1N) los valores se establecieron entre 5.7 (c-163) a 9.3 (c-162), para 1:5, y de 5.8 (c-163) a 9.5 (c-162), para la 1:10. De manera general el pH activo fue < de 8, al igual que el potencial. Los valores más altos se presentaron en las c-162 y 163, en la zona superficial (Tabla 8). El comportamiento del pH, activo y potencial, fue irregular, aunque la tendencia principal disminuir en las c-162 y 163, en tanto que aumenta en las c-158 y 164 (Figura 12).

La materia orgánica presentó un intervalo entre 3.4 (c-164) a 24.7% (c-158) y de carbono entre 2.0 (c-164) y 14.3% (c-158). El porcentaje, de manera general, fue > de 5%, exceptuando las capas profundas de la c-164. Los valores más altos de éstas características se presentaron en las c-158 y 163 (Tabla 8). El comportamiento irregular de ambas características tuvo una tendencia a aumentar con la profundidad en el caso de las c-158 y 163 (hasta los 100 cm en donde se presentó una disminución en la c-158). En cuanto a las c-162 y 164 los valores fueron más homogéneos y tuvieron menor variación (Figura 12). La materia orgánica tuvo una relación con el pH del suelo ya que los suelos de menor pH fueron los que presentaron el mayor contenido de materia orgánica.

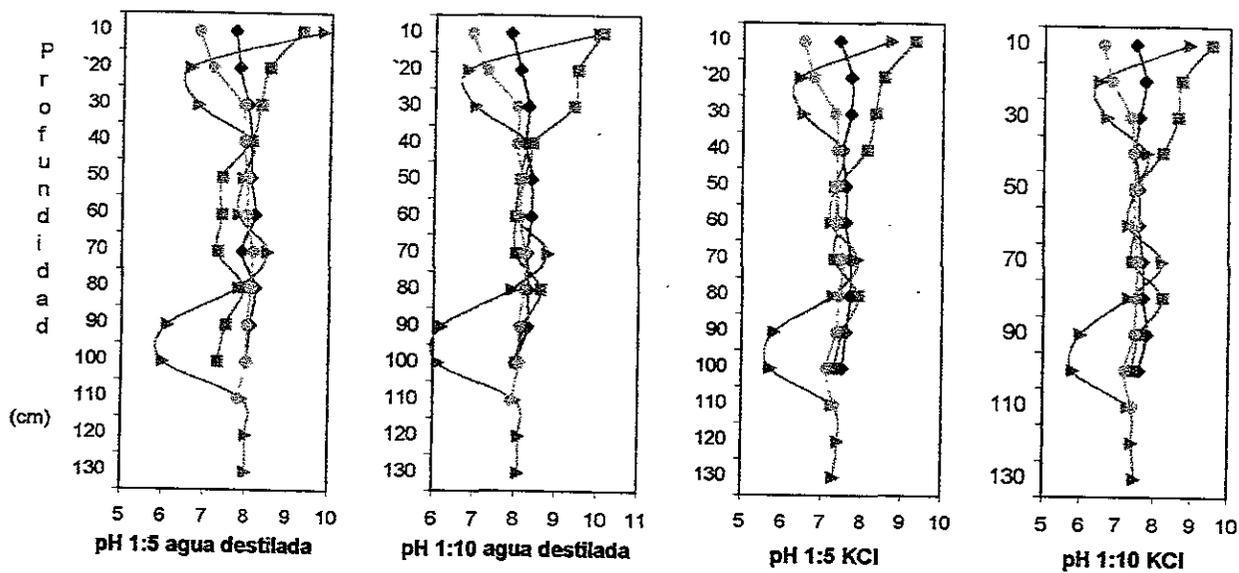
La capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentó valores entre 33.6 (c-163) y 77.9 $cmol\ kg^{-1}$ (c-158). En general, la mayoría de las capas de las calicatas presentaron valores > de 40 $cmol\ kg^{-1}$, siendo la c-158 la que presentó los valores más altos en la

Tabla 8. Características químicas de cuatro calicatas de Xochimilco, D.F. CIC = Capacidad de intercambio catiónico.

Profundidad cm	pH		KCl		Materia Orgánica	Carbono	CIC	Cationes Intercambiables			
	H ₂ O		1:5	1:10				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	1:5	1:10	1:5	1:10	%		cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹			
Calicata 158. San Lorenzo, Xochimilco.											
00-10	7.7	7.8	7.4	7.5	14.2	8.2	77.9	97.1	51.4	20.0	1.1
10-20	7.8	8.1	7.7	7.7	15.0	8.7	63.9	69.8	51.7	18.9	0.8
20-30	8.0	8.3	7.7	7.6	15.5	9.0	58.4	53.5	51.9	17.9	0.6
30-40	8.1	8.2	7.5	7.5	14.9	8.6	58.2	48.8	29.9	16.9	0.4
40-50	8.1	8.4	7.6	7.6	11.1	6.4	45.7	40.4	23.6	13.0	0.4
50-60	8.2	8.4	7.6	7.6	11.2	6.4	49.0	51.9	15.7	13.0	0.6
60-70	7.9	8.3	7.7	7.7	14.2	8.2	51.1	44.6	27.3	11.7	0.9
70-80	8.2	8.3	7.7	7.7	20.4	11.8	64.2	60.9	26.2	13.9	1.0
80-90	8.1	8.3	7.6	7.8	24.7	14.3	70.3	50.4	32.5	14.1	1.2
90-100	8.0	8.0	7.5	7.6	23.8	13.8	72.5	63.5	36.2	14.1	1.3
Calicata 162 Cuemanco, Xochimilco.											
00-10	10.0	10.1	9.3	9.5	8.7	5.0	59.5	68.2	10.5	28.6	1.6
10-20	9.4	9.5	8.5	8.7	12.5	7.3	61.8	79.8	13.6	46.7	0.2
20-30	9.3	9.4	8.3	8.6	8.0	4.6	51.7	76.6	22.0	50.2	0.3
30-40	8.4	8.4	8.1	8.2	9.6	5.5	57.5	78.7	15.7	42.8	0.2
40-50	8.0	8.1	7.4	7.5	10.3	5.9	51.6	78.7	40.9	27.6	0.1
50-60	8.0	8.0	7.4	7.5	12.2	7.0	53.6	42.0	21.0	28.6	0.1
60-70	8.0	8.0	7.3	7.4	11.4	6.6	40.4	48.3	11.5	20.2	0.1
70-80	8.5	8.6	7.9	8.2	9.2	5.3	51.5	43.0	12.0	17.5	0.6
80-90	8.1	8.2	7.5	7.6	9.1	5.3	46.4	37.8	12.6	09.7	0.6
90-100	8.0	8.0	7.3	7.4	7.9	4.5	42.6	60.9	23.1	03.9	0.7

Tabla 8. Continuación.

Profundidad cm	pH				Materia Orgánica	Carbono %	CIC cmol kg ⁻¹	Cationes Intercambiables			
	H ₂ O		KCl					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	1:5	1:10	1:5	1:10				cmol kg ⁻¹			
Calicata 163											
La Asunción, Xochimilco.											
00-10	9.8	10.0	8.7	8.9	15.0	8.7	58.0	72.4	10.5	04.7	0.5
10-20	6.6	6.8	6.4	6.5	16.6	9.6	58.1	55.6	15.7	03.3	0.6
20-30	6.8	7.0	6.5	6.7	15.0	8.7	55.1	59.8	07.8	04.1	0.7
30-40	8.1	8.3	7.5	7.8	7.2	4.2	51.0	44.6	14.1	04.3	0.4
40-50	7.9	8.2	7.3	8.5	13.7	7.9	46.7	62.4	18.3	05.4	0.6
50-60	7.8	8.0	7.2	7.3	17.8	10.3	46.7	38.3	05.7	15.7	0.4
60-70	8.5	8.8	7.9	8.2	12.8	7.4	48.7	56.1	11.5	05.0	0.6
70-80	7.8	7.9	7.3	7.3	14.2	8.2	43.3	32.0	18.9	11.5	0.5
80-90	6.1	6.2	5.8	6.0	18.9	11.0	55.0	28.3	08.4	07.8	0.3
90-100	6.0	6.1	5.7	5.8	21.9	12.7	63.4	43.0	24.4	12.1	0.2
100-110	7.9	8.0	7.3	7.3	15.7	09.1	36.5	37.8	06.8	07.1	0.3
110-120	8.0	8.1	7.4	7.4	13.8	08.5	38.6	48.3	01.0	07.0	0.3
120-130	8.0	8.1	7.3	7.5	12.7	07.3	33.6	45.2	02.6	07.1	0.2
Calicata 164											
La Asunción, Xochimilco											
00-10	6.8	6.9	6.5	6.6	5.8	3.3	54.3	67.2	9.97	04.6	0.5
10-20	7.1	7.2	6.7	6.8	5.6	3.2	56.7	54.6	30.9	07.0	0.2
20-30	7.9	8.0	7.3	7.3	5.6	3.2	50.2	31.5	29.9	08.5	0.1
30-40	7.9	8.0	7.3	7.4	3.8	2.2	43.6	24.6	22.0	08.2	0.1
40-50	8.0	8.1	7.3	7.5	4.8	2.7	41.4	22.5	29.9	10.8	0.1
50-60	8.0	8.1	7.3	7.4	3.8	2.2	42.5	30.9	19.9	11.3	0.1
60-70	8.1	8.2	7.5	7.5	4.1	2.4	42.5	22.3	24.4	11.4	0.2
70-80	8.1	8.2	7.4	7.5	3.4	2.0	38.6	37.6	15.0	11.3	0.3
80-90	8.0	8.1	7.3	7.4	4.4	2.6	37.8	53.0	5.7	11.3	0.8
90-100	8.0	8.1	7.1	7.2	4.9	3.8	33.8	49.2	16.1	16.5	0.4
100-110	7.8	7.9	7.3	7.4	4.9	3.8	44.4	45.4	26.5	21.7	0.1



- ◆ c-158
- c-162
- ▲ c-163
- ⊙ c-164

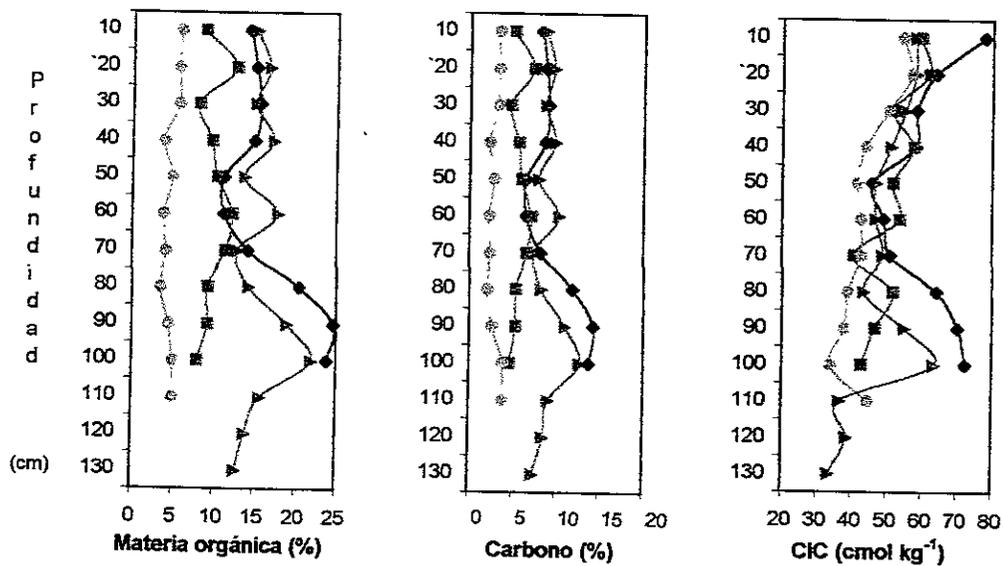
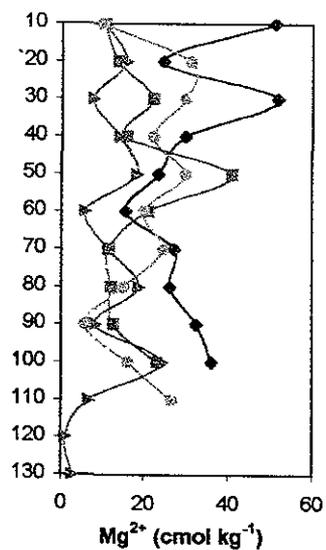
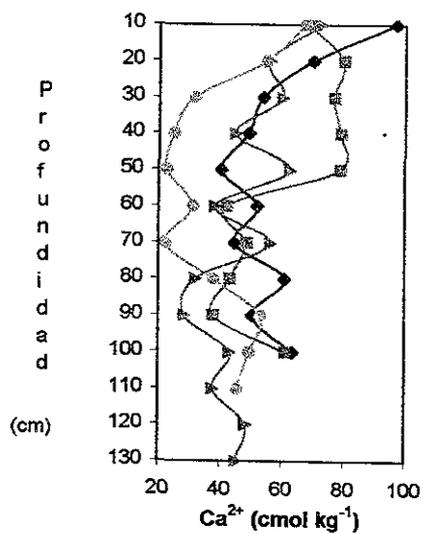


Figura 12. Características químicas de los suelos de chinampa de Xochimilco, D.F. c - 158, San Lorenzo, c - 162 Cuernanco , c - 163 y 164 La Asunción. CIC = capacidad de intercambio catiónico



- ◆ c-158
- c-162
- ▲ c-163
- c-164

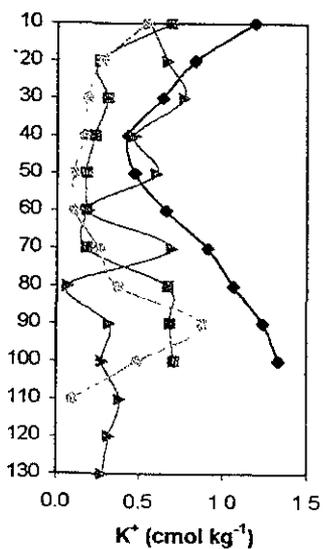
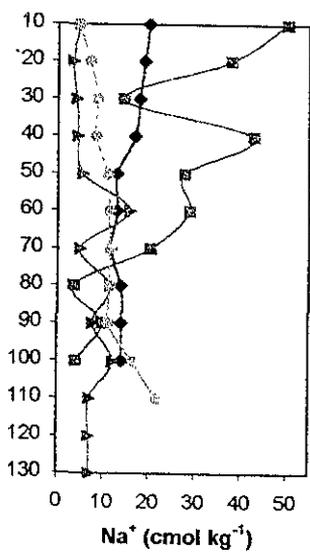


Figura 12. Continuación.

mayoría de sus capas, mientras que la c-164 sólo se presentó en las capas superficiales (Tabla 8). En cuanto al comportamiento de la CIC se presentaron dos tendencias, aunque los valores más altos se dieron en las capas superficiales. La primera se dio en las calicatas 158 y 163 donde, además de las capas superficiales, las capas más profundas tuvieron valores altos de CIC y en las capas intermedias la tendencia fue a disminuir. En tanto que las c-162 y 164 la tendencia fue a disminuir con la profundidad (Figura 12). La capacidad se relaciona con el contenido de arcillas y de materia orgánica, en este caso ésta última tiene una importante influencia en el comportamiento de la CIC (Figura 11 y 12).

Dentro de los cationes intercambiables que se evaluaron en los suelos de chinampa de Xochimilco (Tabla 8) se encontró que el calcio (Ca^{2+}) presentó valores entre 22.3 (c-164) y 97.1 cmol kg^{-1} (c-158), el magnesio (Mg^{2+}) tuvo un intervalo entre 1.0 (c-163) a 51.9 cmol kg^{-1} (c-158), el sodio (Na^{2+}) tuvo un intervalo de 3.3 (c-163) a 50.2 cmol kg^{-1} (c-162); finalmente, el potasio (K^+) tuvo valores de 0.10 (c-164) a 1.33 cmol kg^{-1} (c-158). Los cationes dominantes en la zona de intercambio fueron el Ca^{2+} , con valores $> 50 \text{ cmol kg}^{-1}$, y el Mg^{2+} , con un contenido $>$ de 20 cmol kg^{-1} . En tanto, el Na^+ tuvo un contenido de $<20 \text{ cmol kg}^{-1}$ y el K^+ con valores $<1 \text{ cmol kg}^{-1}$. De manera general, el mayor contenido de cationes se presentó en las capas superficiales (hasta los 50 cm de profundidad) en la mayoría de las calicatas y, en algunos casos también se presentaron en las capas más profundas, esto se dio, en el calcio y el potasio. Los contenidos más altos de cationes se presentaron, sobre todo, en las c-158 y 162. El comportamiento de los cationes en las calicatas fue irregular, sobre todo del calcio y el magnesio con variaciones en capas y la tendencia más evidente fue que en las capas superficiales los contenidos de cationes fueron altos, los cuales disminuyeron en las capas intermedias y posteriormente aumentaron en las zonas más profundas. En otro caso el contenido aumentó con la profundidad, este fue el caso de las c-164 y 163 en el sodio intercambiable, además de que en las c-158 y 162 la tendencia de los cationes fue a disminuir. (Figura 12). El comportamiento de los cationes se encuentra influenciado por el contenido de arcillas debido que en los sitios con mayores contenidos de estas fracciones se dio el mayor contenido de cationes intercambiables (Figuras 11 y 12).

4.1.3. Salinidad

La conductividad eléctrica (C.E) presentó un intervalo de valores entre 2.98 (c-163) y 24.6 dS m⁻¹ (c-162, Tabla 9). En general, los valores de C.E fueron > de 4 dS m⁻¹ en la mayoría de las capas de las calicatas de Xochimilco y los valores más altos se establecieron en la zona superficial (0 a 40 cm) en las c-158, 162 y 163. En tanto, la c-164 presentó los valores más altos en la capa intermedia (70 cm; Tabla 9). El comportamiento de las C.E fue poco irregular, la principal tendencia fue a disminuir, con la profundidad; mientras que la c-164 tuvo un aumento en la zona media y con una posterior disminución (Figura13).

La relación de adsorción de sodio (RAS) se estableció entre 1.6 a 72.4 (c-163) y el porcentaje de sodio Intercambiable (PSI) entre 1.6 (c-163) y 51.4% (c-163). De manera general, la mayoría de las calicatas tuvieron, en sus capas, valores de PSI y RAS > 15, a excepción de la c-164. Las calicatas que tuvieron los valores más altos fueron la c-162 y 163 (0-10 cm), en tanto que los porcentajes más bajos se dieron en la c-164 y 158 (Tabla 9). La tendencia fue a aumentar en las capas superficiales para las calicatas 158 y 162; con una disminución posterior del porcentaje en las zonas más profundas. En tanto, las calicatas 163 y 164 tuvieron una tendencia contraria; las zonas con un mayor porcentaje de sodio intercambiable y adsorbido se encontraron en las capas intermedias y más profundas (Figura 13).

El pH de la solución se estableció entre 7.1 y 9.1 (c-163, Tabla 9). De manera general, la mayoría de las calicatas presentaron valores mayores de 8.5 en la zona superficial. El pH fue similar en la mayoría de las calicatas, sólo en el caso de la c-163 tuvo los valores más bajos en algunas capas (20 y de 80 a 100 cm; Tabla 9). El comportamiento del pH fue irregular y varió entre capas, con tendencia a disminuir con la profundidad en la mayoría de las calicatas (Figura 13).

La caracterización de salinidad de los suelos mostró que las capas superficiales de las c-162 y 163 tienen una C.E. > 4 dS m⁻¹, RAS > de 15 y pH > 8.5, por lo que fueron clasificadas como capas salinas-sódicas; mientras que las calicatas c-157, 164 y las capas profundas de la c-162 y 163 son predominantemente salinas (C.E > 4dS m⁻¹, RAS < 15 y pH < 8.5).

Tabla 9. Análisis de salinidad de cuatro calicatas de Xochimilco, D.F. C.E = Conductividad eléctrica, RA = Relación de adsorción de sodio, PSI = Porcentaje de sodio Intercambiable.

Profundidad cm	C.E dSm ⁻¹	RAS	PSI	pH	Clasificación	Iones solubles							
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
						cmol l ⁻¹							
Calicata 158 San Lorenzo, Xochimilco.													
00-10	18.7	11.4	13.6	8.9	Salino	23.1	113.4	94.8	0.8	88.0	137.0	5.0	20.5
10-20	18.2	12.3	14.5	8.7	Salino	27.3	102.9	99.4	0.9	88.0	107.1	5.0	17.5
20-30	13.4	9.2	11.1	8.8	Salino	35.7	79.8	70.6	0.6	76.0	94.2	7.0	18.0
30-40	8.4	9.7	11.6	8.5	Salino	27.3	68.2	67.2	0.5	63.0	89.9	4.0	12.0
40-50	9.8	10.3	12.3	8.7	Salino	18.9	56.7	63.9	0.3	63.0	85.6	6.5	10.6
50-60	8.8	6.7	8.0	8.4	Salino	16.8	50.4	38.9	0.4	59.0	51.4	4.5	9.2
60-70	8.3	6.7	8.0	8.1	Salino	14.7	46.2	37.3	0.8	61.0	59.9	4.0	14.5
70-80	8.1	6.4	7.6	8.3	Salino	21.0	46.2	37.3	1.2	63.0	46.2	2.0	9.5
80-90	8.3	9.3	11.1	8.5	Salino	12.6	25.2	40.4	2.7	70.0	47.9	3.0	11.0
90-100	8.7	5.9	6.9	8.3	Salino	16.8	67.2	38.2	1.9	54.0	75.4	5.0	7.5
Calicata 162 Cuemanco, Xochimilco.													
00-10	19.3	12.0	14.2	8.2	Salino	35.2	68.7	87.1	2.1	144.5	91.6	2.0	18.0
10-20	16.1	37.8	35.3	8.8	Sal-sod	17.0	26.9	177.3	1.1	145.5	94.6	7.0	38.0
20-30	14.8	41.8	37.7	8.6	Sal-sod	16.5	22.5	184.8	0.8	131.5	74.9	2.5	22.2
30-40	24.6	31.8	31.4	8.3	Sal-sod	37.9	52.3	214.3	1.5	96.7	149.9	4.0	29.2
40-50	7.9	19.6	21.7	8.2	Sal-sod	22.5	41.8	111.3	1.1	75.0	82.2	3.0	15.0
50-60	7.1	3.3	4.4	8.6	Salino	17.6	15.4	16.0	5.3	68.5	11.9	4.0	15.0
60-70	4.0	3.2	3.4	8.2	Salino	34.8	17.7	16.7	5.3	62.0	24.2	3.5	26.7
70-80	8.2	6.8	8.2	8.4	Salino	20.3	21.8	31.6	5.1	19.7	20.9	3.0	10.0
80-90	8.1	4.6	5.3	8.3	Salino	16.5	23.6	20.8	4.2	17.2	26.1	1.5	9.2
90-100	5.9	5.6	6.6	8.2	Salino	22.0	27.5	28.0	4.2	29.2	40.2	2.0	9.3

Tabla 9. Continuación.

Profundidad cm	C.E dSm ⁻¹	RAS	PSI	pH	Clasificación	Iones solubles							
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
cmol l ⁻¹													
Alcatalcata 163 La Asunción Xochimilco													
00-10	19.0	72.4	51.4	9.1	Sal-Sod	13.6	21.0	203.3	3.5	125.0	73.6	10.0	14.8
10-20	6.1	1.9	1.6	7.7	Salino	24.6	46.7	11.6	5.3	9.7	21.2	5.0	11.5
20-30	4.5	2.7	2.8	8.2	Salino	8.9	39.3	13.6	6.7	8.5	14.1	5.0	11.9
30-40	2.9	3.7	4.1	8.5	No salino	14.7	9.4	13.0	1.7	7.2	17.7	5.5	10.6
40-50	4.3	5.5	6.5	8.2	Salino	13.6	47.7	30.8	1.1	17.8	24.7	3.7	11.3
50-60	5.7	6.9	8.2	8.1	Salino	12.6	86.1	48.7	0.4	28.5	32.2	2.0	11.2
60-70	3.9	3.4	3.7	8.5	No salino	13.1	24.6	15.0	0.4	16.0	19.7	5.0	11.2
70-80	9.1	7.5	8.9	7.7	Salino	21.5	72.4	51.4	0.5	34.5	100.2	1.0	11.0
80-90	5.7	7.0	8.3	7.1	Salino	22.0	27.3	34.8	1.2	15.5	72.8	1.0	11.3
90-100	5.5	3.1	3.2	7.6	Salino	19.4	118.1	25.9	1.5	18.0	50.9	1.8	11.0
100-110	5.2	1.6	1.1	8.2	Salino	16.8	208.9	17.0	1.8	20.5	29.1	2.6	10.3
110-120	5.6	4.4	5.0	8.2	Salino	17.8	34.6	22.7	1.5	20.5	35.9	3.9	10.8
120-130	5.7	4.9	5.7	8.0	Salino	15.8	40.0	24.6	1.2	21.5	35.5	3.5	10.0
Alcatalcata 164 La Asunción, Xochimilco.													
00-10	5.5	3.0	3.2	8.8	Salino	33.0	46.7	19.3	0.5	12.5	65.4	6.0	12.0
10-20	7.8	4.1	4.7	8.6	Salino	29.7	58.8	27.7	0.3	12.2	81.4	7.0	11.2
20-30	6.0	6.1	7.2	8.6	Salino	18.1	38.5	32.6	0.2	14.7	61.9	5.0	13.2
30-40	7.0	8.0	9.5	8.3	Salino	16.5	46.7	45.0	0.1	31.8	63.4	3.0	7.0
40-50	8.0	7.8	9.3	8.3	Salino	24.7	59.9	50.8	0.2	25.7	86.9	4.0	12.5
50-60	8.1	7.5	9.0	8.3	Salino	28.0	66.5	52.0	0.1	34.0	99.3	4.0	8.5
60-70	9.2	10.5	12.5	8.5	Salino	26.4	73.7	74.3	0.9	38.3	143.9	5.0	34.5
70-80	9.1	8.1	9.8	8.7	Salino	23.6	72.0	56.5	0.5	37.5	107.2	4.7	21.2
80-90	7.4	6.6	7.9	8.4	Salino	20.3	47.8	38.8	0.1	28.7	70.4	4.5	6.2
90-100	6.9	6.8	8.2	8.1	Salino	19.8	37.4	36.7	0.1	29.0	62.2	2.5	6.7
100-110	6.8	2.7	2.7	8.4	Salino	30.8	53.9	17.6	0.6	12.1	59.9	4.0	8.0

Tabla 9. Continuación, relación de cloruros y sulfatos

Profundidad cm	Cl / SO ₄ ²⁻ Calicatas			
	158	162	163	164
00-10	0.64	1.58	1.70	0.19
10-20	0.82	1.54	0.46	0.15
20-30	0.80	1.75	0.60	0.24
30-40	0.70	0.65	0.41	0.50
40-50	0.73	0.91	0.72	0.30
50-60	1.14	5.71	0.88	0.34
60-70	1.01	2.56	0.81	0.27
70-80	1.36	0.94	0.34	0.35
80-90	1.45	0.66	0.21	0.41
90-100	0.71	0.73	0.35	0.47
100-110	-	-	0.70	0.20
110-120	-	-	0.57	-
120-130	-	-	0.60	-

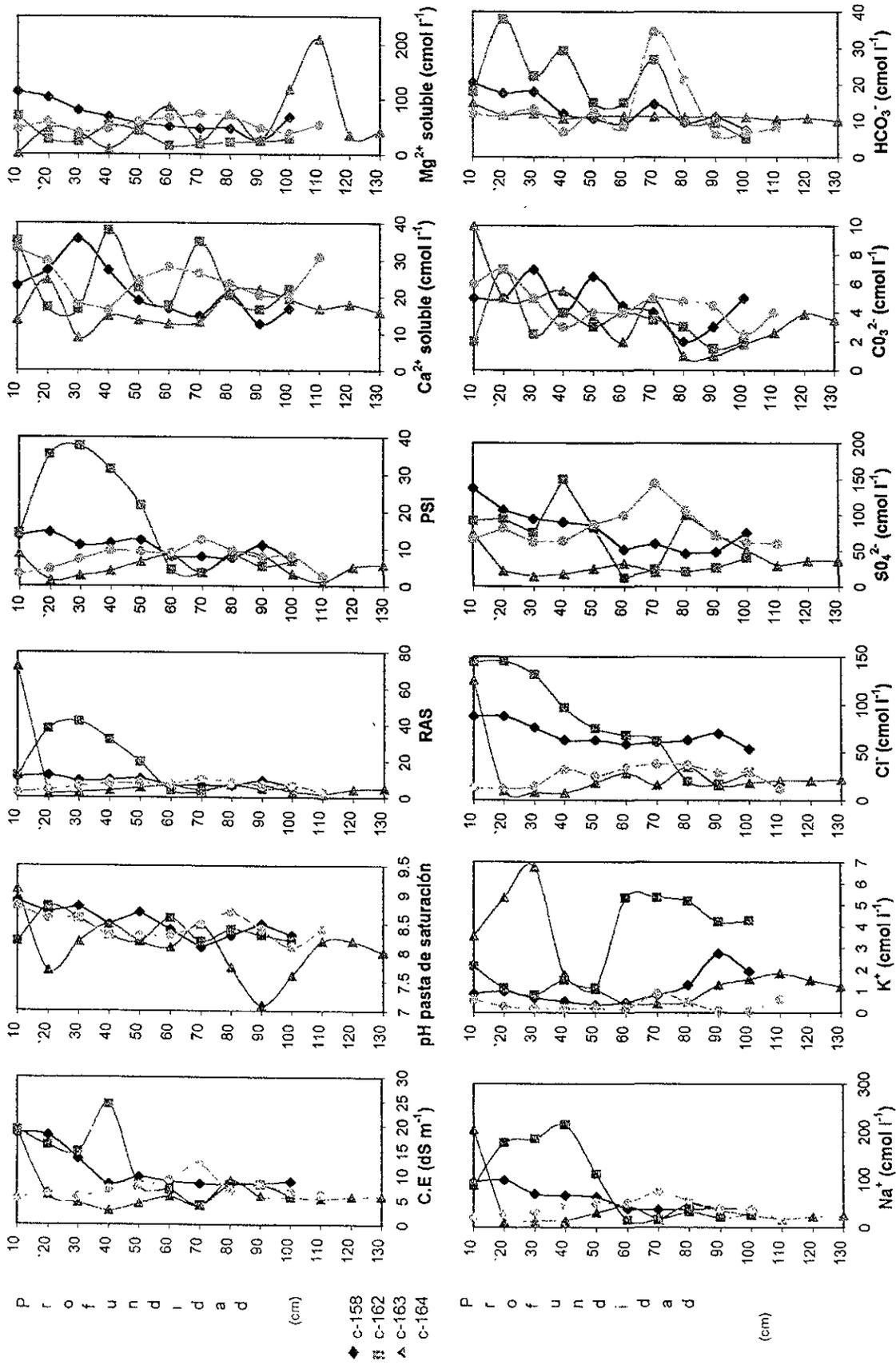


Figura 13. Salinidad y composición cationica de los suelos de chinampa de Xochimilco, D.F. c - 158, San Lorenzo, c - 162 Cuernavaca, c - 163 y 164 La Asunción.

En cuanto a los valores de los cationes solubles pueden observarse en la Tabla 9 y su comportamiento en la Figura 13. El contenido de calcio (Ca^{2+}) se estableció entre 8.9 (c-163) y 37.9 cmol l^{-1} (c-162), el magnesio (Mg^{2+}) con valores de 9.4 (c-163) a 208.9 cmol l^{-1} (c-158), sodio (Na^+) entre 11.6 (c-163) y 214.3 cmol l^{-1} (c-162) y el potasio (K^+) entre 0.10 (c-164) y 5.30 cmol l^{-1} (c-162). Los cationes dominantes en la solución del suelo fueron el sodio y magnesio seguidos del calcio y el potasio. De manera general, las calicatas que presentaron los valores más altos de sodio y magnesio fueron las c- 158 y 162 (capas superficiales) y c-163 en la zona profunda, para el caso del magnesio. En el caso del potasio, las calicatas que sobresalieron fueron la c-163 (capas superficiales) y la c-162 (en la zona profunda); en tanto que en el caso del Ca^{2+} las valores más altos se dieron en las c-158 y 162 (capas 30, 40 y 70 cm). Finalmente, el comportamiento fue a acumularse en las capas superficiales y profundas en la mayoría de las calicatas, en tanto que la c-163 la tendencia fue a disminuir con la profundidad (Figura 13).

Finalmente, el contenido de aniones en los suelos se encontró que los cloruros presentaron valores de entre 7.2 (c-163) y 145.0 cmol l^{-1} (c-162), mientras que los sulfatos se encontraron entre 11.9 a 149.9.3 cmol l^{-1} (c-162). Los carbonatos tuvieron un intervalo entre 1.0 y 10.0 cmol l^{-1} (c-163) y los bicarbonatos 6.2 (c-164) y 38.0 cmol l^{-1} (c-162). Los aniones dominantes en los suelos de chinampa fueron los cloruros y los sulfatos con valores de hasta 140 cmol l^{-1} , presentándose los valores más altos en las c-162, para ambos. En general, los valores más altos de los aniones se presentaron en las c-158, 162 y 163, aunque en el caso de los bicarbonatos los contenidos fueron muy similares entre las capas (Tabla 9), siendo las capas superficiales e intermedias las que tuvieron los mayores valores, sobre todo para los sulfatos y bicarbonatos. En cuanto a los carbonatos no se observaron zonas de acumulación (Figura 13). En cuanto a la relación $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$, fue mayor de 1, en las c- 162 y 163 en las capas superficiales y en las capas profundas de la c-158, por lo que las sales dominantes se encuentran en relación sulfatos-cloruros entras que en la c-164 y las capas profundas del resto de las calicatas fueron < de 1 por lo que la relación está dominada por cloruros - sulfatos. Debido a esto, de manera general, los cloruros se acumularon en las capas profundas, posiblemente por lavado. Así mismo, la relación muestra que los sulfatos se encuentran en mayor proporción en las capas superficiales, por lo que estos son los que tienen una mayor influencia sobre la conductividad eléctrica. Algo que cabe mencionar es que el comportamiento de las sales

se presenta en capas por lo que los cloruros se encuentran depositados a diferentes profundidades frecuentemente en las capas más profundas, esto puede deberse a la deposición de las sales a diferente tiempo.

4.2. Caracterización edáfica del suelo de chinampas de San Andrés Mixquic, Tláhuac.

Los suelos de chinampa de San Andrés Mixquic, Tláhuac se encontraron, al igual que en Xochimilco, bajo diferentes manejo con una actividad agrícola relativamente baja; dos de los lugares muestreados se encontraban bajo pasto y solo uno bajo cultivo de brócoli, principalmente. En este caso las c-157 y 160 se encontraron influenciados por el manto freático mientras que la c-161 se encontraba más alejado de los canales que circundan las chinampas. A pesar de estas diferencias entre las condiciones del suelo, el análisis edáfico mostró que las características físicas, pero sobre todo, las químicas variaron en menor proporción que en Xochimilco, lo cual puede indicar que la adición de materiales que conforman las capas de los suelos de chinampa era menos frecuente. La descripción de los suelos se hizo con tres calicatas; a continuación se desglosan de manera detallada las características antes mencionadas.

4.2.1. Características físicas

Los resultados de los análisis físicos de cada una de las calicatas se presentan en la Tabla 10 y su comportamiento se encuentran en la Figura 14. Los suelos de chinampa son de color gris (10YR 6/1) y gris claro (10YR 7/1). La variación del color fue de una unidad en la intensidad (value), estos colores fueron homogéneos en las calicatas 157 y 159, respectivamente; en el caso de la c-160 presentó una alternancia de colores entre sus capas. El color más oscuro se estableció en las capas superficiales de c-160, hasta los 30 cm, después disminuyó la pureza en el resto de la profundidad. En muestras húmedas los colores fueron el gris muy oscuro (10YR 3/1) y gris pardusco muy oscuro (10YR 3/2), al igual que en que en el parámetro anterior, se presentó una variación de

una unidad. (3/1 a 3/2). Los colores fueron homogéneos en las calicatas, las calicatas 158 fue 10YR 3/1 y las c- 159 y 160, compartieron, 10YR 3/2 (Tabla 10).

La Densidad Aparente (D. Ap) de las calicatas de los suelos de chinampa tuvo valores entre 0.32 (c-160) y 0.66 mg m^{-3} (c-157). Los valores más altos de densidad se encontraron en la calicata 157 (Tabla 10). La tendencia de la densidad en las c-157 y 159 fue a aumentar en las capas superficiales con una posterior disminución con la profundidad; en el caso de la c-160 la tendencia fue contraria hasta los 70 cm y en las capas profundas, donde se presentó un aumento (Figura 14).

La densidad real (D.R) presentó valores entre 1.8 (c-160) y 2.2 mg m^{-3} (c-157). Los valores más altos se encontraron en las calicatas 157 y 159, y se establecieron en las capas superficiales (Tabla 9). La tendencia de D.R fue irregular y las variaciones se dieron en capas. En las c-157 y 159 evidenció un aumento en las capas superficiales y las capas profundas en tanto que las capas medias tuvieron una ligera disminución de la densidad. La D.R en la c-160, contrario a las otras calicatas, disminuyó en las capas superficiales seguida de un aumento, en la capa siguiente y finalmente disminuyó nuevamente con la profundidad (Figura 14).

Con respecto al porcentaje de porosidad (%P), dependiente de las dos características antes mencionadas, mostró un intervalo entre 68.5 (c-157) y 82.8 % (c-160). El porcentaje de porosidad más alto se encuentra en las calicatas 159 y 160, las de menor densidad (Tabla 10). En cuanto al comportamiento del %P en las calicatas tendió a aumentar con la profundidad en capas, debido al aumento de arcillas. Es de mencionar que se presentaron capas donde la porosidad disminuyó debido a un aumento en el contenido de arenas del suelo (Figura 14).

La textura del suelo se puede observar en la Tabla 9. En donde se desglosan los datos de cada fracción y las clases texturales correspondientes. Las arenas tuvieron valores entre 23.8 (c-157) y 58.8% (c-160). Los limos presentaron un intervalo entre 1.6 (c-160) y 42.8% (c-157). Por último, las arcillas estuvieron entre 14.6 (c-157) y 51.6% (c-160). En general las partículas dominantes en las calicatas fueron las arcillas, con más de 30 %, y los limos, > de 20%, siendo la c-157 la que tuvo los mayores porcentajes. Esto provocó que la clase textural predominante fuera migajón arcilloso. Cuando el porcentaje de las arcillas se elevó a 45% la clase textural cambio a arcillas. La siguiente clase textural en importancia fue la franca, ésta se presentó cuando la relación de las arenas y

Tabla 10. Características físicas de las calicatas de San Andrés Mixquic, DF.

Profundidad cm	Color en Seco	Color en húmedo	Densidad		Porosidad %	Textura		
			aparente	real		arena	limo	arcilla
			Mg m ⁻³		%			
Calicata 157 San Andrés, Mixquic.								
00-10	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.52	2.1	75.4	41.6	39.8	18.6
10-20	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.53	2.1	75.0	50.6	34.8	14.6
20-30	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.62	2.2	71.9	49.5	33.4	17.1
30-40	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.66	2.1	68.5	57.6	26.8	15.6
40-50	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.48	2.0	76.3	28.6	42.8	28.6
50-60	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.48	2.1	77.2	27.5	38.9	33.6
60-70	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.48	2.0	76.7	27.8	41.0	31.2
70-80	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.47	2.0	77.2	29.6	36.6	33.8
80-90	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.39	2.1	81.4	24.7	36.9	38.4
90-100	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.36	2.0	82.2	25.8	34.9	39.3
100-110	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.40	2.0	80.2	27.9	37.9	34.2
110-120	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.43	2.0	78.7	24.7	40.9	34.4
120-130	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.40	2.0	80.3	23.8	35.8	40.4
Calicata 159, San Andrés, Mixquic.								
00-10	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy claro	0.46	2.0	77.5	41.1	26.7	32.2
10-20	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy claro	0.43	2.1	79.7	51.6	18.5	29.9
20-30	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy claro	0.44	2.0	78.8	45.5	24.3	30.2

Tabla 10. Continuación.

Profundidad cm	Color en seco	Color en húmedo	Densidad		Porosidad %	Textura		
			aparente	real		arena	limo	arcilla
			Mg m ⁻³			%		
Calicata 160 San Andrés, Mixquic.								
00-10	10YR 6/1 gris	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.48	2.0	76.5	34.8	32.0	33.2
						migajón arcilloso		
10-20	10YR 6/1 gris	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.46	1.9	76.6	35.6	29.6	34.8
						migajón arcilloso		
20-30	10YR 6/1 gris	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.45	2.0	78.4	56.8	24.0	19.2
						migajón arenoso		
30-40	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.44	2.0	79.0	46.8	22.0	31.2
						migajón arcillo-arenoso		
40-50	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.43	2.0	78.7	24.8	28.0	47.2
						arcilla		
50-60	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.37	2.0	81.8	33.2	21.2	45.6
						arcilla		
60-70	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.47	1.9	76.3	31.6	33.8	34.6
						migajón arcilloso		
70-80	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.32	1.8	82.8	58.8	1.6	39.6
						arcilla arenosa		
80-90	10YR 7/1 gris claro	10YR 3/2 gris pardusco muy oscuro	0.32	1.8	82.7	42.0	6.4	51.6
						Arcilla		

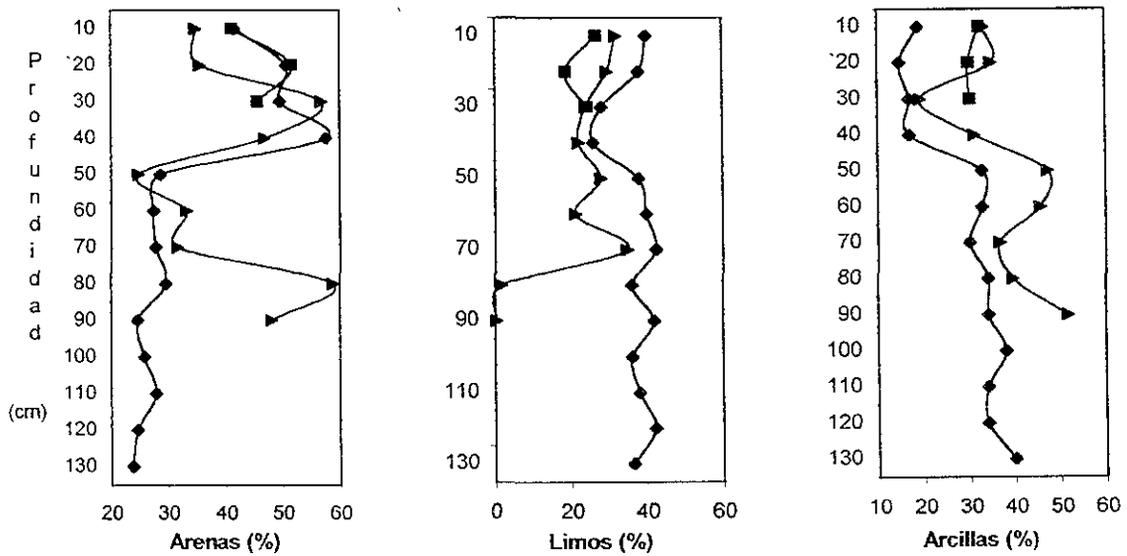
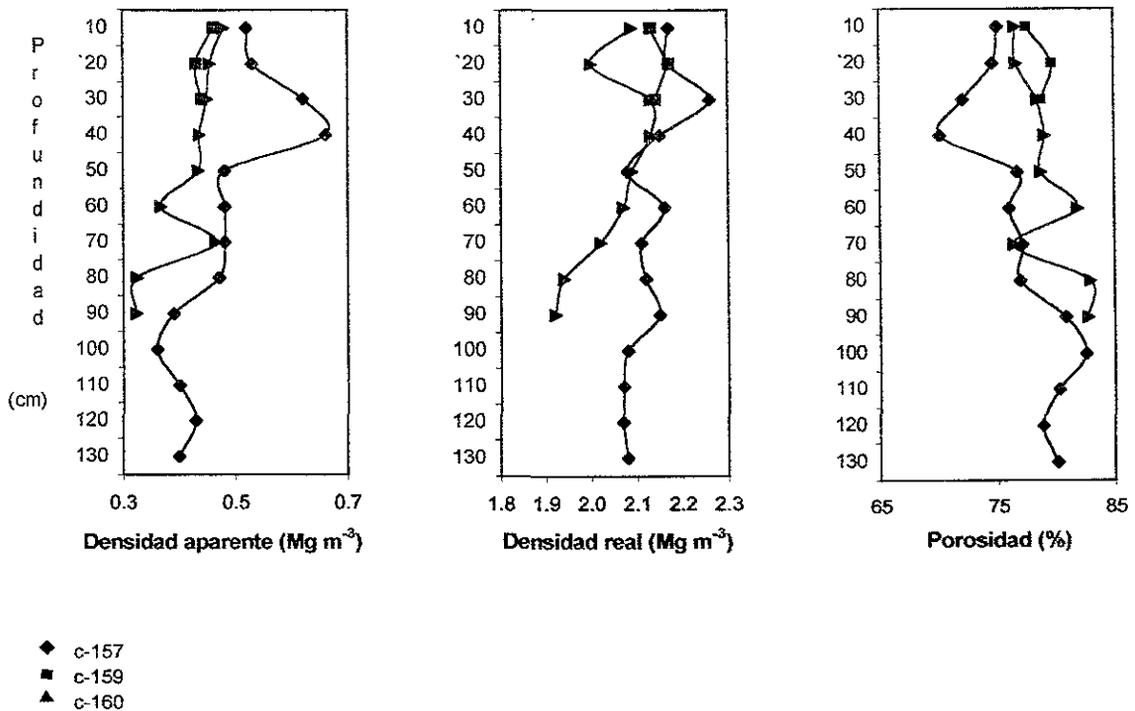


Figura 14 Características físicas de los suelos de San Andrés Mixquic, Tláhuac.

limos estuvo entre 30 y 50%, con un porcentaje de arcillas por debajo de 20%; esta clase se pudo evidenciar en las capas superficiales de la c-157. Finalmente, cuando el porcentaje de arenas aumentó por arriba de 50% esta característica determinó la presencia de texturas tales como migajón arenoso (c-157), migajón arcillo arenoso (c-159 y c-160) y arcilla arenosa (c-160, Tabla 10). Las fracciones más gruesas (arenas) se van a encontrar, de manera general, en las capas superficiales de todas las calicatas, y a los 80 cm de la c-160. Posterior a esto se dio una tendencia a disminuir con la profundidad (c-157 y 159). Con respecto al comportamiento de los limos y arcillas tuvieron una tendencia contraria, aumentan con la profundidad de manera irregular. Los limos aumentaron después en las capas superficiales, hasta los 40 cm en todas las calicatas, seguido de un aumento con la profundidad. En el caso de la c-160 la disminución se dio hasta los 70 cm a partir de los cuales el porcentaje de limos disminuyó como resultado del aumento de las arenas. En cuanto al porcentaje de arcillas van a presentar una tendencia similar a la fracción anterior, disminuye en las capas superficiales de todas las calicatas y aumentan con la profundidad. En esta fracción también se presentó una disminución del porcentaje, en las c-159 y 160, a los 70 cm por el aumento del porcentaje de arenas. La tendencia de las partículas del suelo refleja el cambio de la porosidad ya que las zonas más profundas, donde aumenta el contenido de arcillas, se presenta la mayor porosidad (Figura 14).

4.2.2. Características químicas

Las características químicas de los suelos de chinampa de Mixquic se observan en la Tabla 11 y su comportamiento en la Figura 15. A continuación se hace la caracterización más detallada de los suelos de chinampa de Mixquic.

Los valores del pH activo (agua) en relación 1:5 y 1:10 se establecieron entre 7.5 (c-160) a 8.9 (157), y de 7.8 (c-160) a 9.1 (c-157), respectivamente; en cuanto al pH activo (cloruro de potasio) los valores se establecieron entre 6.4 (c-160) a 8.4 (c-157), en la relación 1:5, y de 6.5 (c-160) a 8.5 (c-157), en 1:10. Los valores más altos de pH potencial y activo se encontraron en la c-157 y el menor pH se presentó en la c-160 (Tabla 11). La tendencia del pH fue a variar en capas en la superficie y posteriormente se dio una disminución de manera regular. Los valores más altos de pH se dieron en las

capas superficiales (hasta los 30 cm) los cuales disminuyeron posteriormente con la profundidad (Figura 15).

Los valores de materia orgánica (M.O) de las calicatas variaron entre 2.5 (c-160) a 16.6% (c-157) y el porcentaje de carbono (%C) tuvo un intervalo de 1.4 (c-160) a 9.6% (c-157). El mayor contenido de carbono se encontró en la c-157 (Tabla 11) en la mayoría de sus capas superficiales. La principal tendencia del carbono fue a disminuir con la profundidad y las variaciones en capas fueron mínimas. De manera general, se pudo observar que la M.O tiene una influencia sobre el pH, en las calicatas 159 y 160 por lo que el menor pH esta asociado con un aumento de C sobre todo en las capas superficiales (Figura 15).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) tuvo un intervalo entre 32.5 (c-157) y 54.8 cmol kg^{-1} (c-159). La mayor capacidad de intercambio se presentó en las c-159 y 160, en las capas superficiales, mientras que la c-157 se dio en las capas intermedias (entre 40 a 80 cm, Tabla 11). La tendencia fue a disminuir con la profundidad (c-159 y 160), después de presentar aumentos a diferentes profundidades (50 y 70 cm en las c-157 y 160, respectivamente), y aumentar en las c-160. El comportamiento de la CIC se encuentra influenciado de manera importante por el porcentaje de la M.O, sobre todo en la c- 160, donde las capas con un alto porcentaje de M.O tuvieron una alta CIC en comparación a las capas con menor materia orgánica. Así mismo, el contenido de arcillas tiene un importante papel en la CIC, ya que en las c-157 y 159 su comportamiento estuvo influenciada por las arcillas (Figura 14 y 15).

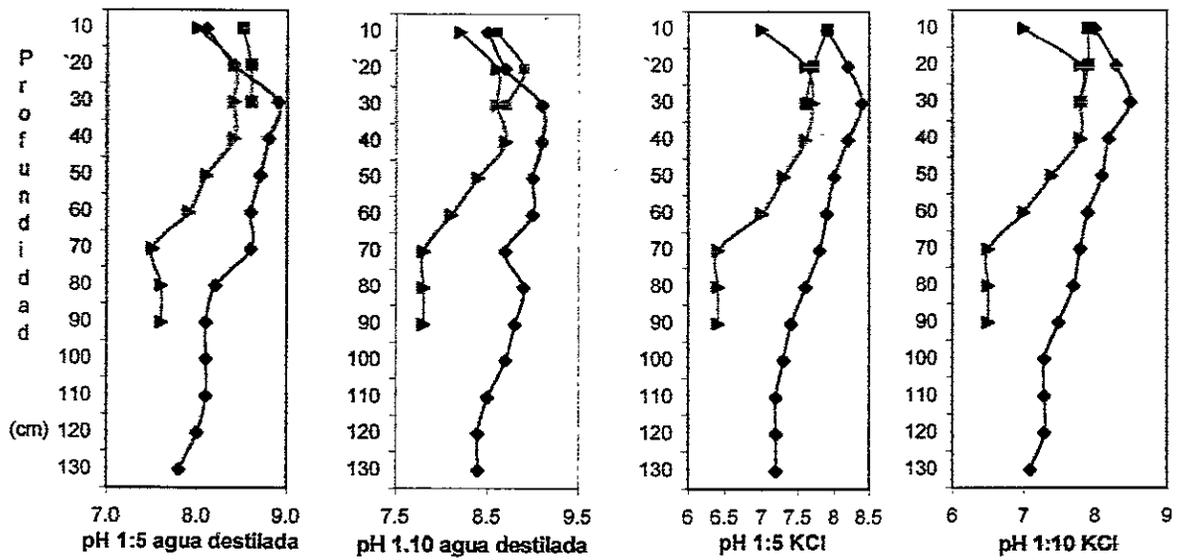
Dentro de los cationes intercambiables evaluados en los suelos de chinampa en Mixquic, el calcio tuvo un intervalo entre 15.7(c-157) y 48.3 cmol kg^{-1} (c-160), el magnesio entre 11.0 (c-160) y 43.9 cmol kg^{-1} (c-157), el sodio tuvo intervalos entre 6.7 (c-157) y 35.6 cmol kg^{-1} (c-157); finalmente, el potasio tuvo valores entre 0.12 (c-160) y 4.5 cmol kg^{-1} (c-159). Los cationes dominantes en las calicatas fueron el calcio, con valores $> 20 \text{ cmol kg}^{-1}$, y el magnesio, con valores $> 15 \text{ cmol kg}^{-1}$; seguidos del sodio, con $>$ de 10 cmol kg^{-1} , y el potasio, con un contenido $< 1.5 \text{ cmol kg}^{-1}$,. En general, el contenido más alto de cationes se estableció en las capas superficiales (0 - 30 cm). El calcio fue mayor en la c-160, el magnesio y sodio en la c-157 y el potasio en la c-159 (Tabla 11). La tendencia principal fue a disminuir con la profundidad; en el caso del sodio, las variaciones entre capas fueron muy pequeñas. mientras que el potasio presentó una mayor variación con la

Tabla 11 Características químicas de las calicatas de San Andrés Mixquic, Tláhuac, D.F. CIC = capacidad de intercambio catiónico.

Profundidad cm	pH				Materia orgánica %	Carbono %	CIC cmol kg ⁻¹	Cationes Intercambiables cmol kg ⁻¹			
	H ₂ O		KCl					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	1:5	1:10	1:5	1:10							
Calicata 157 San Andrés, Mixquic.											
00-10	8.1	8.5	7.9	8.0	12.0	6.9	48.0	17.8	19.4	35.6	1.59
10-20	8.4	8.7	8.2	8.3	11.6	6.7	49.5	35.3	43.9	33.0	1.13
20-30	8.9	9.1	8.4	8.5	16.6	9.6	37.8	35.0	43.2	12.1	0.69
30-40	8.8	9.1	8.2	8.2	15.7	9.1	32.5	36.2	22.0	9.5	0.72
40-50	8.7	9.0	8.0	8.1	15.2	8.8	50.4	32.5	16.8	9.7	0.92
50-60	8.6	9.0	7.9	7.9	14.4	8.3	50.4	33.6	21.0	8.3	1.09
60-70	8.6	8.7	7.8	7.8	15.1	8.7	49.9	22.8	15.4	9.3	1.26
70-80	8.2	8.9	7.6	7.7	15.5	8.7	44.5	31.3	20.1	11.3	1.42
80-90	8.1	8.8	7.4	7.5	16.4	9.5	40.3	25.7	21.5	9.1	1.38
90-100	8.1	8.7	7.3	7.3	16.3	9.4	36.5	22.3	17.3	8.8	1.31
100-110	8.1	8.5	7.2	7.3	15.9	9.2	38.7	18.9	15.7	8.5	1.38
110-120	8.0	8.4	7.2	7.3	15.0	8.7	42.0	17.3	14.1	7.6	0.78
120-130	7.8	8.4	7.2	7.1	14.4	8.3	47.2	15.7	12.60	6.7	0.18
Calicata 159, San Andrés, Mixquic.											
00-10	8.5	8.6	7.9	7.9	10.5	6.4	53.2	31.5	24.1	7.1	4.51
10-20	8.6	8.9	7.7	7.9	9.8	6.0	50.9	32.5	25.2	8.2	4.07
20-30	8.6	8.7	7.6	7.8	9.8	5.5	54.8	32.0	20.4	7.1	3.56

Tabla 11. Continuación.

Profundidad cm	pH				Materia Carbono Orgánica		CIC cmol kg ⁻¹	Cationes Intercambiables			
	H ₂ O		KCl		%			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	1:5	1:10	1:5	1:10				cmol kg ⁻¹			
Calicata 160 San Andrés, Mixquic.											
00-10	8.0	8.2	7.0	7.0	5.6	3.2	52.2	37.8	28.3	8.0	3.92
10-20	8.4	8.6	7.6	7.8	5.3	3.0	47.0	42.0	22.0	13.0	1.08
20-30	8.4	8.6	7.7	7.8	4.8	2.8	46.2	42.0	26.2	12.0	0.82
30-40	8.4	8.7	7.6	7.8	4.3	2.5	44.9	38.8	22.0	11.0	0.33
40-50	8.1	8.4	7.3	7.4	2.8	1.6	39.1	48.3	25.2	11.0	0.33
50-60	7.9	8.1	7.0	7.0	3.7	2.1	34.2	22.0	14.7	8.0	0.26
60-70	7.5	7.8	6.4	6.5	5.1	2.9	42.6	45.1	28.3	8.9	1.21
70-80	7.6	7.8	6.4	6.5	2.5	1.4	39.6	16.8	13.6	8.9	0.15
80-90	7.6	7.8	6.4	6.5	5.3	3.0	36.9	19.4	11.0	8.0	0.12



- ◆ c-157
- c-159
- ▲ c-160

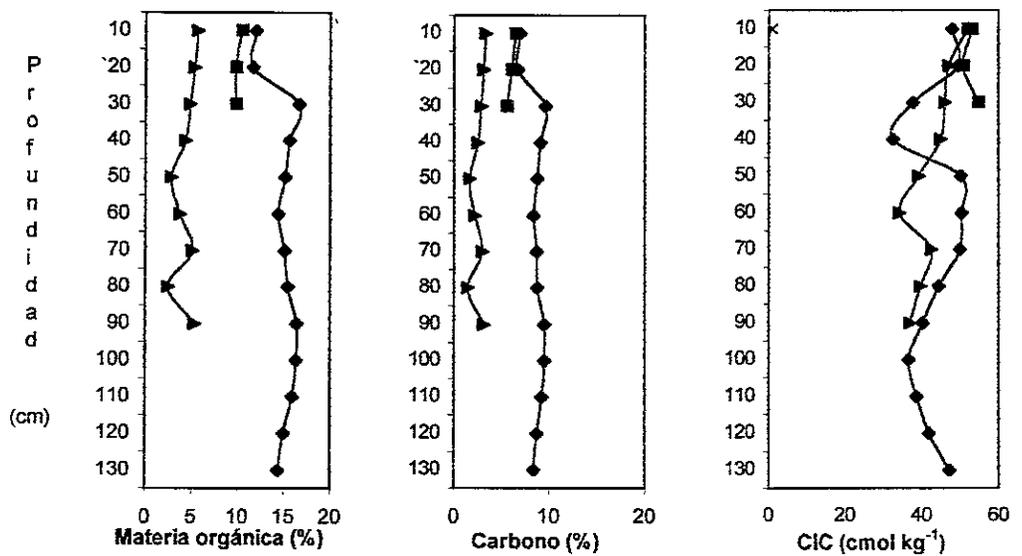
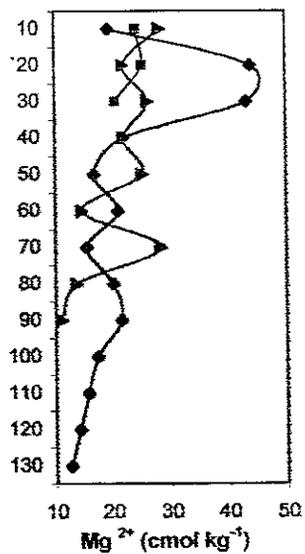
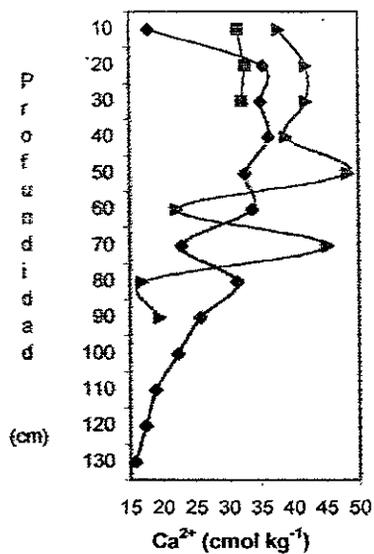


Figura 15. Características químicas de los suelos de chinampa de San Andrés Mixquic, Tlahuac. CIC = capacidad de intercambio catiónico.



- ◆ c-157
- c-159
- ▲ c-160

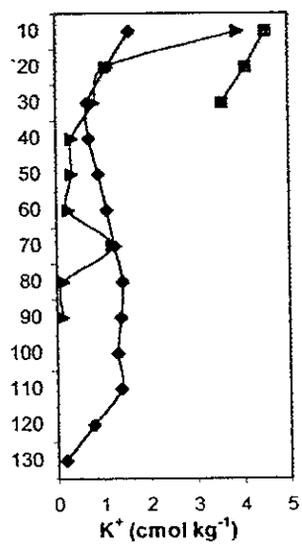
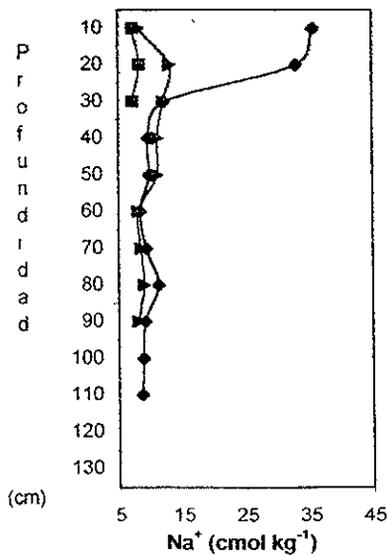


Figura 15. Continuación

profundidad, en c-160 la tendencia fue a disminuir con la profundidad, en tanto que la c-157 tuvo aumentos en el contenido de sodio en algunas de sus capas más profundas (80 cm y 110 cm; Figura 15).

4.2.3. Salinidad

Los resultados de estas determinaciones se encuentran en la Tabla 12 y su comportamiento se puede observar en la Figura 16.

Los suelos de chinampa tuvieron una conductividad eléctrica (C.E) entre 3.70 (c-160) y 26.3 dS m^{-1} (c-157). Los valores de C.E fueron $>$ de 4 dS m^{-1} , en las calicatas c-157, 159 y algunas capas de c-160 (10 a 40 cm). Los valores más altos se establecieron en la zona superficial de las calicatas y los valores más altos se encontraron en la calicata 157 (Tabla 12). La tendencia de la C.E fue a disminuir de forma homogénea, en las c-157 y 159, mientras que las c-160 tuvo una tendencia a aumentar en las capas superficiales (30 cm) y posteriormente disminuyó (Figura 16).

La relación de adsorción de sodio (RAS) se estableció entre 6.3 (c-160) a 23.0 (c-160) y el porcentaje de sodio Intercambiable (PSI) entre 5.3 (c-160) y 24.7% (c-157). Los valores de RAS, $>$ 13, y PSI, $>$ 15, se establecieron en las capas superficiales de la c-157 y en una capa (60 a 70 cm) de la 160, donde la c-157 presenta el mayor RAS y PSI (Tabla 12). La tendencia de ambas relaciones fue a disminuir, en las c-157 y 159, mientras que en la c-160 hubo una tendencia a aumentar con la profundidad (hasta los 70 cm) disminuyendo posteriormente con la profundidad (Figura 16).

El pH de la solución se estableció entre 7.9 y 8.8 (c-157). Las calicatas 157 (0 a 30 cm) y 160 tuvieron valores mayores de 8.5, siendo ésta última la que presentó los valores más altos en sus capas, en tanto que la c-159 tuvo valores menores a 8.5 (Tabla 12). La tendencia general del pH fue a disminuir con la profundidad, aunque se presentaron algunas zonas de aumento en las c-157 y 160, entre los 30 a 40 y 80 a 90 cm (Figura 16).

El análisis de salinidad de los suelos de San Andrés Mixquic, Tláhuac mostraron que las calicatas 157 y 160 presentaron problemas salino - sódicos, principalmente en las capas superficiales en el caso de la primera y en las capas profundas de la segunda calicata. En tanto que las c-159, 160 (capas superficiales) y 157 (capas profundas) fueron caracterizados como suelos o capas salinas. El proceso dominante en el sitio fue la

Tabla 12. Análisis de salinidad de tres calicatas de Mixquic, D.F. C.E = Conductividad eléctrica, RAS = Relación de adsorción de sodio y PSI = Porcentaje de sodio intercambiable.

Profundidad cm	C.E. dS m ⁻¹	RAS	PSI	pH	Clasificación	Iones Solubles							
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
cmol l ⁻¹													
Calicata 157													
San Andrés, Mixquic.													
00-10	26.3	23.0	24.7	8.6	Sal-Sod.	30.4	136.5	210.5	2.95	145.2	187.6	4.5	29.7
10-20	25.4	22.0	23.8	8.6	Sal-Sod.	35.7	138.6	206.1	1.87	167.5	172.2	6.0	30.5
20-30	6.7	11.0	13.1	8.8	Salino	12.0	22.5	45.9	0.60	30.0	34.2	5.0	14.7
30-40	6.1	12.3	14.5	8.4	Salino	11.0	17.3	46.5	0.54	27.5	33.7	4.9	13.5
40-50	5.4	12.4	14.6	8.4	Salino	8.9	17.3	44.9	0.50	28.5	34.6	4.3	12.8
50-60	5.9	15.2	17.5	8.3	Sal-Sod	8.9	11.0	48.0	0.49	39.2	35.9	4.5	11.7
60-70	5.3	9.0	10.8	8.3	Salino	10.5	20.4	35.5	0.86	28.5	35.9	4.0	7.7
70-80	4.8	8.5	10.1	8.5	Salino	10.5	16.2	31.0	0.85	25.7	32.5	4.0	9.0
80-90	4.8	8.1	9.7	8.2	Salino	12.6	16.8	31.0	0.72	26.7	31.2	4.5	9.0
90-100	4.1	7.8	9.3	8.3	Salino	9.4	13.6	26.6	1.00	23.0	24.8	3.5	6.2
100-110	4.5	7.7	9.3	8.3	Salino	10.5	16.8	28.7	0.56	27.7	31.7	2.5	8.0
110-120	4.1	6.9	8.2	8.4	Salino	8.9	15.2	24.1	0.88	17.0	21.4	3.0	8.0
120-130	4.1	8.0	9.6	7.9	Salino	7.3	13.6	26.0	0.75	25.2	25.7	3.0	8.5
Calicata 159													
San Andrés, Mixquic.													
00-10	4.2	11.5	13.7	8.2	Salino	8.4	3.5	18.8	5.0	14.0	19.7	2.0	17.0
10-20	4.5	10.7	12.8	8.2	Salino	10.5	6.0	17.8	4.6	16.5	7.7	2.0	16.0
20-30	3.2	8.3	10.0	8.2	No salino	8.4	2.7	13.2	3.3	16.0	13.7	3.0	16.5
Calicata 160													
San Andrés, Mixquic.													
00-10	3.7	4.6	5.3	8.9	No salino	13.1	11.0	16.0	2.69	18.0	12.8	3.0	15.0
10-20	7.3	7.3	8.7	8.6	Salino	23.6	24.6	36.0	0.97	27.5	54.8	3.0	12.0
20-30	8.9	8.6	10.3	8.8	Salino	21.0	30.4	43.9	0.71	37.5	47.9	2.0	12.5
30-40	5.7	6.3	7.5	8.8	Salino	17.5	20.3	27.5	0.71	27.5	35.1	3.0	14.5
40-50	3.8	10.5	12.5	8.7	No salino	18.9	12.6	41.7	1.59	23.5	26.5	2.0	11.0
50-60	3.1	10.0	12.0	8.5	No salino	19.9	4.7	35.3	1.49	16.0	17.1	4.0	5.0
60-70	3.5	21.1	23.0	8.5	Sódico	11.5	7.8	65.7	1.38	41.0	18.8	4.0	5.5
70-80	3.2	5.0	5.8	8.2	Salino	8.0	9.8	15.0	0.71	18.5	23.1	5.0	5.0
80-90	3.7	4.6	5.3	8.7	Salino	12.9	12.2	16.5	0.71	24.0	21.4	5.0	5.0

Tabla 12. Continuación. Relación de cloruros y sulfatos.

Profundidad cm	Cl ⁻ / SO ₄ ²⁻ Calicata		
	157	159	160
00-10	0.77	0.71	1.40
10-20	0.97	2.14	0.50
20-30	0.09	1.17	0.78
30-40	0.08	-	0.78
40-50	0.08	-	0.88
50-60	0.11	-	0.93
60-70	0.08	-	2.18
70-80	0.08	-	0.80
80-90	0.09	-	1.12
90-100	0.09	-	-
100-110	0.09	-	-
110-120	0.08	-	-
120-130	0.10	-	-

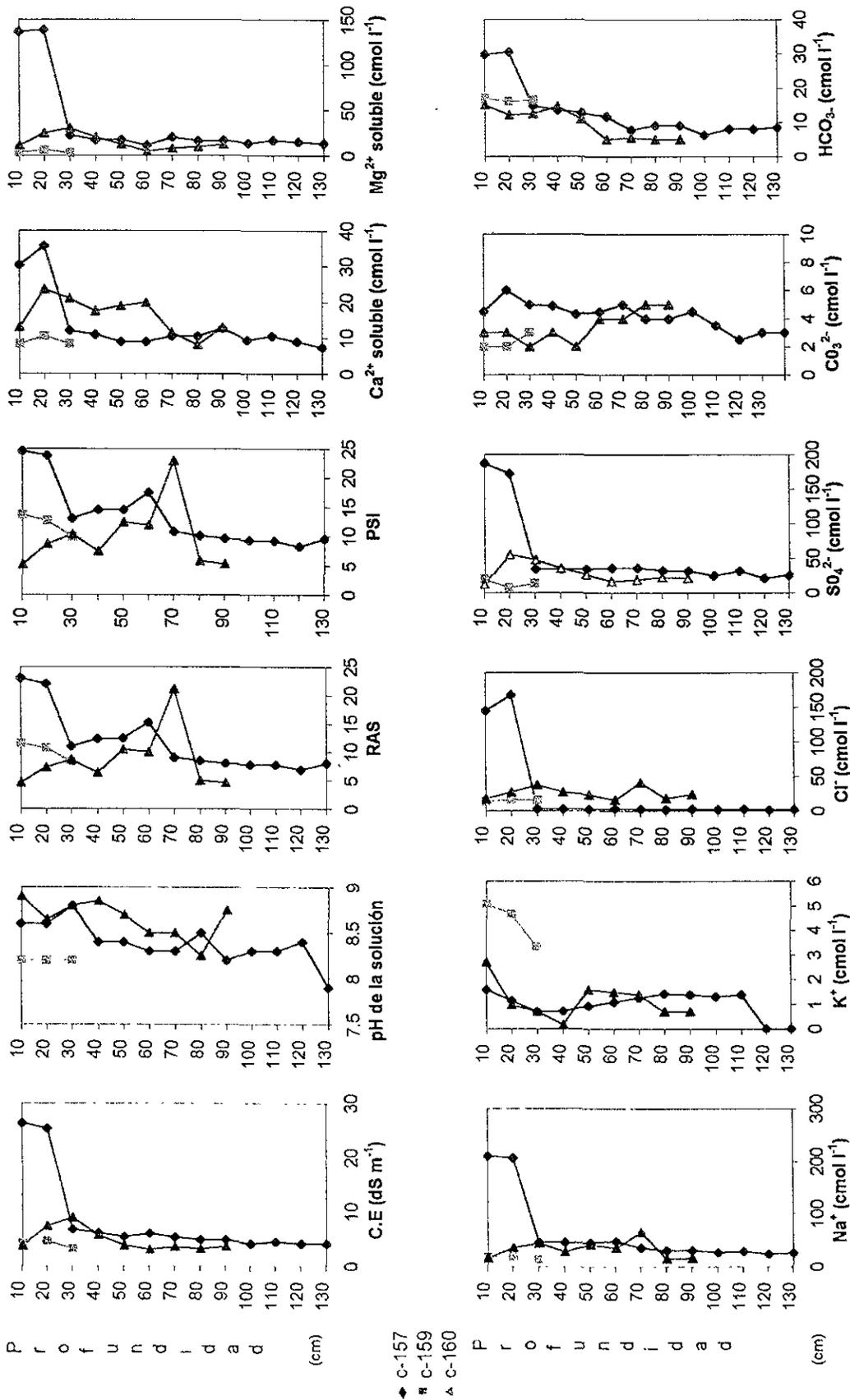


Figura 16. Salinidad y composición cationica de los suelos de chinampa de San Andrés Mixquic, D.F. c - 157, 159 y 160.

salinidad sobre todo en la capa radicular y en menor proporción el suelo fue salino – sódico (Tabla 12).

En cuanto a los cationes solubles determinados pueden observarse en la Tabla 12 y su comportamiento en la Figura 16. El contenido de Ca^{2+} se estableció entre 7.3 y 35.7 cmol l^{-1} (c-157), el Mg^{+} tuvo valores 2.73 (c-159) a 138.6 (c-157) y el Na^{2+} estuvo entre 13.2 (c-157) a 210.5 (c-157); finalmente el potasio tuvo valores de 0.49 (c-157) a 5.0 (c-159). Los cationes dominantes en la solución fueron el sodio y el magnesio, seguidos por el calcio y el potasio. De manera general, los valores más altos de sodio y magnesio se encontraron en la c-157 en las capas superficiales (Tabla 12). La tendencia principal de los cationes fue a disminuir con la profundidad (Figura16).

Finalmente, en relación con los aniones solubles, se encontró que el cloruro tuvo valores entre 14.0 (c-159) y 167.5 cmol l^{-1} (c-157), los sulfatos tuvieron un intervalo entre 7.7 (c-159) y 187.6 cmol l^{-1} (c-157) y los carbonatos 2.0 (c-159) y 6.0 cmol l^{-1} (c-157). Finalmente, los bicarbonatos tuvieron un contenido de 5.0 (c-160) y 30.5 cmol l^{-1} (c-157). Los aniones dominantes en la solución del suelo de Mixquic fueron cloruros y los sulfatos, seguidos por los bicarbonatos y carbonatos. Los valores más altos, de estos aniones, se presentaron en la calicata 157, sobre todo en las capas superficiales (Tabla 12). El comportamiento del cloruro y sulfato fue muy homogéneo con una tendencia a disminuir ligeramente con la profundidad. En cuanto al comportamiento de los carbonatos y bicarbonatos con variaciones más irregulares en capas. La tendencia de los carbonatos fue a aumentar ligeramente en las calicatas 159 y 160, mientras que la c-157 tuvo un comportamiento contrario. En el caso de los bicarbonatos la tendencia fue a disminuir con la profundidad (Figura 16). Tomando en cuenta la relación $\text{Cl}^{-}/\text{SO}_4^{2-}$, se encontró que los suelos en la mayoría de los casos, tuvieron un valor < 1 por lo que los suelos se encontraron dominados por los cloruros sobre los sulfatos; en algunas capas del suelo la relación fue > 1 por lo que los sulfatos fueron más abundantes que los cloruros, esto se dio en las c-159 y 160. Algo importante de mencionar es que la relación cambió en capas, asociado con la formación del suelo, donde las zonas más profundas se encontraron dominadas por los cloruros. Este comportamiento puede ser atribuido a la deposición de sales a diferentes tiempos; así como la presencia de los cloruros en las capas profundas se debe a la influencia del manto freático que lava las sales de las capas superficiales (Tabla 12).

4.3. Caracterización edáfica de los suelos de chinampa de San Pedro Tláhuac, Tláhuac.

Los suelos de chinampa de San Pedro Tláhuac se encuentran con mayor actividad agrícola que los otros sitios de estudio. Cabe mencionar que el sitio de estudio se encontraba cultivado con maíz. En este caso el suelo no tuvo una fuerte influencia del manto freático debido a que se encontraba lejano de los canales que rodean el sistema chinampero. La descripción del sitio, en este caso, se hizo sólo con una sola calicata. A continuación se desglosan de manera detallada las características antes mencionadas.

4.3.1 Características físicas

Las características físicas de los suelos de San Pedro Tláhuac se desglosan en la Tabla 13 y su comportamiento se observa en la Figura 17. El suelo es de color, en muestras secas, gris (10YR 6/1 a 5/1), el cual presentó una variación de una unidad en la intensidad (value) la cual se evidenció en las capas superficial y profunda de la calicata. En muestras húmedas el color dominante fue el gris muy oscuro (10YR 3/1), en tanto que, el negro (10YR 2/1) tuvo una menor proporción (sólo en las capas 50 a 60 y entre 80 a 100 cm). La variación de color, nuevamente, se dio en la intensidad (value; Tabla 13).

La densidad aparente (D. Ap.) del suelo tuvo valores entre 0.51 (50-60 cm) y 0.70 Mg m⁻³ (10 - 20 cm). Los valores más altos se dieron en la capa superficial (Tabla 13). La tendencia de la D. Ap fue a disminuir con la profundidad (Figura 17)

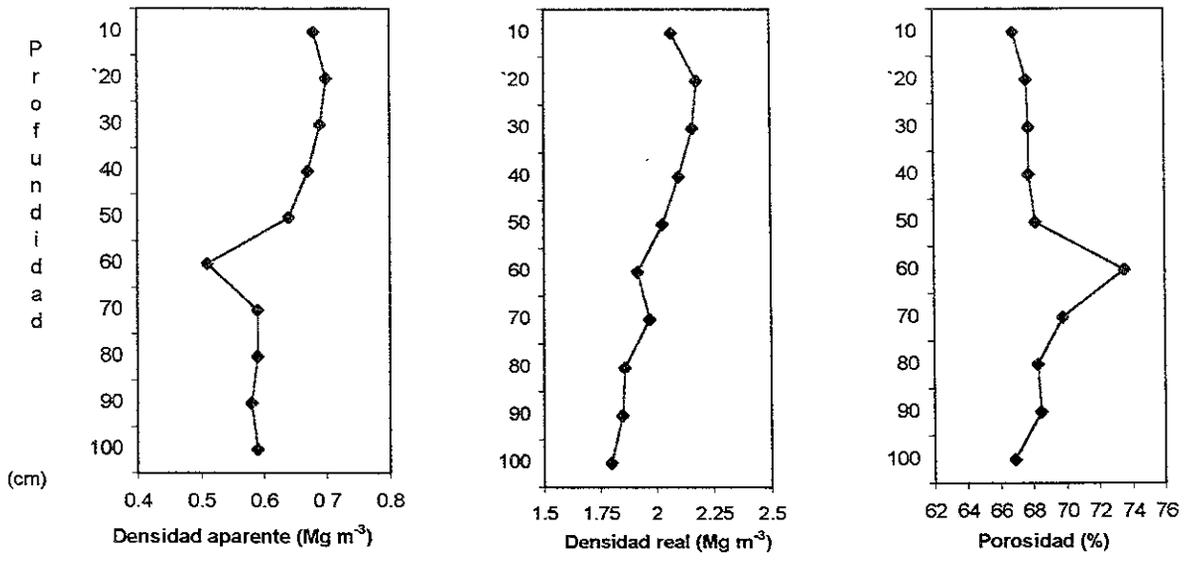
La densidad real (D.R) presentó valores entre 2.1 (10-20 cm) y 1.8 Mg m⁻³ (90-100 cm). Los valores más altos se establecieron en las capas superficiales (Tabla 12). La tendencia fue a disminuir con la profundidad (Figura 13)

Con respecto al porcentaje de porosidad (%P) tuvo valores entre 66.8 (90-100) y 73.5 (50-60 cm; Tabla 12). En cuanto al comportamiento, éste fue bastante regular y la tendencia fue a aumentar el %P en la zona media del perfil (Figura 17).

En cuanto a la textura, los porcentajes de las diferentes fracciones del suelo se observan en la Tabla 12. Las arenas presentaron porcentajes de 34 (30 a 40 cm) a 49.8

Tabla 13. Características físicas del suelo de San Pedro Tláhuac, D.F.

Profundidad cm	Color en seco	Color en húmedo	Densidad		Porosidad %	Textura		
			aparente	real		arena	limo	arcilla
			Mg m ⁻³		%			
Calicata 161								
San Pedro, Tláhuac								
00-10	10YR 5/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.68	2.0	66.9	35.3	51.3	13.4
10-20	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.70	2.1	67.7	34.4	57.4	8.2
20-30	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.69	2.1	67.8	34.2	56.2	9.6
30-40	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.67	2.1	67.8	34.0	57.0	9.0
40-50	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.64	2.0	68.1	34.0	57.0	9.0
50-60	10YR 6/1 gris	10YR 2/1 Negro	0.51	1.9	73.5	38.9	39.0	22.0
60-70	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.59	1.9	69.7	49.8	39.0	11.6
70-80	10YR 6/1 gris	10YR 3/1 gris muy oscuro	0.59	1.8	68.2	47.2	42.2	10.6
80-90	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 Negro	0.58	1.8	68.4	49.0	32.9	18.1
90-100	10YR 5/1 gris	10YR 2/1 Negro	0.59	1.8	66.8	49.4	32.4	18.1



c-161

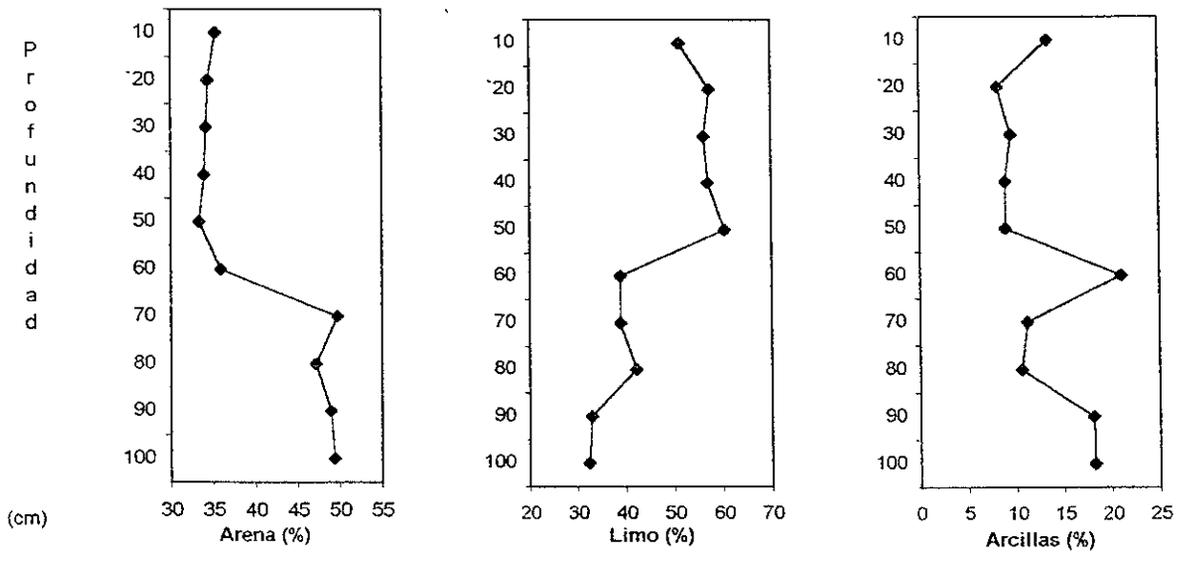


Figura 17. Características físicas del suelo de San Pedro Tláhuac, D.F. c-161.

(60-70 cm), los limos entre 39.0 (60-70 cm) y 57.4% (10-20) y las arcillas entre 8.2 (10 a 20 cm) y 21.0% (50-60). En general, las partículas dominantes en este sitio fueron los limos hasta con 57%, seguidos de las arenas con 49%, esto causó que la clase textural dominante fuera migajón limoso, en las capas superficiales (10 a 50 cm) y posteriormente la clase textura franco (capas de 60 a 100 cm), la cual se dio cuando la relación de fracciones del suelo fue muy similar. Los valores más altos de los limos se evidenciaron en las capas superficiales, mientras que las arenas y las arcillas se acumularon en zonas intermedias y bajas de la calicata (Tabla 13). El comportamiento de las fracciones fue muy homogéneo y la tendencia de los limos fue a disminuir con la profundidad, en tanto que las arenas y arcillas aumentaron en las capas profundas de la calicata. La textura parece tener una relación con el porcentaje de porosidad, sobre todo con el contenido de arcillas, las cuales al aumentar en la zona intermedia y baja de la calicata se da un aumento de la porosidad del suelo (Figura 17).

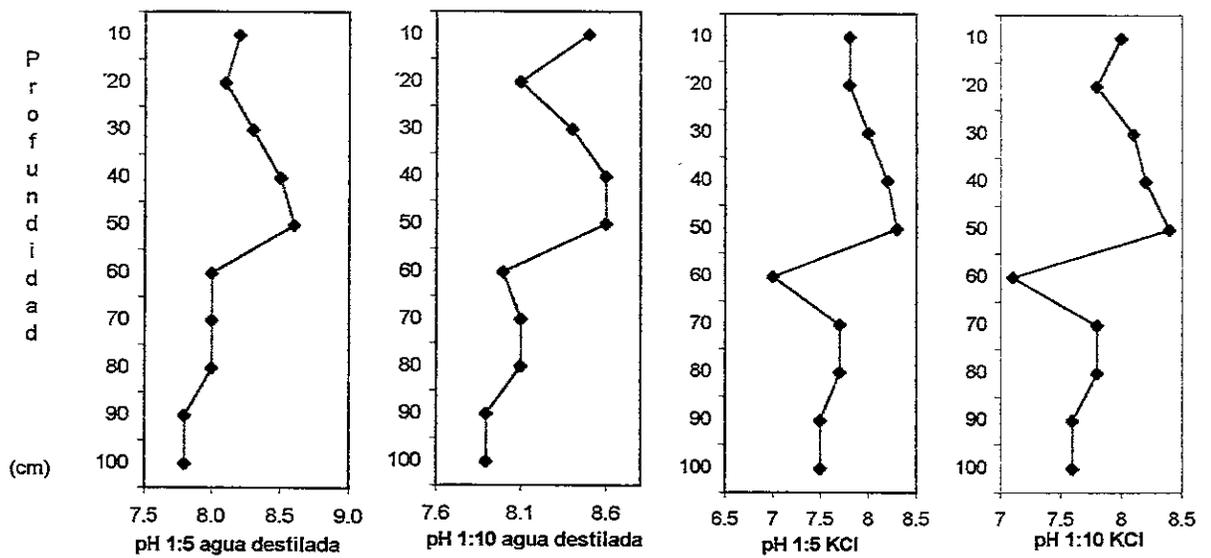
4.3.2. Características químicas

Las determinaciones químicas de los suelos de chinampa se muestran en la Tabla 14. Los valores de pH activo (agua), relación 1:5 y 1:10 fueron de 7.8 (90-100 cm) a 8.6 (40-50 cm) y 7.9 (90-100cm) a 8.6 (40-50cm), respectivamente. En cuanto al pH potencial (KCl) los valores se establecieron entre 7.0 (50-60 cm) a 8.3 (40-50 cm) para 1:5 y de 7.1 (50-60cm) a 8.4 (40-50 cm) para 1:10. Los valores más altos se dieron en la zona media (30 a 50 cm) de la calicata (Tabla 14). El comportamiento del pH fue irregular dándose variaciones en capas, la tendencia fue a aumentar en la capa intermedia, en tanto que las zonas más profundas el pH fue menor (Figura 18).

En cuanto al porcentaje de materia orgánica (M.O) se estableció entre 8.5 (40-50cm) y 17.7% (90-100 cm) y el carbono (C) se estableció entre 4.9 (40-50 cm) a 11.7% (80-90 cm). Los valores más altos se evidenciaron en las capas superficiales (0-20cm) y en las capas más profundas (60 a 100 cm; Tabla 14). La tendencia de la M.O y C fue a aumentar con la profundidad (Figura 18). El contenido de materia orgánica presentó una relación con el pH del suelo, ya que en los sitios en los que se presentaron los porcentajes más altos, en las capas más profundas, el pH fue bajo, así mismo ésta influyó

Tabla 14. Características químicas del suelo de San Pedro Tláhuac, D.F. CIC = capacidad de intercambio catiónico.

Profundidad cm	pH				Materia orgánica %	Carbono %	CIC cmol kg ⁻¹	Cationes intercambiables cmol kg ⁻¹				
	H ₂ O		KCl					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
	1:5	1:10	1:5	1:10								
c-161												
San Pedro Tláhuac												
00-10	8.2	8.5	7.8	8.0	12.0	7.0	56.2	50.4	42.0	16.6	0.97	
10-20	8.1	8.1	7.8	7.8	10.3	5.8	60.6	75.0	29.9	20.8	0.56	
20-30	8.3	8.4	8.0	8.1	9.3	5.7	58.1	77.7	25.2	26.2	0.56	
30-40	8.5	8.6	8.2	8.2	9.0	5.2	53.7	72.1	25.7	26.6	0.49	
40-50	8.6	8.6	8.3	8.4	8.5	4.9	54.0	66.6	26.2	27.0	0.43	
50-60	8.0	8.0	7.0	7.1	12.4	7.1	50.2	63.3	18.7	23.2	0.38	
60-70	8.0	8.1	7.7	7.8	15.4	8.9	64.9	77.7	13.1	19.4	0.32	
70-80	8.0	8.1	7.7	7.8	13.7	7.9	59.0	73.5	11.0	18.1	0.34	
80-90	7.8	7.9	7.5	7.6	13.5	11.7	73.5	86.6	26.2	22.9	0.38	
90-100	7.8	7.9	7.5	7.6	17.7	10.2	63.4	50.9	35.1	16.9	0.46	



‡ c-161

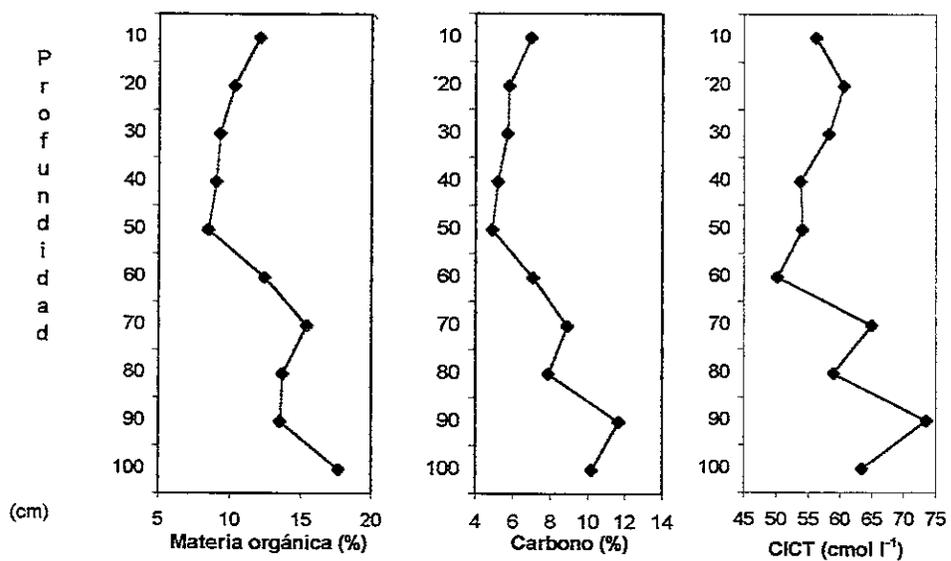


Figura 18. Características químicas del suelo de chinampa de San Pedro Tláhuac, D.F. c- 161. CIC = capacidad de intercambio cationico.

en el comportamiento de la densidad del suelo ya que la menor densidad se presentó en los sitios donde la materia orgánica fue alta (Figura 17 y 18).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentó valores entre 50.2 (50-60 cm) y 73.5 (80-90 cm), el contenido más alto se dio en las capas más profundas (70 a 100 cm; Tabla 14). La tendencia de la CIC fue a aumentar en la zona más profunda (Figura 18). Esta característica se relacionó con la materia orgánica, así como con el porcentaje de arcillas sobre todo en las zonas más profundas, donde las características tuvieron los valores más altos (Figura 17 y 18).

Dentro de los cationes intercambiables evaluados el contenido de calcio (Ca^{2+}) fue de 50.4 (50-60 cm) y 86.6 cmol kg^{-1} (80-90 cm), del magnesio (Mg^{2+}) fue de 11.0 (70-80) a 42.0 cmol kg^{-1} (0-10 cm), del sodio (Na^+) presentó de 16.6 (0-10 cm) a 27.0 cmol kg^{-1} (40-50cm), finalmente, el contenido de potasio (K^+) se estableció entre 0.32 (60-70 cm) y 0.97 cmol kg^{-1} (0-10 cm). Los cationes dominantes en el suelo fueron el calcio, seguido por el magnesio, el sodio y finalmente por el potasio. En general, los mayores contenidos de cationes se encontraron en las capas superficiales y en las profundas sobre todo en el caso de Ca^{2+} y Mg^{2+} , en tanto que el Na^+ fue en las capas intermedias (30-60cm) y el K^+ en las superficiales (Tabla 14). El comportamiento de los cationes fue irregular, los cambios en el contenido se dieron en capas con una tendencia a disminuir en las capas intermedias en el caso del Ca^{2+} , Mg^{2+} y el K^+ ; en tanto que el sodio tendió a acumularse en las capas intermedias (Figura 18). Los cationes tuvieron una relación con la M.O sobre todo en las capas profundas de la calicata, donde se acumula y hay un aumento de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ ; Figura 18).

4.3.3. Salinidad

Los resultados de estas determinaciones se encuentran en la Tabla 15 y su comportamiento se puede observar en la Figura 19. La C.E de la pasta de saturación presentó valores entre 13.5 (80-90 cm) y 26.0 dS m^{-1} (40-50 cm) donde la mayor CE se presento en las capas superficial y media de la calicata (10-50 cm; Tabla 15). La *tendencia principal de la C.E fue a aumentar la C.E de la capa superficial a la parte media de la calicata y posteriormente disminuyó con la profundidad* (Figura 19).

Tabla 15. Análisis de salinidad del suelo de chinampa de San Pedro Tláhuac, D.F. C.E= conductividad eléctrica, RAS= relación de adsorción de sodio, PSI= Porcentaje de sodio intercambiable y relación de cloruros - sulfatos.

Profundidad cm	C.E dS m ⁻¹	RAS	PSI	pH	Clasificación	Iones solubles			
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Calicata-161. San Pedro, Tláhuac.									
00-10	17.3	5.1	6.0	8.1	Salino	33.6	46.2	132.7	2.00
10-20	20.7	17.3	19.0	8.1	Sal-sod	38.8	55.6	119.3	1.69
20-30	25.9	20.9	22.0	8.1	Sal-sod	46.2	71.4	160.8	2.36
30-40	22.1	19.8	21.9	8.2	Sal-sod	41.4	79.2	153.9	1.64
40-50	26.0	18.6	20.8	8.3	Sal-sod	36.7	87.1	147.0	0.93
50-60	15.3	8.7	10.5	8.2	Salino	32.5	75.6	64.6	1.18
60-70	17.2	12.4	14.6	8.0	Salino	34.6	55.6	83.5	0.39
70-80	16.0	10.5	12.5	8.0	Salino	33.6	61.9	73.0	0.36
80-90	13.5	13.0	15.2	8.1	Salino	29.4	66.1	89.9	0.39
90-100	14.8	13.2	15.5	8.0	Salino	28.3	68.2	92.1	0.48

Tabla 15. Continuación.

Profundidad cm	Aniones solubles				
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻ / SO ₄ ²⁻
San Pedro Tláhuac					
00-10	192.0	102.8	6.0	17.0	1.86
10-20	348.5	140.5	8.5	23.5	2.48
20-30	238.5	189.3	11.5	16.0	1.25
30-40	346.5	195.3	10.3	20.5	1.77
40-50	454.5	201.3	9.0	37.5	2.25
50-60	103.5	104.3	9.0	15.0	0.98
60-70	219.5	128.5	12.0	26.5	1.70
70-80	264.0	153.3	11.0	29.5	1.72
80-90	255.0	143.0	14.0	30.5	1.78
90-100	242.5	143.0	10.0	23.0	1.69

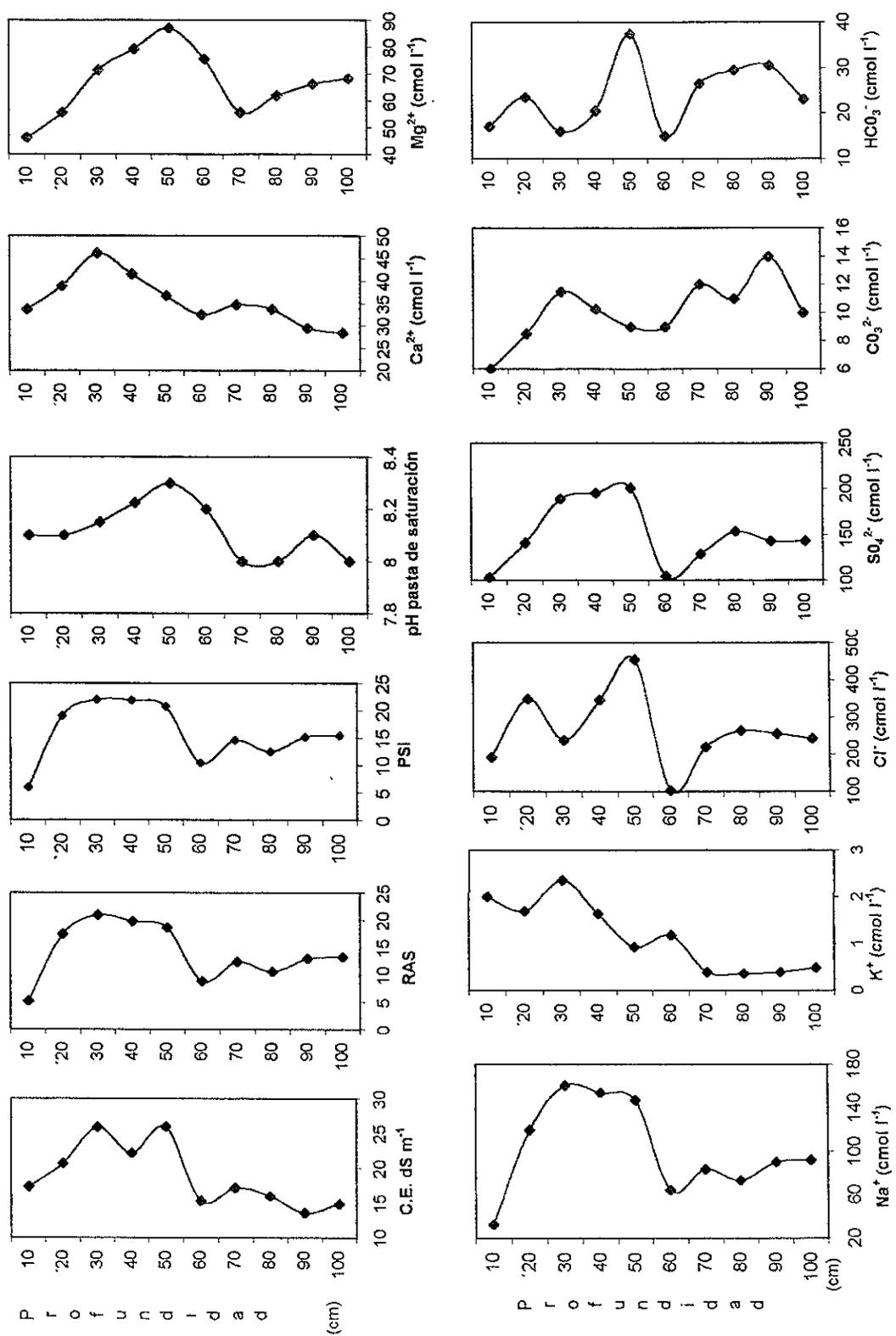


Figura 19. Salinidad y composición catiónica de la solución del suelo de chinampas de San Pedro, Tlahuac. D. F., c-161. C.E = Conductividad eléctrica, RAS = Relación de adsorción de sodio, PSI = Porcentaje de sodio intercambiable.

↓ c-161

En cuanto a la relación de adsorción de sodio (RAS) los valores se establecieron entre 5.1 (0-10 cm) hasta 20.9 (20-30 cm), en tanto que, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) fue de 6.0 (0-10 cm) y 22.0 (20-30 cm). Los valores de RAS, > 13, y PSI, > 15, se presentaron en las capas intermedias y profundas (Tabla 15). De manera general la tendencia a presentar los valores más altos en las capas superficiales e intermedias (20 a 50 cm) y a disminuir con la profundidad (Figura 19).

El pH se encontró entre 8.0 (60 - 70 cm) y 8.3 (40 - 50 cm), los valores más altos se establecieron en las capas superficiales e intermedias (Tabla 14). La tendencia principal del pH fue a presentar variaciones en pequeñas capas, siendo la zona intermedia (50 cm) la de mayor pH, en tanto que, las capas superficiales y profundas tendieron a tener valores bajos de pH (Figura 19).

El análisis de salinidad de este suelo mostró que presentan una C.E > 4 dS m⁻², RAS > 13 y PSI > 15, en las capas superficiales, con un pH > 8.5 los suelos son considerados como suelos salino-sódicos, en la parte superficial. En tanto que las condiciones de las capas profundas fueron salinas (Tabla 15).

En cuanto a los cationes solubles determinados, el contenido puede observarse en la Tabla 15 y su comportamiento en la Figura 19. El contenido de calcio (Ca²⁺) estuvo entre 28.3 (90-100cm) y 46.2 cmol l⁻¹(20-30 cm), el magnesio (Mg²⁺) tuvieron valores entre 46.2 (0-10 cm) a 87.1 (40-50 cm) y el sodio (Na⁺) entre 64.6 (50-60 cm) y 160.8 cmol l⁻¹ (20-30 cm). Finalmente el potasio (K⁺) tuvo valores de 0.36 (70-80 cm) a 2.3 (20-30 cm). Los cationes dominantes en la solución del suelo fueron el sodio y el magnesio seguidos del calcio y el potasio. De manera general, los valores más altos de sodio y magnesio se encontraron en los 50 cm; mientras que los valores más altos de calcio y potasio se establecieron en las capas superficiales, hasta los 40 cm (Tabla 15). La tendencia principal de los cationes fue, en el caso del sodio y magnesio, a acumularse en las capas intermedias de la calicata, en tanto que los de los otros cationes se dieron en las capas superficiales, seguidos de una disminución con la profundidad. Esto se observó, sobre todo, en calcio y potasio donde los cationes disminuyeron de manera gradual en las capas profundas; en tanto, el sodio y magnesio tuvieron una ligera tendencia a disminuir en las capas posteriores, seguidos de un ligero aumento, aunque en menor proporción. (Figura 19). El alto contenido de magnesio y de sodio influencia de manera importante a los cationes intercambiables, causando que aumente estos compuestos en la zona de

intercambio, esto sobre todo se observó con el magnesio (Tabla 13). Así mismo, la presencia de estos cationes causan que las sales dominantes en el suelo sean de sodio y magnesio (Tabla 14).

Finalmente, dentro de los aniones solubles se encontró que el cloruro tuvo valores entre 103.5 (50-60 cm) y 454.5 cmol l^{-1} (40-50 cm), los sulfatos tuvieron un intervalo entre 102.8 (0-10 cm) y 201.3 (40-50 cm) y los carbonatos 6.0 (0-10 cm) y 14.0 (80-90 cm). Los bicarbonatos tuvieron un contenido de 15.0 (50-60 cm) y de 37.5 (40-50 cm). Los cloruros y los sulfatos dominaron en la solución del suelo, seguidos con una menor contenido por los bicarbonatos y los carbonatos. Los valores más altos de los aniones dominantes se dieron, sobre todo, en las zonas intermedias, aunque cabe mencionar, que en general, el contenido de éstos fue elevado dentro de las calicatas. En tanto, el bicarbonato y el carbonato se acumularon en las capas intermedias (entre 30 a 60 cm) y profundas (70 a 100 cm; Tabla 15). El comportamiento de los aniones fue irregular, las variaciones del contenido se dio en capas. La tendencia, en el caso del cloruro y sulfato fue a aumentar en las capas intermedias seguidos de una disminución en las capas inferiores. En tanto, el carbonato y bicarbonato tendieron a aumentar en las zonas más profundas, e intermedia en el caso del bicarbonato (Figura 16). Estos compuestos tuvieron una importante relación con la C.E y el pH de la solución del suelo. La C.E parece ser influenciada principalmente por el cloruro y el sulfato, debido a que los valores más altos de C.E se dieron en las capas intermedias al igual que el contenido de estos aniones. La presencia del alto contenido de sales en el suelo puede causar la floculación de los coloides del suelo. En el caso del pH, el bicarbonato tiene una importante influencia sobre éste, ya que las zonas de mayor contenido, de este compuesto, se dieron el mayor pH y en general fue ligeramente alcalina (Tabla 15). En cuanto a la relación $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ fueron > 1 lo cual indica que la solución del suelo se encuentra dominada por la relación de sulfatos-cloruros en la mayoría de las capas. La acumulación de las sales en diferentes profundidades indica que se acumularon en diferentes momentos, donde los Cl^- en general sobreyacieron a las capas de sulfatos, posiblemente por lavado debido a la influencias del manto freático. Así como por un enriquecimiento resiente de sales en las capas superficiales (Tabla 15).

4.4. Comparación de las características de los suelos de los tres sistemas de chinampa.

Los suelos del agroecosistema chinampero comparten características similares debido a su origen antropogénico, por lo que pueden ser caracterizados de manera general. A pesar de esto, sus características físicas y químicas pueden presentar variaciones debido a diferencias de manejo dependiendo del sitio de estudio. Estas diferencias se pudieron observar entre Xochimilco (sitio 1), San Andrés Mixquic (sitio 2) y San Pedro Tláhuac (sitio 3), para la comparación se utilizaron cinco calicatas (empleando datos complementarios de análisis edáficos de los suelos de chinampa llevados a cabo con anterioridad) para cada sitio y esto se hizo para tres profundidades 20, 40 y 60 cm. A continuación se describe de manera detallada las diferencias encontradas entre ellos.

4.4.1. Comparación de las características edáficas en la profundidad 0 - 20 cm.

La Tabla 16 muestra los datos correspondientes a las comparaciones de las características de los suelos de chinampa a los 20 cm de profundidad, en tanto, que la Figura 20 se muestran los promedios de las características edáficas de los sitios de muestreo Xochimilco (sitio 1), San Andrés Mixquic (sitio 2) y San Pedro Tláhuac (sitio 3).

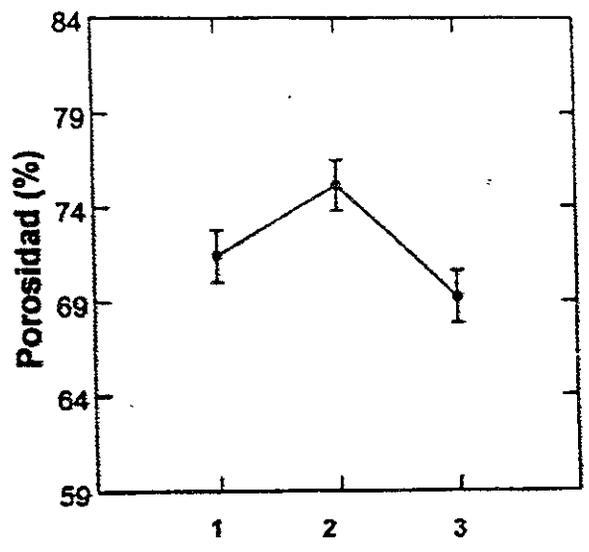
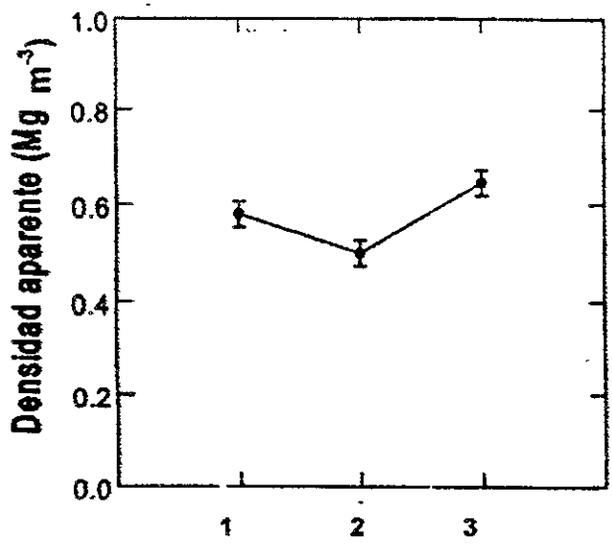
El análisis de varianza mostró que en los primeros 20 cm de profundidad, hubo diferencias significativas en la densidad aparente (D. Ap) y la porosidad del suelo (% P; $P < 0.05$); así como una diferencia marginal en el contenido de limos ($P = 0.065$; Tabla 15). Donde el promedio más alto de D. Ap se dio en el sitio 3 seguido por el sitio 1, en contraste del sitio 2. De manera contraria, el promedio de la porosidad correspondiente al sitio 3 fue bajo y para los sitios 1 y 2 aumentó. En los limos, el promedio más alto se dio en el sitio 3, seguido por el sitio 1 y 2. Un aspecto sobresaliente en relación con las características es el hecho que el sitio 3 tuvo una mayor diferencia que los sitios sitio 2 y 1, debido a que los promedios, de estos últimos, estuvieron más cercanos, en la D. Ap y el %P, mientras que para los limos fue el sitio 2, con respecto a los otros sitios. Además, el comportamiento de las variables se relacionó ya que cuando se presentó un aumento en el promedio de la densidad aparente, el promedio de la porosidad disminuyó (sitio 3 y

Tabla 16. Resultados de los análisis de varianza (ANOVA) de las características físicas, químicas y de salinidad de la capa de 0 a 20 cm de los suelos de chinampa de Xochimilco, San Andrés Mixquic y San PedroTláhuac, D.F. CIC = Capacidad de Intercambio catiónico C.E = Conductividad eléctrica, PSI = Porcentaje de sodio Intercambiable. ($P < 0.05$)

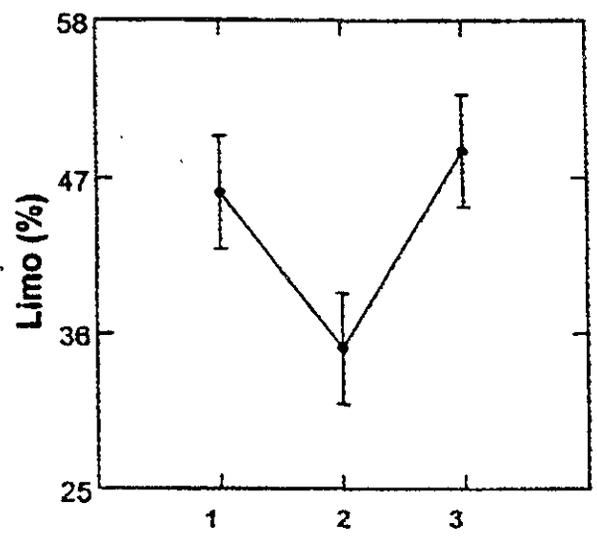
Características	Fuente	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrados medios	F	P
Características Físicas						
Densidad aparente	Sitio	0.0538	2	0.0269	7.63	0.007
	Error	0.0423	12	0.0035		
Porosidad	Sitio	9.10+01	2	4.55+01	4.78	0.02
	Error	1.14+02	12	9.5137		
Arena	Sitio	2.38+02	2	1.19+02	2.77	0.10
	Error	5.14+02	12	4.28+01		
Limo	Sitio	5.42+02	2	2.71+02	3.45	0.065
	Error	9.14+02	12	7.84+01		
Arcillas	Sitio	8.94+01	2	4.47+01	0.66	0.53
	Error	8.01+02	12	6.68+01		
Características Químicas						
pH 1:5 agua	Sitio	0.5180	2	0.2590	0.63	0.54
	Error	4.8580	12	0.4048		
% Carbono	Sitio	1.9415	2	0.9707	0.17	0.83
	Error	6.49E+01	12	5.4133		
CICT	Sitio	4.74E+01	2	2.37+01	0.39	0.67
	Error	7.13E+02	12	5.94+01		
Ca ²⁺	Sitio	1.34E+03	2	6.73+02	3.91	0.049
	Error	2.06E+03	12	1.72+02		
Mg ²⁺	Sitio	1.61E+03	2	8.06+02	4.18	0.041
	Error	2.31E+03	12	1.92+02		
Na ⁺	Sitio	1.48E+03	2	7.41+02	2.03	0.17
	Error	4.38E+03	12	3.65+02		
K ⁺	Sitio	2.75E+01	2	1.37+01	2.65	0.11
	Error	6.22E+01	12	5.18485		

Tabla 16. Continuación.

Características	Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F	P
Salinidad						
C.E	Sitio	3.20E+01	2	1.60+01	0.25	0.78
	Error	7.60E+02	12	6.33+01		
PSI	Sitio	2.10E+03	2	1.05+03	1.80	0.20
	Error	6.99E+03	12	5.82+02		
pH pasta	Sitio	2.10E+03	2	1.05+03	1.80	0.20
	Error	6.99E+03	12	5.82+02		
Ca ²⁺	Sitio	8.99303	2	4.49651	0.04	0.95
	Error	1.26E+03	12	1.05+02		
Mg ²⁺	Sitio	1.21E+04	2	6.09+03	0.90	0.42
	Error	8.07E+04	12	6.72+03		
Na ⁺	Sitio	1.31E+05	2	6.56+04	3.98	0.04
	Error	1.97E+05	12	1.64+04		
K ⁺	Sitio	8.34E+01	2	4.17+01	1.35	0.29
	Error	3.69E+02	12	3.07+01		
Cl ⁻	Sitio	3.44E+04	2	1.72+04	4.12	0.04
	Error	5.01E+04	12	4.17+03		
SO ₄ ²⁻	Sitio	6.38E+02	2	3.19E+04	2.00	0.17
	Error	1.91E6+05	12	1.59E+04		
CO ₃ ²⁻	Sitio	2.5563333	2	1.278166	0.11	0.89
	Error	1.357E+02	12	1.13E+01		
HCO ₃ ⁻	Sitio	4.667E+02	2	2.33E+02	2.33	0.13
	Error	1.197E+03	12	9.97E+01		

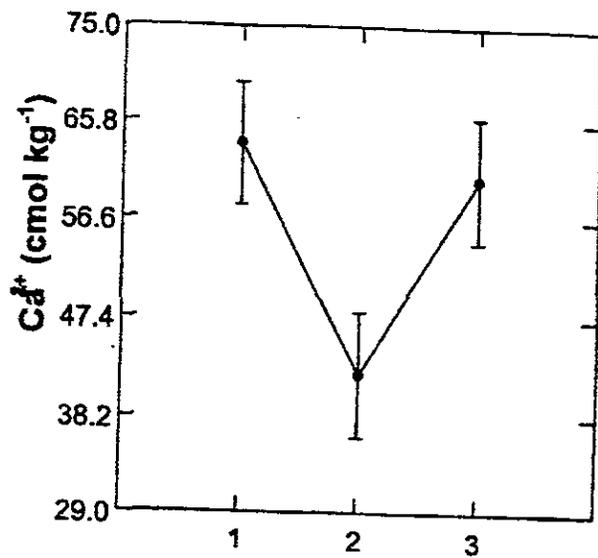
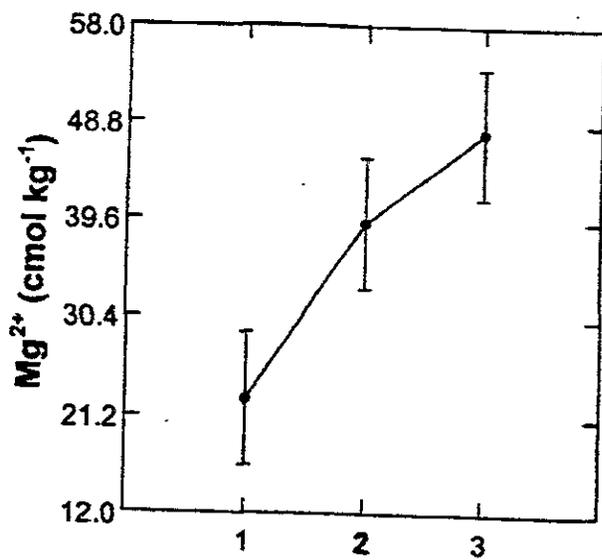


Sitios

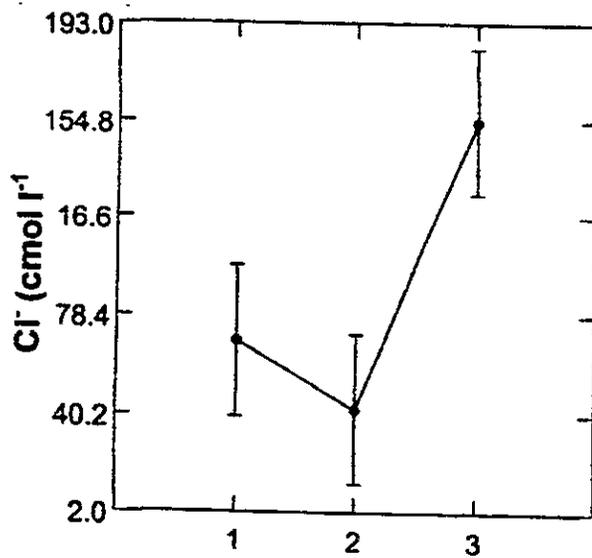
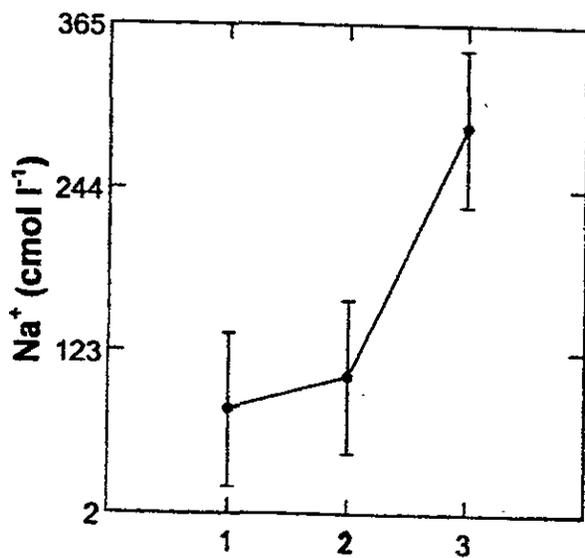


Sitios

Figura 20. Comparación de los promedios de las características edáficas en la capa de 0-20 cm, de tres sitios del agroecosistema chinampero. Sitio 1 = Xochimilco, Sitio 2 = Mixquic y Sitio 3 = San Pedro Tláhuac.



Sitios



Sitios

Figura 20. Continuación.

1). Además se observó una posible relación con el promedio de limos debido a que los sitios 3 y 1 tuvieron los promedios más altos que en el sitio 2 (Figura 20).

En cuanto a las características químicas, los análisis de varianza mostraron que en los tres sitios de muestreo hubo diferencias significativas en el promedio de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) intercambiables ($P < 0.05$; Tabla 16). Donde el sitio 1 y 3 tuvieron los promedios más altos de Ca^{2+} , en contraste del sitio 2 con el promedio más bajo. En tanto, que el promedio más alto de Mg^{2+} se presentó en el sitio 3, seguido de los sitios 2 y 1. Por lo que San Andrés Mixquic presenta un menor contenido de calcio y en San Pedro Tláhuac se presenta una mayor acumulación de magnesio (Figura 20).

Finalmente en la salinidad, los sitios tuvieron diferencias significativas en los promedios del sodio y cloruros solubles ($p < 0.05$; Tabla 16). El sitio 3 le correspondió el valor más alto, en ambos iones, seguido de los sitios 2 y 1, para el sodio, y los sitios 1 y 2 para los cloruros. Por lo que en San Pedro Tláhuac presenta una mayor acumulación de cloruros y sodio en su capa superficial (Figura 20).

4.4.2. Comparación de las características edáficas en la profundidad 20 - 40 cm.

La Tabla 17 muestra los datos correspondientes a las comparaciones de las características de los suelos de chinampa a los 20 a 40 cm de profundidad, en tanto, que la Figura 21 se muestran los promedios de las características edáficas de los sitios de muestreo

El análisis de varianza de las características físicas no evidenciaron diferencias significativas entre ellos; a pesar de esto, hubo una diferencia marginal en el contenido de limos ($P = 0.07$; Tabla 16). Donde el promedio más alto se presentó en el sitio 3 seguido por el sitio 1, en contraste del sitio 2. Un aspecto sobresaliente es que San Pedro Tláhuac es diferente por el contenido de limos hasta esta profundidad (Figura 21).

En cuanto a las características químicas, los análisis de varianza mostraron que los suelos, de los tres sitios de muestreo, tuvieron diferencias significativas sólo en el pH del suelo ($P < 0.05$; Tabla 16). El promedio fue alto en el sitio 2 y 3, los cuales fueron muy parecidos, en contraste del sitio 1 el cual tuvo el menor promedio, por lo que este presentó la mayor diferencia (Figura 21).

Tabla 17. Resultados de los análisis de varianza (ANOVA) De las características físicas, químicas y de salinidad de la capa de 20 a 40 cm de los suelos de chinampa de Xochimilco, San Andrés Mixquic y San Pedro Tláhuac, D. F. CIC = Capacidad de intercambio catiónico, C.E = Conductividad eléctrica, PSI = Porcentaje de sodio Intercambiable.

Características	Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F	P
Características Físicas						
Densidad aparente	Sitio	0.0331	2	0.016	2.26	0.14
	Error	0.0877	12	0.007		
Porosidad	Sitio	7.99E+01	2	3.99E+01	2.65	0.11
	Error	1.80E+02	12	1.50E+01		
Arena	Sitio	2.67E+02	2	1.33E+02	0.99	0.39
	Error	1.61E+03	12	1.34E+02		
Limo	Sitio	3.18E+02	2	1.90E+02	3.17	0.07
	Error	7.20E+02	12	6.00E+01		
Arcillas	Sitio	4.62E+01	2	2.31E+01	0.30	0.74
	Error	9.12E+01	12	7.60E+01		
Características Químicas						
pH 1:5 agua	Sitio	1.30	2	0.65	5.25	0.02
	Error	1.48	12	0.12		
% Carbono	Sitio	0.64	2	0.32	0.06	0.94
	Error	6.35E+01	12	5.29		
CICT	Sitio	1.47E+02	2	7.37E+01	0.78	0.47
	Error	1.12E+03	12	9.37E+01		
Ca ²⁺	Sitio	4.01E+02	2	2.00E+02	0.99	0.39
	Error	2.43E+03	12	2.02E02		
Mg ²⁺	Sitio	8.85E+02	2	4.42E+02	1.46	0.27
	Error	3.63E+03	12	3.02E+02		
Na ⁺	Sitio	1.14E+02	2	5.73E+01	0.46	0.64
	Error	1.48E+03	12	1.23E+02		
K ⁺	Sitio	0.92	2	0.46	0.43	0.65
	Error	1.27E+01	12	1.05		

Tabla 17. Continuación.

Características	Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F	P
Salinidad						
C.E	Sitio	5.01E+01	2	2.50E+01	0.68	0.52
	Error	4.40E+02	12	3.67E+01		
PSI	Sitio	1.97E+02	2	9.86E+01	0.22	0.80
	Error	5.37E+03	12	4.47E+02		
pH pasta	Sitio	0.24	2	0.12	4.99	0.02
	Error	0.29	12	0.02		
Ca ²⁺	Sitio	2.30E+02	2	1.15E+02	0.89	0.43
	Error	1.54E+03	12	1.28E+02		
Mg ²⁺	Sitio	1.83E+03	2	9.15E+02	1.68	0.22
	Error	6.05E+03	12	5.41E+01		
Na ⁺	Sitio	1.27E+04	2	6.35E+03	2.82	0.09
	Error	2.69E+04	12	2.24E+03		
K ⁺	Sitio	0.59394	2	0.29	0.11	0.89
	Error	3.03E+01	12	2.52		
Cl ⁻	Sitio	1.25E+04	2	6.29E+01	1.30	0.30
	Error	5.77E+04	12	4.80E+03		
SO ₄ ²⁻	Sitio	1.45E+04	2	7.26E+03	3.74	0.054
	Error	2.32E+04	12	1.93E+03		
CO ₃ ²⁻	Sitio	5.53	2	2.76	0.26	0.77
	Error	1.29E+02	12	1.04E+01		
HCO ₃ ⁻	Sitio	1.92E+02	2	9.60E+01	2.39	0.13
	Error	4.80E+02	12	4.00E+01		

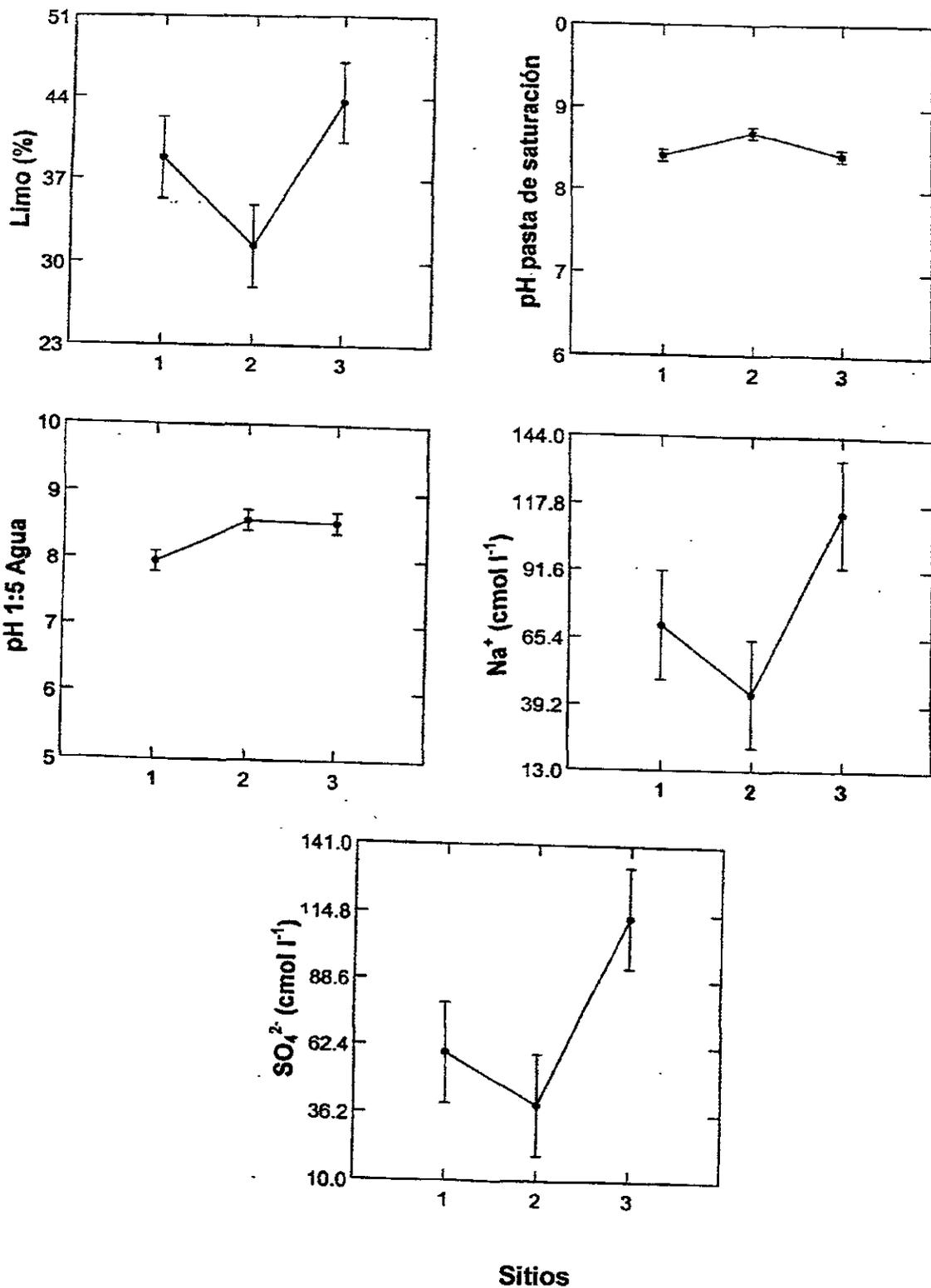


Figura 21. Comparación de los promedios de las características edáficas, en la capa de 20 a 40 cm, de tres agroecosistemas chinamperos. Sitio 1 = Xochimilco, Sitio 2 = San Andrés Mixquic y Sitio 3 = San Pedro Tláhuac.

Finalmente, en la salinidad hubo diferencias significativas en el pH de la solución del suelo ($p < 0.05$) y diferencias marginales en el sodio (Na^+) y los sulfatos (SO_4^{2-} , $p = 0.09$ y 0.054 , respectivamente; Tabla 17). En el caso de la primera variable el promedio más alto se presentó en el sitio 2, seguido de los sitios 3 y 1, el cual hizo diferente a éste sitio del resto. Mientras que para el sodio y los SO_4^{2-} , el promedio más alto se estableció en el sitio 3, seguido de los sitios 1 y 2. Por lo que San Pedro Tláhuac tiene una tendencia a presentar una mayor acumulación de sodio y sulfatos a esta profundidad (Figura 21).

4.4.3. Comparación de las características edáficas en la profundidad 40 - 60 cm.

La Tabla 18 muestra los datos correspondientes a las comparaciones de las características de los suelos de chinampa a los 40 - 60 cm de profundidad, en tanto, que en la Figura 22 se muestran los promedios

El análisis de varianza de las características físicas evidenció diferencias significativas entre la densidad aparente (D. Ap) y el porcentaje de porosidad (%P; $p < 0.05$; Tabla 18). Donde el promedio más alto de la D. Ap se presentó en el sitio 3 seguido por el sitio 1, en contraste del sitio 2. En tanto que para el promedio más alto de la porosidad se dio en el sitio 2, seguido de los sitios 1 y 3, siendo San Pedro Tláhuac el que tuvo la mayor densidad (Figura 21).

En cuanto a las características químicas, los análisis de varianza mostraron que los suelos, de los tres sitios de muestreo, tuvieron diferencias significativas en el pH del suelo ($P < 0.05$; Tabla 18). El valor más alto se presentó en los sitios 2 y 3, en contraste del sitio 1 que tuvo el promedio más bajo, lo cual lo hizo diferente al resto de los sitios, siendo San Andrés Mixquic y San Pedro Tláhuac los que tienen el mayor pH (Figura 21).

Finalmente en la salinidad, el análisis, mostró diferencias significativas entre los suelos debido al promedio de los bicarbonatos (HCO_3^- , $p < 0.05$) y a la diferencia marginal del sodio (Na^+ , $p = 0.07$; Tabla 18). Al sitio 3 le correspondió el valor más alto, para ambos compuestos, seguido de los sitios 2 y 1, para el HCO_3^- , y del sitio 1 y 2 para el sodio. Debido a lo cual el sitio San Pedro Tláhuac presenta el mayor contenido de ambos iones (Figura 21).

Tabla 18. Resultados de los análisis de varianza (ANOVA) De las características físicas, químicas y de salinidad de la capa de 40 a 60 cm de los suelos de chinampa de Xochimilco, San Andrés Mixquic y San Pedro Tjáhuac, D. F. CIC = Capacidad de intercambio cationico, C.E = Conductividad eléctrica, PSI = Porcentaje de sodio Intercambiable.

Características	Fuente	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrados medios	F	P
Características Físicas						
Densidad aparente	Sitio	0.082	2	0.041	6.40	0.012
	Error	0.077	12	0.006		
Porosidad	Sitio	1.63E+02	2	8.17E+01	6.71	0.011
	Error	1.46E+02	12	1.21E+01		
Arena	Sitio	2.13E+02	2	1.06E+02	1.48	0.26
	Error	8.60E+02	12	7.17E+01		
Limo	Sitio	6.69E+01	2	3.34E+01	0.56	0.58
	Error	7.12E+02	12	5.93E+01		
Arcillas	Sitio	3.94E+02	2	1.97E+02	2.59	0.11
	Error	9.13E+02	12	7.60E+01		
Características Químicas						
pH 1:5 agua	Sitio	1.32	2	0.66	5.48	0.02
	Error	1.44	12	0.12		
% Carbono	Sitio	2.52E+01	2	1.26E+01	1.25	0.31
	Error	1.20E+02	12	1.00E+01		
CICT	Sitio	1.20E+02	2	6.03E+01	0.80	0.47
	Error	9.03E+02	12	7.52E+01		
Ca ²⁺	Sitio	1.83E+02	2	9.16E+01	0.58	0.57
	Error	1.88E+03	12	1.57E+02		
Mg ²⁺	Sitio	1.12E+03	2	5.60E+02	1.40	0.28
	Error	4.77E+03	12	3.98E+02		
Na ⁺	Sitio	4.79E+01	2	2.39E+01	0.52	0.60
	Error	5.46E+02	12	4.55E+01		
K ⁺	Sitio	0.63	2	0.31	0.52	0.60
	Error	7.24	12	0.60		

Tabla 18. Continuación.

Características	Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F	P
Salinidad						
C.E	Sitio	4.18E+01	2	2.09E+01	1.10	0.36
	Error	2.26E+02	12	1.89E+01		
PSI	Sitio	8.79E+01	2	4.39E+01	0.25	0.77
	Error	2.04E+03	12	1.70E+02		
pH pasta	Sitio	0.20	2	0.10	2.25	0.14
	Error	0.54	12	0.04		
Ca ²⁺	Sitio	6.92E+01	2	3.46E+01	0.38	0.68
	Error	1.06E+03	12	8.89E+01		
Mg ²⁺	Sitio	2.06E+03	2	1.03E+03	1.76	0.21
	Error	7.01E+03	12	5.84E+02		
Na ⁺	Sitio	2.18E+03	2	1.09E+03	3.21	0.07
	Error	4.08E+03	12	3.40E+02		
K ⁺	Sitio	1.60	2	0.80	0.74	0.49
	Error	1.30	12	1.08		
Cl ⁻	Sitio	1.13E+04	2	5.68	1.37	0.29
	Error	4.97E+04	12	1.14		
SO ₄ ²⁻	Sitio	4.65E+03	2	2.32E+03	1.84	0.20
	Error	1.51E+04	12	1.26E+03		
CO ₃ ²⁻	Sitio	3.58	2	1.79	0.26	0.77
	Error	8.10E+01	12	6.75		
HCO ₃ ⁻	Sitio	4.64E+02	2	2.32E+02	1.06	0.002
	Error	2.60E+02	12	2.17E+01		

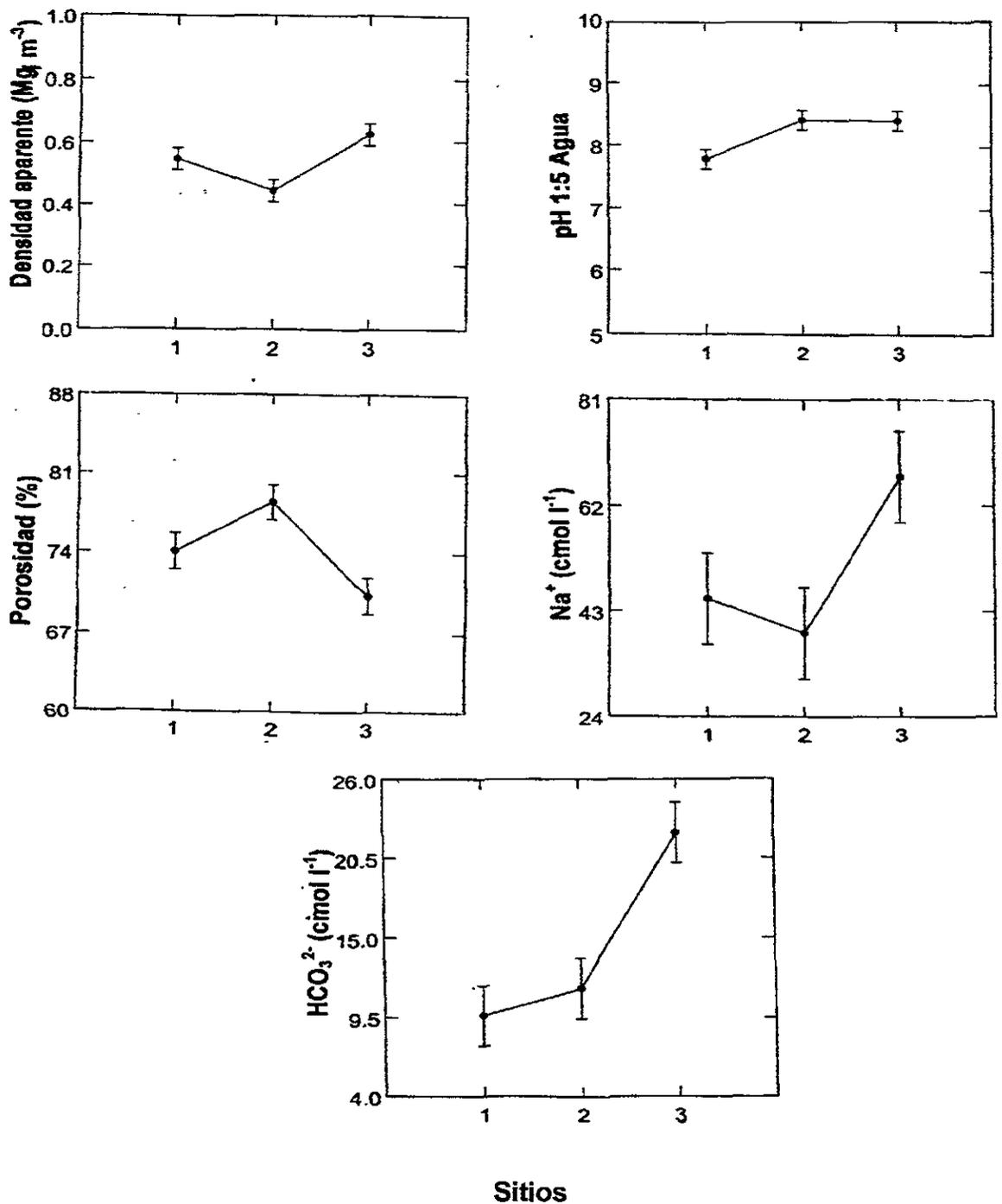


Figura 22. Comparación de los promedios de las características edáficas, en las capas de 40 a 60 cm, del agroecosistema chinampero. Sitio 1 = Xochimilco, Sitio 2 = San Andrés Mixquic y Sitio 3 = San Pedro Tláhuac.

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

Discusión Los suelos del agrosistemas de chinampas tienen una gran importancia por su productividad y su manejo tradicional, aporte de restos orgánicos y partículas finas del fondo del lago, asociado a su origen antropogénico (Osornio-Gómez Pompa, 1990) el cual le ha conferido características particulares que han mantenido su productividad (Aguilera y Vallejo, 1990).

Los suelos de chinampa son una secuencia de estratos de diferente grosor donde las propiedades físicas y químicas presentan un comportamiento irregular con variaciones en capas, y no en horizontes como resultado de los procesos pedogenéticos (Buckman y Brady, 1990), esto sobre todo, en Xochimilco y San Pedro Tláhuac (v. Figura 11), en tanto que San Andrés Mixquic tuvo la menor variación en sus propiedades. Estas diferencias se pueden atribuir en la adición de materiales relacionada con cambios de manejo. En general, los suelos de chinampa pueden caracterizarse de manera similar debido a que comparten características físicas y químicas.

Los suelos de chinampa presentan color oscuro (de gris, en seco, a negro cuando el suelo se humedece) con una tendencia a presentar colores pardos (gris pardo en Xochimilco y San Pedro Tláhuac; v. Tablas 7 y 10), con una D. ap menor a 0.80 Mg m^{-3} y D.R menor a 2.1 Mg m^{-3} , y una elevada porosidad (75%). Dominados principalmente por limos y arcillas con un importante porcentaje de arenas, por lo que los suelos son francos, migajón limoso, migajón arcilloso y en menor proporción migajón arenoso (San Andrés Mixquic). Estas características se encuentran relacionadas a los materiales que componen la cuenca, minerales oscuros tales como ferromagnesianos, cenizas volcánicas, residuos de basalto y andesitas (Galicia, 1990; López, 1981). Estos materiales se encuentran en forma de arenas intermedias las cuales se asocian con limos –medios y finos- y arcillas

montmorilloníticas (Aguilera y Fuentes, en Chavéz, 2000, García-Calderón *et al.*, 1994) los cuales confieren al suelo una baja densidad y alta porosidad (Hillel, 1982; Buckman y Brady, 1993). Así mismo, estas características se ven influenciadas por el alto contenido de materia orgánica, dominada por ácidos húmicos (García-Calderón, 1990) los cuales tienen baja reflectancia que le confiere colores oscuros y pardos (Schulze *et al.*, 1993). La presencia de estos materiales, en especial de arcillas y limos, favorece la microporosidad, disminuye las condiciones de drenaje, retención de humedad, nutriente y aumenta la capacidad de retención de nutrientes (Ortíz y Ortíz-Villanueva, 1990). Los suelos de chinampa se caracterizan químicamente por tener un % C (entre 1.4 a 14) de medio a alto (Aguilera, 1990) asociado a la entrada de residuos orgánicos al sistema, así como por disminución de la mineralización por problemas de salinidad-sodicidad (García-Calderón *et al.*, 1994; Patak y Rao, 1998). La CIC, entre 30 a 75 cmol kg^{-1}) la cual se encuentra influenciada por las arcillas y la materia orgánica (Buckman y Brady, 1990), sobre todo por los grupos funcionales. El pH activo (de 6 a 10) potencial (5 a 9.3) fue de ligeramente ácido a básico (Buckman y Brady, 1990) debido a la presencia de un alto contenido de bases y de sales (Richards, 1990). Con respecto a los cationes, las zonas de intercambio se encuentran dominadas por Ca^{2+} (22.3 a 97.1 cmol kg^{-1}) > Mg^{2+} (11 a 51 cmol kg^{-1}) > Na^+ (3.3 a 50 cmol kg^{-1}) > K^+ (0.10 a 0.97 cmol kg^{-1}). Estos elementos son críticos para el desarrollo del suelo en sus procesos físicos y químicos (Richards, 1990) cuyo origen se encuentra asociado al material parental y a la MOS (Brady y Buckman, 1990; v. Tablas 12, 10 y 13).

Las descripciones de los suelos de chinampa realizadas en años anteriores (Tabla 19) muestran una semejanza en sus características físicas y químicas con las encontradas en este estudio, aunque hay que recordar que San Andrés Mixquic presenta un mayor porcentaje de arena, poco común en la mayoría de estos suelos. Así mismo, muestra que estas características se han mantenido con el tiempo, en general, aunque se han observado variaciones significativas en el contenido de limos (Ibañez *et al.*, en elab.) entre los diferentes sitios relacionadas con un cambio del manejo tradicional.

Tabla 19. Características de los suelos de chinampa desde 1988 hasta 1995.

Sitios	Fuente	Características físicas	Características químicas
Xochimilco	Fernández, 1988	Color gris oscuro a negro D. Ap 0.32 a 0.60 Mg m ⁻³ Textura francos, Migajón arcilloso y migajón limoso	pH 7.9 a 9.9 C org. 1.9 a 18.5 % CIC 25 a 82 cmol kg ⁻¹ Ca ²⁺ 18 a 61 cmol kg ⁻¹ Mg ²⁺ 21 a 59 cmol kg ⁻¹ Na ⁺ 8 a 58.2 cmol kg ⁻¹ K ⁺ 0.1 a 3 cmol kg
Xochimilco	Este trabajo	Color gris a negro D. Ap 0.44 a 0.70 Mg m ⁻³ Textura: franco, migajón arcillosa y migajón limoso	pH 6 a 10 C org. 2 a 14% CIC 33.6 a 77.9 cmol kg ⁻¹ Ca ²⁺ 22.3 a 97.1 cmol kg ⁻¹ Mg ²⁺ 1 a 52 cmol kg ⁻¹ Na ⁺ 3.3 a 50.2 cmol kg ⁻¹ K ⁺ 0.1 a 1.3 cmol kg ⁻¹
San Pedro Tláhuac	Galicia, 1990	Color gris a negro D.Ap 0.51 a 0.57 Mg m ⁻³ Textura Migajón arcilloso, Franco	pH 8.5 a 9.3 C org. 5.2 a 8.1 % CIC 44.6 a 68.2 cmol kg ⁻¹ Ca ²⁺ 31.2 a 85.5 cmol kg ⁻¹ Mg ²⁺ 24 a 100 cmol kg ⁻¹ Na ⁺ 7.7 a 47.3 cmol kg ⁻¹ K ⁺ 0.1 a 0.6 cmol kg ⁻¹
San Pedro Tláhuac	Este trabajo	Color gris a gris muy oscuro D Ap. 0.51 a 0.70 Mg m ⁻³ Textura Migajón limoso franco	pH 7.8 a 8.6 C org. 4.9 a 11.7 % CIC 50.2 a 73.5 cmol kg ⁻¹ Ca ²⁺ 50.4 a 86.6 cmol kg ⁻¹ Mg ²⁺ 11 a 42 cmol kg ⁻¹ Na ⁺ 16.6 a 27 cmol kg ⁻¹ K ⁺ 0.3 a 0.97 cmol kg ⁻¹
San Andrés Mixquic	Este trabajo	Color gris a gris muy oscuro Dap. 0.32 a 0.66 Mg m ⁻³ Textura Migajón arcilloso, franco y Migajón arenoso	pH 7.5 a 8.9 C org. 1.4 a 9.6 % CIC 32.5 a 54.8 cmol kg ⁻¹ Ca ²⁺ 15.7 a 48.3 cmol kg ⁻¹ Mg ²⁺ 11 a 43.9 cmol kg ⁻¹ Na ⁺ 6.7 a 35.6 cmol kg ⁻¹ K ⁺ 0.1 a 4.5 cmol kg ⁻¹

Un aspecto sobresaliente de los suelos de chinampa son las condiciones en las que se encuentran, en general, una gran proporción de los sitios estudiados se encontraron con una baja producción agrícola, y/o se encontraban ocupados con pasto. Otro aspecto importante de considerar fue que los suelos en varios casos se encontraron influenciados por el manto freático. Estas diferencias en manejo y de saturación influenciaron de manera importante las condiciones físicas y químicas del suelo. Dentro de las características físicas se observó que los sitios que presentan un manejo agrícola continuo, como es el

caso de las c-158 y c-160 (Tablas 7 y 10) tuvieron en las capas superficiales una menor densidad y porosidad, así como una alto contenido de arcillas y limos. Estas fracciones se encuentran asociadas a una continua deposición de materiales del fondo del lago, relacionada con el manejo tradicional de estos suelos. En caso contrario los suelos con periodo largo de abandono, de este método tradicional, mostraron un menor contenido de materiales finos y con un ligero aumento de la densidad (v. Tablas 7 y 10). En el caso de las características químicas, también respondieron a las condiciones de manejo y saturación del suelo. Los sistemas con manejo (c-158 160y 161) agrícola tuvieron en las capas superficiales un pH bajo, un mayor contenido de materia orgánica, CIC y cationes, que las capas que le subyacen. A pesar de ésto, se encontraron condiciones diferentes entre estos sitios sobre todo en la c-160, donde los contenidos de esta variable fueron menores (v. Tabla 11). Esto puede deberse a una mayor mineralización de la materia orgánica debido que la calicata no se encontraba influenciada por el manto freático (García-Calderón *et al*, 1994). En el caso de los suelos con algún grado de abandono bajo diferentes condiciones de saturación (c- 157, 159, 162, 163 y 164) las variables físicas fueron muy homogéneas y los valores muy similares, en tanto, las características químicas tuvieron una mayor variación dependiendo de la influencia del manto freático. Los sitios que no presentaron una gran influencia (c-162 y 164) tuvieron valores altos de pH, un menor contenido de materia orgánica, con un mayor contenido de cationes asociados a una mayor liberación de éstos por mineralización (v. Tabla 8). En el caso de los sitios con mayor influencia del manto freático las condiciones fueron contrarias sobre todo en el contenido de materia orgánica, con un mayor porcentaje, y menor contenido de cationes en el suelo (v. Tablas 8 y 11).

Otro aspecto importante en estos suelos son las zonas de acumulación de arcillas y C org, sobre todo en las capas profundas, en Xochimilco y San Pedro Tláhuac (v. Figuras 12, 14, 17 y 18), relacionado con su origen antropogénico, por deposición secuencial de materiales, y por la redistribución de los coloides por problemas de sodicidad (Zomoviets y Jitrov, 1991 en Obregón *et al.*, 1996) analizado posteriormente en este trabajo. La presencia de ambos coloides, en las capas profundas, puede estar relacionada con un movimiento asociado de estas partículas en forma de complejos, arcillas-materia orgánica, poco estables. Así como, la presencia de un alto contenido de carbono puede asociarse a una menor mineralización debido a las condiciones anaeróbicas relacionada estrechamente con la influencia del manto freático (García-Calderón, 1990) y con la

presencia de microporos, por la presencia de fracciones minerales finas (Buckman y Brady, 1993). En estas zonas, además, se presentó un alto contenido de cationes, CIC, asociados a la presencia del carbono y arcillas.

Las diferencias entre los suelos de chinampa se ven influenciadas, además de las condiciones del suelo, por las diferencias en el manejo entre sitios debido al cambio de adición de materiales provenientes del lago y de residuos orgánicos. Esto trae como consecuencia variaciones en las propiedades físicas y químicas de los suelos de chinampa. La mayor diferencia se estableció en San Pedro Tláhuac (v. Tablas 16 17 y 18) donde las condiciones de densidad y porosidad fueron mayores, propiciadas por el aumento presencia de materiales pesados o fracciones minerales gruesas (Buckman y Brady, 1990) que en Xochimilco y San Andrés Mixquic (v. Tabla 15), esto puede asociarse a un aumento en el contenido de limos en el suelo, propiciado por un aporte continuo de materiales del fondo de los canales, ricos en este elemento, además de arcillas y materia orgánica, o por una mayor abundancia de esta fracción en los lodos lacustres. En tanto que en San Andrés Mixquic esta tendencia es contraria por el menor contenido de limos (v. Figura 20), debido al menor aporte de los sedimentos de los canales (v. Figura 20). Otras variaciones presentes en los suelos de chinampa, son los contenidos de cationes intercambiables en las capas superficiales, donde el menor contenido de calcio se presentó en San Andrés Mixquic, en tanto, que el magnesio fue mayor en San Pedro Tláhuac. La disminución del calcio puede deberse a su reemplazamiento por otros cationes como el magnesio o sodio, causado por un aumento de éstos en la solución del suelo los cuales son aportados por el agua de riego, principal problema en la zona chinampera (Galicia, 1990; Pedraza, 1995). El aumento del magnesio en el suelo San Pedro Tláhuac, puede causar problemas (toxicidad, floculación de los coloides y retención de humedad; Richards, 1990) en estos suelos. Otro de los cambios importante, sólo que en las capas más profundas, es el aumento de pH en San Pedro Tláhuac y San Andrés Mixquic (v. Tablas 17 y 18) relacionado con la presencia de sales con reacciones básicas (Richards, 1990).

La degradación del suelo por salinización y/o sodificación, secundaria (inducción antropica), ha adquirido una gran importancia en las zonas agrícolas, debido a las alteraciones de los procesos físicos, químicos y microbiológicos del suelo. Esto tiene como consecuencia la disminución en la producción agrícola y alteraciones del agroecosistema

(Keren, 1996; Pathak y Tao, 1998; Shainberg y Levy, 1992) lo cual conlleva su abandono progresivo o el cambio de uso de suelo.

El agroecosistema chinampero, altamente productivo (Gomez-Pompa, 1973; Ezcurra, 1993), se ha visto afectado por problemas de salinización lo cual a causado la disminución en la productividad (Galicia, 1990; Escobedo, 1987; Fernández, 1988; Vallejo, 1987). El presente estudio mostró que los suelos de chinampa presentan problemas salinos y salino-sódicos, esto en Xochimilco y San Andrés Mixquic, en tanto que en San Pedro Tláhuac el problema es la salinidad-sodicidad (v. Tablas 9, 12 y 15. Estos problemas de salinidad se tomaron en cuenta sobre todo en las capas superficiales (30 cm), aunque éstas estuvieron presentes en todas las capas de las calicatas. La acumulación de sales y/o sodio en la zona radicular es de suma importancia ya que tienen una influencia directa sobre la productividad del sitio debido a alteraciones que puede tener por toxicidad, desecación osmótica (Merschner, 1988) y por efectos secundarios debido a cambios de las propiedades del suelo (Flores, 1996; Kazman *et al.*, 1983; Oster *et al.*, 1996; Shainberg y Levy, 1992; Tanji, 1990).

Los iones solubles, analizados en este estudio, dominantes fueron el magnesio (2.7 a 208.9 en Xochimilco, Mixquic y 46.2 a 87.1 en San Pedro), sodio (11.6 a 214.3 en Xochimilco, Mixquic y de 64.6 a 160.8 en San Pedro), cloruros (7.2 a 167.5 en Xochimilco, Mixquic y de 103.5 a 454.5 en San Pedro) y los sulfatos (7.7 a 187.6 en Xochimilco, Mixquic y 102.8 a 201 en San Pedro) los cuales se encontraron en mayor cantidad en las capas superficiales, por lo que la principal tendencia es que en el suelo se presenten sales del tipo de los NaCl, Na₂SO₄, MgCl₂, MgSO₄ (Obregón, 1996; Pizarro, 1978). De los aniones dominantes se determinó de acuerdo con Basilevich (1970 en Ortiz, 1999) que los suelos (Cl^-/SO_4^{2-} entre >1) fueron dominados por la relación sulfatos y cloruros en las capas superficiales de Xochimilco y San Pedro Tláhuac, en tanto que, San Andrés Mixquic tuvo un mayor la relación fue cloruros:sulfatos. Un aspecto importante fue que los suelos se van a encontrar capas de acumulación diferencial de estas sales, esto se relaciona con el origen antropogénico, el cual indica que se ha dado una acumulación de sales en diferentes tiempo. El alto contenido de sales puede asociarse a su elevada entrada al suelo debido a adiciones antrópicas, atribuidas al riego con agua de mala calidad (Galicia, 1990, Pedraza, 1995). Otros aniones presentes en el suelo, muy importantes fueron los bicarbonatos y en menor proporción los carbonatos los cuales causaron una reacción alcalina en el suelo (Brady y Buckman, 1990) y causan la precipitación del calcio, y potasio

cuando estos son reemplazados en las zonas de intercambio por el sodio (Richards, 1990) lo cual conlleva a una disminución del calcio y el potasio en las capas superficiales (v. figuras 13, 16 y 19). Los estudios realizados con anterioridad de estos suelos (Tabla 20) muestran que los suelos son salinos asociados con problemas salino-sódicos los cuales se han mantenido por un largo periodo de tiempo; así mismo se observa que semejanzas en los patrones de cationes en el suelo donde el sodio, magnesio cloruros y sulfatos tienden a dominar. Un aspecto importante al comparar los estudios es que se observa una tendencia a disminuir el problema de salinidad y sodicidad en Xochimilco y en Mixquic por debajo de los límites de clasificación. En el caso de los suelos de San Pedro Tláhuac se observa una disminución en la CE, RAS y pH pero el problema permanece. En cuanto a la tendencia de los cationes, éstos presentaron una disminución en el contenido, sobre todo, del sodio en Xochimilco y Mixquic, aunque el Mg^{2+} disminuye en menor proporción en Xochimilco. En el caso del suelo de San Pedro Tláhuac esta tendencia no se presenta ya que se da la acumulación, sobre todo, del Na^+ , lo cual acentúa el problema de la sodicidad en el sitio.

A pesar de estas condiciones en el suelo de chinampa, en particular en San Pedro Tláhuac, cuando se compara con los suelos de Texcoco, con una elevada salinidad y sodicidad en la cual se encuentra dominada por vegetación halófila (Ortíz, 1999; Tabla 20), el problema de salinización se vuelve menos drástico, pero no poco importante.

Tabla 20. Salinidad y iones solubles en suelos del agroecosistema chinampero realizado desde 1988 a 1995.

Sitio	Fuente	pH	C.E. dS m ⁻¹	RAS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
cmol l ⁻¹										
Texhuilo, Xoch	Fernández, 1988	8.9	11.6	43.2	11.5	11.1	110.5	20.7	46.0	35.8
Cuemanco, Xoch	Chávez, 1995	8.3	7.6	7.0	2.8	2.4	35.5	2.1	29.0	34.0
El Toro, Xoch	Valdéz, 1995	8.4	6.4	10.3	14.3	32.7	50.4	2.1	66.7	19.3
Xochimilco, Xoch	Este trabajo	8.5	11.2	25.0	21.7	39.0	76.0	0.9	73.9	96.5
San Pedro Tláhuac	Galicia, 1990	8.6	11.4	64.5	6.3	21.9	117.9	1.6	49.0	85.6
San Pedro, Tláhuac	Ramos, 1990	8.4	13.8	28.1	22.8	141.0	169.1	2.8	122.9	230.2
San Andrés Mix.	Este trabajo	8.1	21.3	19.7	39.5	57.7	137.6	2.0	144.2	259.6
San Andrés Mix.	Ramos, 1990	8.6	14.0	14.5	19.6	119.4	119.8	13.3	119.6	74.3
San Andrés Mix.	Este trabajo	8.5	10.1	11.0	18.1	41.8	67.6	2.5	25.2	18.2
Texcoco, Méx.	Ortíz, 1999	9.8	46.4	1263.8	0.5	0.3	1130.4	61.3	794.5	42.0

El menor contenido de sales y sodio en las zonas chinamperas comparado con el suelo de Texcoco ha permitido una importante productividad agrícola, en algunos casos de autoconsumo. La disminución de la productividad, por los problemas de salinidad y/o sodicidad, ha causado un progresivo abandono del agroecosistema chinampero lo cual ha acentuado los problemas de salinización en el suelo por falta de manejo. Si bien los suelos de chinampa son caracterizados como salinos y salino-sódicos, se han encontrado diferencias significativas dentro de los sitios de estudio del agroecosistema chinampero. San Pedro Tláhuac fue el sitio que tuvo el mayor contenido de sodio, así como de cloruros, en la capa superficial, sulfatos (en las zonas más profundas, y un mayor pH en las capas intermedias, por lo que demuestra que los procesos de salinización de este sitio son más acentuados que el resto de los sitios. Esto puede asociarse a la mayor entrada de estos compuestos por manejo relacionado con la calidad de agua de riego y posiblemente uso de fertilizantes.

Finalmente, una parte importante que debe de ser considerado es el manejo tradicional de los suelos de chinampa. La adición de lodos ricos en arcillas, limos y materia orgánica, así como el empleo de residuos vegetales ha sido de suma importancia para la productividad. Si bien no se pudo observar una relación directa entre estos componentes y su efecto sobre la salinización y/o sodificación, se observó que los suelos con un alto contenido de estos materiales, en la capa superficial, continúan bajo actividad agrícola, en los tres sitios de estudio.

CONCLUSIONES

- Los suelos de chinampa tienen una relevante importancia debido a su origen, manejo tradicional lo cual ha mantenido su productividad del agroecosistema.
- Los suelos de chinampa presentan características físicas y químicas similares por lo que pueden ser caracterizados de manera general.
- Dentro de la descripción de los suelos de chinampa deben de considerarse las condiciones de manejo y la influencia del manto freático, el porcentaje de saturación del suelo, ya que afecta de manera importante el comportamiento del suelo, en especial las características químicas.

- Los suelos físicamente son suelos oscuros, con densidad baja, altamente porosos y con texturas de franco en las capas superficiales, migajón, limoso y arcilloso en las capas más profundas y cuya fracción dominante son los limos y arcillas.
- Desde el punto de vista químico, en general, presentan pH de ligeramente ácido a ligeramente básico, medio a alto contenido de orgánica materia, alta CIC y se encuentra dominado por la relación calcio>magnesio>sodio > potasio.
- Los suelos que evidenciaron una influencia del manto freático tuvieron un mayor contenido de C y CIC, pero con un bajo contenido de cationes.
- Se comprobó la disminución del contenido de calcio, en Mixquic, y aumento de magnesio, en San Pedro Tláhuac, debido a un desplazamiento de cationes en las zonas de intercambio relacionado con el aumento de magnesio y sodio en la solución del suelo.
- El análisis de salinidad del suelo mostró que Xochimilco y Mixquic fueron predominantemente salinos, asociados a problemas de salinidad-sódica. En tanto que San Pedro Tláhuac el problema es principalmente salino-sódico, por lo que se debe de tenerse cuidado con su manejo.
- Los iones solubles presentes en el suelo fueron el sodio, magnesio, cloruros y sulfatos; así como un importante contenido de bicarbonatos que influenciaron el pH del suelo.
- A pesar de las semejanzas entre los suelos de chinampa de diferentes sitios se encontraron diferencias las cuales mostraron que San Pedro Tláhuac presentó las mayores diferencias física, químicas y de problemas de salinización.

LITERATURA CITADA

- Baver, L. D. y Gardenier, W. H. 1980. *Física de suelos*. Omega. Barcelona, España.
- Berenson, M. L. y Levine, D. M. 1979. *Estadística para Administración y Economía*. Interamericana. México, D.F.
- Black, L. A., Clark, P. E., Evans, D. D., White, J. A. y Enswinger, L. E. 1965. *Methods of Soil Analysis*. Agronomy 9(1 y 2), Publisher Madison. Wisconsin. USA.
- Bohn, L. H., McNeal, L. B. y O'Connor, A. G. 1985. *Soil Chemistry*. A Wiley-Interscience Publication. New York, EUA.
- Bojórquez, C. L. y Villa, R. F. 1995. El Ecosistema Lacustre. Xochimilco y el deterioro de las chinampas. En: *Presente y Pasado y Futuro de las chinampas* (ed. Rojas, R. T), pp. 85 -129, CIECSA, México.
- Bouyoucus, G. W. 1951. Directions for marking mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soil Science*. 42: 25-35.
- Bower, C. A. y Huss, R. B. 1948. Rapid Conducmetric Method for Estimating Gypsum in Soil. *Soil Science*. 66:199-204.
- Bower, C. A. y Wilcox, L. V. 1965. *Methods of analysis Society of Agronomy*, Publisher Wisconsin. U.S.A.
- Bresler, E., McNeal, L. B. y Carter, L. D. 1982. *Saline and Sodic Soil. Principles-Dinamics-Modeling*. Springer-Verlang. New York.
- Buckman, y Brady , C. A. 1990 . *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*. UTEHA. Mexico.
- Buol, S. W., Hole, F. D. y McCracken, R. J. 1979. *Soil Genesis and Classification*. Iowa State University Press / Ames. Iowa, E. U. A.
- Camacho, P. R. 1995. La situación actual de la agricultura chinampera de Xochimilco, Distrito Federal. En: *Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas* (ed. Rabiela, R.T), pp.1 -162. , CIECSA. México.
- Carmona, E. 1995. Las Chinampas de Mixquic. En: *Presente pasado y Futuro de la Chinmapas* (ed. Rojas R. T), pp. 163 - 164, CIECSA. México.

- Chartzoulakis, K. S. y Loupassaki, M. H. 1997. Effects of NaCl salinity on germination, growth gas exchange, and yield of greenhouse eggplant. *Agric. Water manage.* 32 (3):215-225.
- Chávez, C. M. A. 2000. Caracterización física y química de algunas calicatas de San Nicolás Tetelco en la Delegación de Tláhuac, Xochimilco D.F. Tesis de Licenciatura (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Cheng, K. L. y Bray, R. N. 1951. Determination of Calcium and Magnesium in Soil and Plant Material. *Soil Science*.72:449-458.
- Darrel, F. P., Nagel, J. L., Van Scoyoc, G. E., Tracey, L. H., Baumgardner, M. F. y Stott, D. E. 1993. Significance of Organic Matter in Determining Soil Colors. En: *Soil Color* (eds. Bigham, J.M. y Ciolkosz, E.J), pp. 71-90. Soil Science Society of America , Inc. Madison, Wisconsin.
- Dominguez, R. V. I. y Aguilera, H. 1984. *Metodología de Análisis Físico-químicos de Suelos*. Laboratorio de Investigación de. Edafología. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Emeron, W. W. y Bakker, A. C. 1973. The Comparative Effects of Exchangeable Calcium Magnesium y Sodium on some Physical Properties of Red-Brown Earthsubsoil. *Australian Journal Soil Rest*.5:47-57.
- Escobedo, F. R. 1987 Estudio Edafológico de Chinampas de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Ezcurra, E. 1990. *De las Chinampas a la Megalópolis. El Medio Ambiente en la Cuenca de México*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Fernández, Q. M. C. 1988. Manejo y Recuperación de suelos salino-sódicos en chinampas de Xochimilco D.F. Tesis de Licenciatura (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Flores, D. A. 1996. Fertilidad: sus relaciones con la salinidad. En: *Salinidad, un nuevo concepto*. (eds. Flores, D.A., Galvéz, V.V., Hernández, L.O., López, A. J.G., Obregón, S.A., Orellana, G. R., Otero, G.L. y Valdés, P.M.), pp. 14-20. Universidad de Colima, México.
- Flowers, T. J. 1985. Physiology of Halophytes. *Plant and Soil* 89:41-56. (a).

- Flowers, T. J. 1985. The Effects of Salinity on Leaf Ultrastructure and Net Photosynthesis of Two Varieties of Rice. Further Evidence for Cellular Component of Salt- Resistance. *New Phytol.* 100:37-43.(b).
- Foth, H.D. 1978. *Fundamentals of Soil Science*. John Willey and sons Inc. University of Michigan State, USA.
- Galicia, P. M. S. 1990. Efectos de un mejorador mineral en suelos de chinampa de Tlahuac D.F. cultivadas con *Brassica oleracea* var. cauliflora, Maestría en Ciencias (Edafología) Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- García, E. 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Offset Larios, México, D.F.
- Garcia-Calderón, E., Galicia, S., Reyes, L. & Aguilera, N., 1994. Organic matter and humic substances contents in chinampa soils from Xochimilco-Tlahuac areas. Transactions of the 15th World Congress of Soil Science 3^a:368-383.
- Georgiev, G. I, Atkins, C. A. 1993. Effects on Salinity on N-sub Fixation, Nitrogen Metabolism and Exportation Diffusive Conductance of Cowpea Root Nodules. *Symbiosis*, 3:239-255.
- Gleissmann, S. R. 1983. *Multiple Cropping Systems: A Basis for Developing and Agriculture Alternative*, Manuscrito, USCS.
- Gómez-Pompa, A. 1978. An old answer for the future. *Magazingira*. 5,
- Hallaire, V, Azib, M y Curmi, P y Cheverry, C. 1996. Physical and Chemical Variation with Prisms of a Saline Polder Clay in Relation to Seasonal Changes. *European Journal of Soil Sci*, 47:463-471.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*, Academic Press. San Diego E.U.
- INEGI, 1997. *Cuaderno Estadístico Delegacional. Xochimilco*, D.F. INEGI. México
- INEGI. 1997. *Cuaderno Estadístico Delegacional. Tlahuac*,. D.F. INEGI. México.
- Jackson, L. M. 1982. *Análisis químico de suelos*. Omega. Barcelona, España.
- Jacob, J. S. 1995. Perspectivas Edafológicas sobre la Agricultura en las Chinampas: Observaciones Iniciales. En: *Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas* (ed. Rojas, R. T.), pp. 211 – 219, CIECSA. México.
- Járegui, E. 1987. Climas. En: *Atlas de la Ciudad de México*, (Ed. Garza. G.), pp. 37 – 47. Departamento del Distrito Federal y el Colegio de México, México.

- Jiménez J. J., Rojas, R. T., del Amo, S. y Gomez-Pompa, A. 1995. Conclusiones y Recomendaciones del Taller. En: *Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas* (ed. Rojas, R T.), pp. 18-52, CIESA, México, D.F.
- Jiménez-Osornio, J; Gómez Pompa, A. 1987. *Las chinampas mexicanas*. Pensamiento Iberoamericano, 12:201-215.
- Keren, R. 1996. Reclamation of Sodic-Affected Soil. En: *Soil and Rehabilitation* (Ed. Agassi, M), pp. 253-374. Mercel Dekker Inc. EUA.
- Loowis, R. S Connor, D.J. 1992. *Crop ecology productivity and management in agricultural system*. Cambridge Press news. New York.
- López, R. E. 1981. *Geología de México*. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Maas, E. V. y Nieman, R. H. 1978. Physiology of Plant Tolerance to Salinity. En *Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions*. (ed. Jung, G.A.), pp. 277-299. American Society of Agronomy, Madison.
- Marshner, H. 1988. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. London.
- Martín del Pozo, A.L. 1985. *La formación geológica del Valle de México*. Radio UNAM. Dirección General de Proyectos Académicos. México.
- McNeal, B.L y Coleman, N.T. 1966. Effects of Solution Composition on Soil Hydraulic Conductivity. *Soil Science of American Society*. 20:308-312.
- Mosser, F. 1963. *Historia tectónica del Valle de México*. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 15, 4-27.
- Munsell, 1957. *Munsell Soil Color Chart*. Baltimore Maryland, USA.
- Obregón, S. A, Orellana, G. R y Valdés, P. M. 1996. Análisis de los Datos de Investigación. En: *Salinidad, un nuevo concepto*. (eds. Flores, D.A., Galvéz, V. V, Hernández, L. O, López, A. J. G. Obregón, S. A, Orellana, G. R, Otero, G. L y Valdés, P. M.), pp. 33-57. Universidad de Colima, México.
- Obregón, S. A. 1996. Salinidad: Conceptos. En: *Salinidad, un nuevo concepto*. (eds. Flores, D. A., Galvéz, V. V., Hernández, L. O., López, A. J. G, Obregón, S. A, Orellana, G. R, Otero, G. L y Valdés, P. M), pp. 21-34. Universidad de Colima, México.
- Ortiz, O. M. 1997. Apuntes sobre Salinidad del XII Curso Internacional de Edafología, del 1 al 31 de Octubre San Luis Potosí, México.

- Ortíz, O. M. 1999. Acumulación de iones y desarrollo de halófitas en suelos salino-sódicos del ex lago de Texcoco, México. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz-Villanueva, B y Ortíz S. C. A. 1990. *Edafología*. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Oster, D. J, Shainberg, I y Abrol, I. P. 1996. Reclamation of Salt-Affected Soil. En: *Soil Erosion and Rehabilitation* (ed. Agassi, M), pp. 315-351. Mercel Dekker Inc. EUA.
- Pasternak, D. 1987. Salt Tolerance and Crop Production. A Comprehensive Approach. *Ann Rev. Phytopathol*, 25: 271-291.
- Pathak, H y Rao, N.L. 1998. Carbon and Nitrogen Mineralization from Added Organic Matter in Saline and Alkali soil. *Soil Biol. Biochem*, 6:695-702.
- Pedraza, G. 1995. Comparación hidrológica de los canales de dos zonas chinamperas de la region Xochimilco-Tlahuac a través de sus parámetros fisico-químicos. Tesis de licenciatura (Biología), Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Pizarro, F. 1978. *Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos*. Agrícola Española, Madrid, España.
- Polonenko, D. R, Mayfield, C. I y Dumbroff, E. B. 1986. Microbial Response to Salt-Induced Osmotic Stress: V. Effects of Salinity on Growth and Displacement of Soil Bacteria. *Plant and Soil* , 3: 417-425
- Porta, J. y Acevedo-López, M. 1994. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Mundiprensa. Madrid, España.
- Quirk, J. P y Schofield, R. K. 1955. The Effects of Electrolyte Concentration on Soil Permeability. *Journal Soil Science*. 6:163-178.
- Quiroz, M. L. C. 1984. Descripción de la situación de los árboles y arbustos de alineación de las delegaciones de Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, D.F. Tesis de Licenciatura (Biología), Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Reiteimeir, R. F. 1974. A Critique of Estimating Soil Solution Concentration from the Electrical Conductivity of Saturated Soil. *Soil Science*. 661:281-293.
- Richards, A. L (ed.). 1990. *Suelos Salinos y Sódicos. Diagnóstico y Rehabilitación*. Limusa. México.
- Rojas, R. T. 1995. Las Chinampas del Valle de México. En: *Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas* (ed. Rojas, R T.), 18-52, CIESA, México, D.F.

- Rosas, I. B, Baez, A y Coutiño, M. 1984. Bacteriological Quality of Crops Irrigated with Wastewater in the Xochimilco Plots, México City, México. *Applied and Environmental Microbiology*, 5, 1074-1079.
- Rzedowski, J. 1975. Flora y Vegetación de la Cuenca del Valle de México. En : *Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*. 79-134. Talleres gráficos de la Nación. México.
- Schulze, G. D., Nagel, L. J., Van Scoyoc, E. G., Henderson, L.T. y Baumgardner, F. M. 1993. Significance of Organic Matter in Determining Soil Colors. En: *Soil Color* (ed. Segoe, S), pp. 71-90, Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Shainberg, I y Levy, G.J. 1992. Physico-Chemical Effects of Salt Upon Infiltration and Water Movement in Soil. En: *Interacting Processes in Soil Science* (eds. Wagenet, R.T; Baveye, P y Stewart, B.P.), pp. 37-93. Lewis Publisher. USA.
- Shainberg, I, Bresler, E y Kausner, Y. 1971. Studies on Ca/Na Montmorillonite System I. The Swelling Pressure. *Soil Sci.* 111:214-219.
- Shollenberger, C. J y Simon, R. H. 1945. Determination of Exchange Capacity and Exchangeable Bases in Soil – Ammonium Acetate Method. *Soil Science*, 59:17-25.
- Singer, J. M. y Munns, N. 1991. *Soil And production*. Maxwell Macmillan Internacional Editions. New York.
- Sinha, A; Gupta, S.R and Rana, R.S. 1986. Effect of soil Salinity and soil Water Availability on Growth and Chemical Composition of *Sorgo halepense* L. Plant and soil, 95(3): 411-418.
- Snapp, S. S., Shennan, C. 1992. Effects of salinity on root growth and death dynamics of tomato, *Lycopersicum esculentum* Mill. New Phytol. 121.: 71-79
- Tanji, K. K. 1996. *Agricultural Salinity Assessment and Management*. American Society of Civil Engineer. New York.
- Vallejo, A. C. 1992. Estudio edafológico de suelos de San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco. Tesis de Licenciatura (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Vallejo, A. C. y Aguilera, N. 1994. Diagnóstico de los Índices de Contaminación de algunas Calicatas de Suelos de Chinampa de San Gregorio Atlapulco, D.F. En: *III Reunión Nacional de Halófitas y Manejo de Aguas y Suelos Salinos* (Eds Llerena,

V.F.A, Hernández, F.L, Jacobo, T. C y Sánchez, B, B), 114-122 p, SARH y Comisión Nacional del Agua. México, D.F.

- Van Hoorn, J. W. 1989. Effects on Crop and Soil. En: *Control de la Salinidad. Conferencias Impartidas en el Curso Internacional de Drenaje*. Bayamo, Cuba,
- Walkey, A. & Black, I. A. 1947. An Examination of the Degthareff Method for Determining Soil Organic and A Proposed Modification of Chromic Acid Titration Method. *Soil Science* . 37:29-38.
- Wild, A. 1993. *Soil and the Enviromental Introduction*. Cambridge University Press. New York.
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, Nueva Jersey.