

155
2ej



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

**DIAGNOSIS Y EVALUACION
DE LOS SUELOS SALINOS - SODICOS
DE UNA ZONA TEMPLADA
EN CHALCO, ESTADO DE MEXICO**

T E S I S

Que para obtener el título de:

B I O L O G O

P r e s e n t a :

Humberto Núñez Cardona

México, D. F.

1991

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

RESUMEN

Los suelos de la Subcuenca de Chalco son de origen tanto aluvial como lacustre y corresponden al terciario y cuaternario. El clima de la zona de estudio es de tipo templado subhúmedo cuya fórmula es: C(w)(w)b(e)g.

Para el presente trabajo se hicieron tres perfiles, en los que se obtuvieron 21 muestras. Estos suelos son derivados de materiales piroclásticos, con texturas generalmente gruesas y se caracterizan por su extrema juventud y una horizontalización incipiente.

Se colectaron además cuatro muestras compuestas a profundidades de 0-20 y 20-40 cm, obteniéndose 8 en total con fines de fertilidad y 7 muestras a una profundidad de 0-40 cm con fines de salinidad.

De los análisis físicos y químicos destacan los siguientes resultados: se observó que el color dominante en todas las muestras obtenidas fue pardo grisáceo muy oscuro en húmedo y el pardo pálido dominó en seco; en los tres perfiles las densidades y la permeabilidad disminuyen conforme aumenta la profundidad, mientras que la porosidad se comporta a la inversa. En el caso de las muestras de fertilidad y de salinidad como son superficiales los parámetros mencionados son más homogéneos.

Los valores promedio de la C.I.C.T. y el P.S.I. de los tres perfiles indican que son suelos sódicos y en general la mayoría de las muestras además de ser sódicas son salinas, especialmente las

que se tomaron en los primeros horizontes de los perfiles 1 y 2. Con respecto a las muestras de fertilidad y de salinidad se clasifican como normales exceptuando las muestras colectadas cerca del Perfil 1.

Respecto al pH, este tiende a la alcalinidad en las 36 muestras obtenidas, ya que las bases intercambiables por orden de abundancia son Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . La C.I.C.T. es baja en la mayoría de las muestras, esto coincide con las texturas arenosas, a excepción de las muestras tomadas a más de dos metros de profundidad (horizonte argílico de origen lacustre) y en los horizontes donde los limos y las arcillas aumentan notablemente.

Los valores de la materia orgánica, nitrógeno total y fósforo asimilable son muy variables, y se observa que las mayores concentraciones de éstos se presentan en el horizonte argílico, produciéndose heterogeneidad en los valores, de tal manera que la materia orgánica de los perfiles 1, 2 y 3 se clasifica como rica, medianamente rica y pobre, respectivamente. En general los suelos de la zona de estudio son pobres, tanto en materia orgánica como en nitrógeno total, los cuales disminuyen con la profundidad y al llegar al horizonte argílico suben nuevamente; respecto al fósforo los perfiles 1 y 2 se clasifican como medianamente ricos y el Perfil 3 es rico.

Las muestras de fertilidad y de salinidad, respecto a materia orgánica, nitrógeno total y fósforo asimilable se clasifican como medianamente pobres, pobres y medianamente ricos respectivamente.

Las sales solubles en el total de las muestras obtenidas, muestran una desproporción respecto a los suelos normales, ya que

los cationes se presentan en orden de importancia: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y K^+ ; en donde el Na^+ supera drásticamente al Ca^{2+} y al Mg^{2+} , originando fuertes problemas de sodicidad y salinidad, principalmente en los perfiles 1 y 2 y en las muestras de fertilidad y salinidad que corresponden a la zona norte.

Los aniones en las 36 muestras por orden de importancia fueron: SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- y CO_3^{2-} , los cuales al combinarse con los cationes Na^+ , Mg^{2+} y K^+ originan sales neutras, ya sea ligeramente ácidas o alcalinas, pero el catión que más abunda es el Na^+ que está desplazando al Ca^{2+} y Mg^{2+} de los sitios de intercambio originando suelos sódicos-salinos.

Los suelos estudiados según el Sistema USDA 7^o aproximación, pertenecen a los ordenes Entisoles y Mollisoles, pero de acuerdo con FAO, corresponden al Gran Grupo de los Fluvisoles. Según su capacidad de uso pertenecen a las unidades IIh-1, IIIs-2 y IIIs-3 y según su aptitud de riego pertenecen a las clases IIIs-1 y IIIs-4.

CONTENIDO

Página

1. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVOS	
1.2 HIPOTESIS	
2. ANTECEDENTES	4
2.1 MARCO HISTORICO	
2.2 MARCO TEORICO	
2.2.1 Suelos salinos	
2.2.2 Suelos salinos-sódicos	
2.2.3 Suelos salinos no sódicos	
2.2.4 Suelos sódicos	
2.2.5 Rehabilitación de suelos sódicos propuesta por USDA.	
3. FACTORES AMBIENTALES	18
3.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA	
3.2 FIBIOGRAFIA	
3.3 GEOLOGIA	
3.4 HIDROLOGIA	
3.5 CLIMA	
3.6 SUELOS	
3.7 VEGETACION	
4. DISEÑO METODOLOGICO	31
4.1 RECOPIACION DE LA INFORMACION BASICA	
4.2 TRABAJO DE LABORATORIO	

5. RESULTADOS Y DISCUSION	36
5.1 DESCRIPCION MORFOLOGICA DE LOS PERFILES	
5.1.1 Perfil 1	
5.1.2 Perfil 2	
5.1.3 Perfil 3	
5.1.4 Clasificación de los suelos según su capacidad de uso	
5.2 PROPIEDADES FISICAS	45
5.2.1 Color	
5.2.2 Densidad aparente	
5.2.3 Densidad real	
5.2.4 Porosidad	
5.2.5 Permeabilidad	
5.2.6 Textura	
5.2.7 Conductividad eléctrica	
5.3 PROPIEDADES QUIMICAS	53
5.3.1 Actividad de los iones hidrógeno (pH)	
5.3.2 Bases intercambiables	
5.3.3 Capacidad de Intercambio Catiónico Total	
5.3.4 Materia orgánica	
5.3.5 Nitrógeno total	
5.3.6 Fósforo	
5.3.7 Cationes soluble	
5.3.8 Aniones solubles	
CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFIA	72
APENDICE	78

INTRODUCCION

Uno de los recursos naturales más importantes para el hombre es el suelo, su valor reside en ser un medio de subsistencia para las plantas, los animales y el hombre; mientras las plantas lo utilizan de manera directa, el hombre para su aprovechamiento necesita transformarlo, ya sea de manera directa o bien indirectamente convirtiéndolo en nuevas fuentes de energía o sub-productos y mercancías manufacturadas.

Pocos aspectos del medio natural reflejan de forma tan nítida la influencia de los factores físicos y químicos en su formación e incesante transformación, como la capa superficial en donde crecen las plantas y que se le llama suelo. En su origen ha tomado parte la historia geológica al constituir la roca madre que lo subyace y que se encuentra en constante proceso de desintegración, en tanto que la situación y el relieve condicionan la importancia del clima y la decisiva participación de los vegetales en la formación del suelo. Sin embargo, el sistema edafológico no es un fenómeno estático, sino que es un hecho en constante cambio que se encargan de efectuar los fenómenos naturales. En este proceso de cambio también contribuye el hombre con las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, conservando o destruyendo el suelo.

De estos aspectos, el más importante es la conservación, puesto que de ello depende la alimentación o el suministro de alimentos para la población, ésta crece en progresión geométrica, es de-

cir, que se multiplica por una cantidad constante, en tanto que los alimentos y subsistencias en condiciones favorables sólo pueden realizarse en proporción aritmética. Lo anterior tiene como consecuencia una diferencia significativa entre el aumento de la población y la producción de alimentos, que en este caso, es marcadamente menor, esta diferencia se presenta como consecuencia de la reducción de la superficie destinada para la producción agrícola, ya que se ha ocupado parte de esa extensión para la construcción de casas, industrias y carreteras entre otros. Además influyen para su pérdida: la erosión hídrica, eólica, la salinidad y la sodicidad. Por lo que este trabajo tiene como finalidad aportar algunos conocimientos que permitan comprender, evaluar y resolver parte de los problemas de salinidad y sodicidad que se presentan en el Rancho San Francisco, que se localiza en el Municipio de Chalco Estado de México. Los cuales se originan fundamentalmente por las deficiencias del drenaje en el suelo.

La salinidad y la sodicidad no son problemas específicos de este lugar, ya que en nuestro país, tan sólo en los distritos de riego, existen más de 500,000 Has. que muestran los mismos problemas en mayor o menor grado (Arita, 1975).

1.1 OBJETIVOS

Los objetivos de esta tesis son:

1. Clasificar los suelos del Rancho San Francisco de acuerdo con el sistema USDA (1990) y FAO-UNESCO (1988).
2. Diagnosticar sus características físicas y químicas
3. Caracterizar los suelos desde el punto de vista agrícola.
4. Clasificar los suelos según su capacidad de uso y su aptitud de

riego.

5. Evaluar los grados de salinidad de los suelos del Rancho San Francisco.

1.2 HIPOTESIS

Con base en los objetivos anteriores y con la información proporcionada por las autoridades del rancho, sobre la problemática que presentan estos suelos en relación a su baja productividad, se plantearon las siguientes hipótesis:

a. Se trata de suelos con problemas de salinidad, originada fundamentalmente por la calidad del agua y un drenaje deficiente, éste último es el resultado de la presencia de capas impermeables, de origen posiblemente lacustre.

b. Por las observaciones realizadas en campo se cree que la parte sur del rancho, corresponde a los límites entre los suelos de origen lacustre y aluvial o llanura riveroña, los cuales presentan mayores problemas de salinidad, sodicidad y fertilidad.

2. ANTECEDENTES

2.1 MARCO HISTORICO

El origen del nombre que se le da al Municipio de Chalco no es muy claro y es por ello que existen varias interpretaciones, dentro de las cuales están las siguientes:

1. Este nombre fue dado por la tribu Nahua que floreció en el Cerro de Xico, la cual se llamaba "Chalca", misma que posteriormente se asentó en el lugar donde se encuentra la actual población de Chalco.

2. Otra interpretación es que Chalco proviene del vocablo Nahuatl "Chalchihuitl" que significa "Piedra Preciosa" y "Colugar" o "Sobre" siendo, por lo tanto, el significado etimológico "Sobre piedras preciosas".

3. Otro significado que se le ha dado es "Poseedor de las bocas", sin que se conozca la etimología de las palabras.

4. Una versión más del nombre es que se origina de los vocablos "Xalli"- arena, "Atl"- agua, "Tentli"- labio, orilla, litoral. Siendo por lo tanto "Agua a la orilla del litoral de arena" (Laurraquio, 1965).

Antiguamente Chalco era un señorío con un régimen social en el que se reconocían principalmente dos jerarquías: familias nobles "Dirigentes" y el pueblo, siendo una comunidad bien organizada. Sin embargo, al consolidarse el Imperio Mexica, Chalco quedó como tributario al igual que muchos otros pueblos, no sin haber te

nido cruentas batallas con los Mexicas, mismos que finalmente sometieron al señorío Chalca gracias a su superioridad numérica.

Los Chalcas llevaron siempre el yugo de sus vencedores aparejando sumisión y obediencia, aunque siempre guardaron rencor en contra de sus dominantes. Por otro lado, la situación de la mayoría de los pueblos dominados por los Mexicas, fue siempre muy difícil, pues los tributos eran excesivos y los recaudadores cometían todo tipo de excesos durante su trabajo. Aunado a lo anterior fue también la falta de vínculos entre los elementos de la monarquía, lo cual hacía de cada pueblo dominado un enemigo para el "Imperio Mexica".

A la llegada de los españoles la situación era muy tensa, tanto que cuando Cortés ofreció protección y remedio de sus males a cambio de obediencia, se aliaron con él y con ello aumentaron el poderío español, para emprender la conquista de los Mexicas.

De esta manera y con la aportación de cerca de 4000 hombres, Chalco influyó en la conquista de la Gran Tenochtitlan. Participando también en las guerras de pacificación de otros pueblos rebeldes a los españoles.

Al consolidarse la Colonia las actividades de Chalco se concretaron a la agricultura, a la explotación forestal y a una incipiente ganadería, para lo cual contaron con tierras de cultivo, montes, agua y terrenos para la ganadería. En cuanto a la propiedad, ésta estaba distribuida de la siguiente manera:

- a. Propiedad de los Colonos
- b. Propiedad de la Iglesia
- c. Propiedades comunales que se dieron a los indígenas.

Durante la Epoca Colonial la diferencia entre los indígenas y

los españoles fue muy marcada y aunque Chalco estaba sumido en la pobreza, durante el movimiento de Independencia la participación de Chalco fue muy esporádica, ya que se encontraba muy cerca de la capital y más bien fue de cierto repudio al movimiento independentista, participando sólo al finalizar éste y sin llegar a hechos sobresalientes. Sin embargo, la desequilibrada distribución de la riqueza, así como la problemática política y social que prevalecía en el municipio, fue determinante para que Chalco participara activamente en el movimiento revolucionario, tanto que al término de ésta, Chalco fue beneficiado con numerosos servicios sociales (Laurabaquio, 1965).

Gracias a las exploraciones de Armillas (1974), se calculó que el área de esbalse total de la Subcuenca de Chalco y Xochimilco, en el Siglo XVI, variaba entre unos 180 y 190 Km², además se dedujo que no se trataba propiamente de un lago, es decir, de un espejo de agua como el de "Pátzcuaro" Michoacán, sino más bien se trataba de una laguna o ciénaga cruzada por canales y acequias, en las cuales sobresalían chinampas, enmarcadas por hileras de ahuejotes a manera de terrenos cercados, en forma de camellones sobre el nivel del agua usados para el cultivo agrícola.

Las chinampas se construían aprovechando la existencia de cintas de vegetales como el "Tule", lirio acuático y el "Atlazole". Estas cintas o capas y bancos de vegetación eran cortadas unas sobre otras hasta que sobresalían del nivel del agua, se colocaba lodo en la superficie y en ella se cultivaban productos de la región principalmente hortalizas (García, 1979).

Posteriormente, el aumento de peso de las chinampas originó que éstas se fijaran al fondo del lago, lo cual produjo la existen

cia de canales permanentes, en donde el agua tenía movimiento en forma general de Oeste a Este, ya que las aguas del Río La Compañía y Amecameca aumentaban el contenido y el excedente era vertido al Lago de Xochimilco por medio de un canal. En algunos puntos había estanques, cuya extensión variaba según la estación del año.

Aunque en comparación con otras subcuencas del llanado Valle de México, la Subcuenca de Chalco fue de las más estables en su delimitación ribereña, ésta no dejó de presentar fluctuaciones a lo largo del tiempo, las cuales se volvieron bruscas cuando se emprendieron las desecaciones (García, 1979).

En relación a que si el contenido del agua del lago era dulce o salada, existe una referencia en donde se menciona que debido a la falta de agua en el Río "Tlalmanalco", los habitantes de Chalco se vieron obligados "a beber agua de pozos y de la laguna salobre que causan y han causado notables enfermedades" (Molina, 1955).

Por otro lado, la idea de una laguna de aguas dulces se asocia quizá al hecho de que en ella se vertían aguas de los ríos y manantiales del área y por ello, en algunas zonas de la laguna el agua podría ser dulce (Molina, 1955 y Peñafiel, 1884).

Funcionalmente la laguna cumplió con ser un medio de comunicación comercial en el siglo XVI, y como ejemplo de ello tenemos que el embarcadero de "Ayotzingo" era el lugar de llegada de arrieros y comerciantes del Valle de Atlixco Puebla, trayendo harinas y otras provisiones, además de que ahí se traficaba leña del alcalde mayor. En dicho embarcadero, había un servicio de canoas y remeros para llevar mercancías a la Ciudad de México (A.B.N., 1582).

Existía también el embarcadero cercano a la Plaza Principal de Chalco a donde llegaba el canal del mismo nombre, proveniente

de San Lázaro (ubicado en la Ciudad de México), después de cruzar la Laguna de Xochimilco y la Calzada de Tláhuac.

En el Siglo XIX se embarcaban los productos de tierra caliente en canoas o trajineras, también las había de pasajeros cubiertas con toldos de petate y provistos de "colchones" para dormir, pues la travesía la hacían de noche (Diccionario Porrúa, 1976).

De esta manera la Laguna de Chalco era el medio de distribución de las mercancías de tierra caliente, traídas por el camino de Cuautla, así como las del Valle de Atlixco, las frutas y legumbres producidas por los pueblos Chalcas y además los granos de frijol, trigo, maíz y cebada, de las haciendas asentadas en las planicies y llanuras de Chalco-Amecameca (García, 1891).

Posteriormente, la laguna fue transformándose en una ciénaga por efecto de la apertura de canales y trazo de acequias que surtían las chinamperías y por la construcción de camellones que formaban las chinampas, que fueron cubriendo el lecho lacustre. Los desecamientos de la ciénaga se debieron a las siguientes causas:

1. La deforestación. La necesidad de los habitantes de construir sus casas principalmente con madera, provocó que los bosques circundantes al lago, fueran desapareciendo y con ello dejaron áreas muy extensas expuestas a la erosión, pues se redujo la capa protectora y los sedimentos arrastrados en zonas de declive, se fueron depositando en el lecho del lago produciendo azolvamiento.
2. La ampliación de las áreas de cultivo. Como no se aprovechaban todo el año, sino sólo en temporadas, los suelos permanecían largos períodos expuestos a fenómenos climáticos adversos, y se fueron erosionando por efecto del viento y las corrientes de agua, pues los suelos no tenían una capa vegetal que los protegiera.

3. Evaporación. Como consecuencia de la disminución de la lámina de agua y la carencia de vegetación en toda la superficie que redujera las áreas de insolación, hubo un aumento de la evaporación que permaneció constante prácticamente hasta que el lago se secó.

Debido a los factores mencionados el lago disminuyó su espesor de agua, por lo que los agricultores trataron de conservarlo cavando canales para satisfacer sus necesidades, sin embargo, estos canales también se azolvieron y desaparecieron y sólo en la época de lluvias, se forman pequeños charcos de diámetros diferentes y en algunas porciones se producen inundaciones que afectan a los asentamientos humanos en la zona.

Con respecto a las chinampas en la actualidad sólo se conservan en porciones reducidas en Mixquic y Xochimilco.

2.2 MARCO TEORICO

Los suelos con problemas de salinidad y sodicidad se localizan principalmente en regiones áridas y semiáridas del mundo (Arita, 1975). Sin embargo, aparecen también en regiones húmedas tropicales y subtropicales, lagos de agua salada, lagunas, estuarios, ríos, arroyos, cuencas endorréicas y en general en lugares donde el manejo del agua es inadecuado.

De los 163,000,000 Km² de tierra firme, se ha calculado que existen aproximadamente unas 4×10^6 Has, de suelo potencialmente arable, de las cuales un 40 % a nivel mundial están siendo afectadas por problemas de salinidad, que de alguna manera afectan el crecimiento de los cultivos (Millar y Col., 1981).

En México, el problema del ensalitramiento es de gran relevancia, debido a que las zonas áridas y semiáridas ocupan el 57.3 %

del territorio nacional (Anaya, 1983) y de acuerdo con la SARH cerca del 30 % de la superficie bajo riego en el país presenta problemas de salinidad (Márquez, 1983).

Se considera que además del área bajo riego ensalitrada, existen aproximadamente 4,300,000 Has, afectadas en el territorio nacional (Aceves, 1981).

Los suelos de las regiones áridas en el mundo (aridisoles) ocupan alrededor de una quinta parte de la tierra. Los procesos de ensalitramiento en estos suelos son semejantes a los que ocurren en los suelos de las regiones húmedas, pero la velocidad de formación en los aridisoles es más lenta. Las tierras desérticas y semi-desérticas constituyen entre el 20 y 25 % del total de la superficie terrestre (Millar y Col., 1981). El mayor desierto del mundo, al que los biólogos llaman Gran Desierto Paleártico, se extiende casi ininterrumpidamente desde el Océano Atlántico, Norte de África, Asia Menor, Norte de la India, hasta el corazón de China. Además de esta zona de pleno desierto, gran parte del Sur de África, Norte y Sur de América y la mayor parte de Australia, se clasifican como regiones desérticas o semidesérticas, las cuales muestran problemas de salinidad en distintos grados (Thompson, 1978).

La salinidad es la acumulación de sales solubles en el perfil del suelo, ocurre principalmente en zonas áridas y semiáridas donde la evaporación excede a la precipitación. También se desarrollan suelos salinos en aquellos sitios donde existe un drenaje deficiente y como consecuencia de ello al evaporarse el agua las sales de sodio, calcio, magnesio; sulfatos, cloruros y bicarbonatos se acumulan en la superficie.

Las principales fuentes de sales provienen del intemperismo

de los minerales primarios y secundarios del suelo y además del agua de riego de mala calidad, siendo las más abundantes, las sales de calcio, de magnesio, de sodio, de potasio; carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos.

Los suelos sódicos se originan cuando el sodio intercambiable se acumula en cantidades suficientes en los sitios de intercambio en los coloides del suelo, desplazando a los cationes de calcio y de magnesio, que son los que más abundan en el complejo de intercambio; la acumulación de sodio impide el desarrollo normal de las plantas y altera las propiedades del suelo.

2.2.1 Clasificación de los suelos

Con base en las propiedades físicas y químicas del suelo, el Laboratorio de Salinidad de los E.U ha clasificado los suelos en los siguientes tipos:

A. De acuerdo con los valores de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación, o sea el valor recíproco de la resistencia eléctrica, se clasifican en salinos y no salinos.

B. De acuerdo con el porcentaje de saturación de sodio en el complejo de intercambio pueden ser sódicos y no sódicos.

Pero la combinación de los dos criterios permite clasificarlos en cuatro tipos: suelos salinos, salinos-sódicos, sódicos no salinos y suelos normales.

2.2.2 Suelos salinos

Son aquellos que contienen sales solubles en cantidades suficientes para afectar el crecimiento de las plantas. El pH generalmente es menor de 8.5 y la conductividad eléctrica es mayor de cu

tro milimhos/cm. Dentro de las sales solubles que se presentan están principalmente los cloruros, los sulfatos y en algunos casos los nitratos. Pueden tener pequeñas cantidades de bicarbonatos y en general, no hay carbonatos solubles. Con frecuencia se presentan sales relativamente insolubles como sulfatos y carbonatos de calcio y de magnesio. Los principales cationes presentes son: calcio, magnesio y sodio, aunque éste último rara vez llega a ocupar más de la mitad de dichos cationes y no es adsorbido en cantidad apreciable sobre la fracción coloidal del suelo. Estos suelos bajo condiciones de clima seco presentan costras blancas superficiales de sales.

En el caso de los suelos salinos bajo riego se han desarrollado de diferentes formas: (1) La elevación del nivel freático por aplicaciones excesivas de agua, lo cual permite la concentración de sales debido a la evaporación. (2) Altos niveles freáticos por efecto de la percolación de los canales y zanjas laterales con filtraciones. (3) Alto contenido de sales en el agua de riego, principalmente cuando: (a) el drenaje es pobre y las sales que se acumulan no se eliminan por lavado; (b) la acumulación de sales en la zona de raíces que no alcanzan a ser lavadas por la escasa aplicación de agua.

Si el agua contiene la suficiente cantidad de sales para que los coloides queden impregnados con éstas y se destruya la estructura favorable del suelo para uso agrícola, se podrán originar suelos sódicos. La recuperación de estos suelos, se puede efectuar teóricamente mediante la lixiviación de las sales con agua de buena calidad.

2.2.3 Suelos salinos sódicos

Estos suelos contienen grandes cantidades de sales solubles y sodio intercambiable que impiden el desarrollo de las plantas. Se caracterizan por presentar la conductividad eléctrica en el extracto de saturación mayor a 4.0 milimhos/cm y con un porcentaje de saturación de sodio superior al 15 %, en muchos casos el Na^+ ocupa más del 50 % de los cationes solubles y el Na^+ intercambiable ha desplazado al Ca^{2+} y al Mg^{2+} de los sitios de intercambio, precipitando al calcio y al magnesio como sulfatos o carbonatos. El pH, por lo general, es menor a 8.5. Cuando estos suelos se lavan se elimina el exceso de sales solubles, pero debido a las altas concentraciones de sodio intercambiable se convierten en suelos sódicos no salinos, los cuales se podrían recuperar por métodos químicos bajando el pH y solubilizando al calcio y al magnesio con el objeto de desplazar al sodio de los sitios de intercambio.

5.2.4 Suelos sódicos no salinos

Son aquellos que presentan suficiente sodio intercambiable como para interferir en el desarrollo normal de las plantas. El extracto de saturación presenta una conductividad eléctrica menor a 4.0 milimhos/cm, un porcentaje de saturación con Na^+ intercambiable mayor a 15.0 y un pH entre 8.5 y 10, sin embargo, en ocasiones presentan valores menores a 7.0 como es el caso de los suelos "alcali-degradados". La ausencia de sales solubles en exceso permite que el Na^+ intercambiable se hidrolice formando NaOH, el cual al reaccionar con el anhídrido carbónico forma bicarbonato de sodio. En estos suelos las propiedades físicas son afectadas al haber una dispersión de los coloides eliminándose del perfil y la materia orgánica.

gánica emigra hacia la superficie dando colores oscuros, por lo que se les denomina "álcali-negros" (Richards, 1988, Fassbender y Bornemisza, 1987, Ortega, 1981 y Bohn, 1985).

2.2.5 Suelos sódicos

Los suelos sódicos se desarrollan con frecuencia, como resultado del riego, debido al estado disperso de los coloides; por lo general presentan una baja permeabilidad. Después de un período prolongado de tiempo la arcilla dispersada puede emigrar hacia abajo, formando una capa muy densa con una estructura prismática o columnar; cuando esto sucede puede quedar sobre la superficie una capa de unos cuantos centímetros de suelo con estructura relativamente gruesa (Millar y Col., 1981).

El grado de acumulación de sales en este tipo de suelos puede ser determinado por los siguientes factores: (1) el grado del movimiento capilar del agua hacia la superficie; (2) el contenido de sales del agua subterránea y (3) la velocidad de evaporación. Mientras más cercano esté el nivel freático de la superficie, más rápida será la acumulación de sales (Millar y Col., 1981).

El mejoramiento de estos suelos se puede efectuar con mejoradores químicos como el H_2SO_4 , $CaSO_4$ o con agua que disuelva al $CaSO_4$ y el Ca^{2+} liberado desplace al Na^+ de los sitios de intercambio. También se pueden utilizar otros ácidos y el azufre que además de realizar la disolución del $CaSO_4$, bajen el pH del suelo constituyéndolo en un suelo normal. La facilidad con que un suelo sódico puede mejorarse depende principalmente de su textura, si ésta es ligera, su recuperación será más fácil (Richards, 1988).

2.2.6 Rehabilitación de suelos sódicos con mejoradores químicos propuesto por USDA

La clase y cantidad del agente químico que debe utilizarse para desplazar al Na^+ intercambiable del suelo, depende del contenido de calcio, del pH del suelo, del tiempo y rapidez con que se quiera sustituir al sodio y del costo del mejorador. Por lo que de acuerdo con Richards, (1988) y Ortega, (1981), los agentes químicos se dividen en tres tipos:

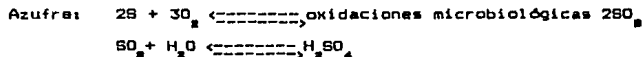
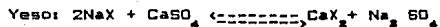
- A. Sales cálcicas solubles como el cloruro de calcio (CaCl_2) y el sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- B. Ácidos, sales o compuestos que forman ácidos como el azufre, Fe_2SO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, cal-azufre o polisulfuros de calcio.
- C. Sales cálcicas de baja solubilidad como el Ca_2CO_3 y la dolomita.

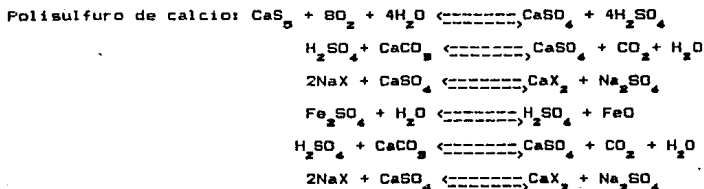
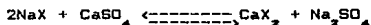
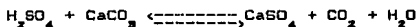
De acuerdo con el contenido de carbonatos alcalino-térreos y del pH del suelo sódico a rehabilitarse se selecciona el mejorador químico. Por lo que los suelos sódicos se dividen en tres grupos: Grupo I; suelos con altos contenidos de carbonatos alcalino-térreos.

Grupo II; suelos con pH de 7.5 o más, libres de carbonatos alcalino-térreos.

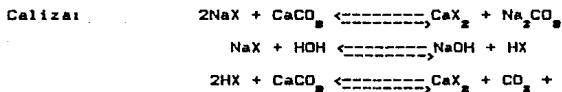
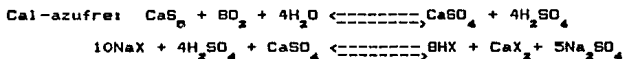
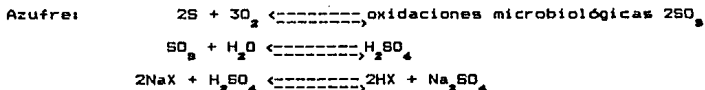
Grupo III; suelos con pH de 7.0 o menos, libres de carbonatos alcalino-térreos.

Suelos del Grupo I; se usan las sales cálcicas, ácidos o formadores de ácidos y las reacciones que se efectúan son las siguientes: donde la X representa el complejo de intercambio.

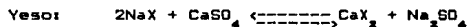




Suelos del Grupo II; se usan sales cálcicas solubles, ya que los ácidos o formadores de ácidos, tienden a acidificar los suelos, por lo que su uso debe hacerse aplicando CaCO_3 perfectamente molido para evitar que el pH baje, como se muestra en las siguientes reacciones:



Suelos del Grupo III; se usan también sales cálcicas solubles, pues los ácidos o formadores de ácidos hacen el pH del medio más ácido, por lo que se recomienda usar CaCO_3 molido, como se muestra en las reacciones siguientes:



Cal-Azufre: $2S + 3O_2 \xrightarrow{\text{oxidaciones microbiológicas}} 2SO_2$

$10NaX + 4H_2SO_4 + CaSO_4 \xrightarrow{\hspace{2cm}} 8HX + CaX_2 + 5Na_2SO_4$

$Fe_2SO_4 + H_2O \xrightarrow{\hspace{2cm}} H_2SO_4 + FeO$

$NaX + H_2SO_4 \xrightarrow{\hspace{2cm}} 2HX + Na_2SO_4$

Caliza: $2NaX + CaCO_3 \xrightarrow{\hspace{2cm}} CaX_2 + Na_2CO_3$

$NaX + HOH \xrightarrow{\hspace{2cm}} NaOH + HX$

$2HX + CaCO_3 \xrightarrow{\hspace{2cm}} CaX_2 + CO_2 + H_2O$

$2HX + CaCO_3 \xrightarrow{\hspace{2cm}} CaX_2 + CO_2 + H_2O$

También se ha demostrado experimentalmente que al haber carbonatos libres se puede desplazar el Na^+ intercambiable con agua de riego de buena calidad, estos suelos se rehabilitan mediante reacciones químicas de hidrólisis y el calcio disuelto desplaza al sodio intercambiable mediante la siguiente reacción:

$2Na^+ \text{ adsorbido} + CaCO_3 + H_2O \xrightarrow{\hspace{2cm}} Ca^{+2} \text{ adsorbido} + 2Na^+ + HCO_3^- + OH^-$

3. FACTORES AMBIENTALES

3.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA

La Subcuenca de Chalco pertenece a la Cuenca de México y está situada geográficamente entre las coordenadas $19^{\circ} 15'$ de longitud Este y $70^{\circ} 30'$ de latitud Sur con respecto al Centro Histórico de la Ciudad de México. Tiene una superficie aproximada de 1463 Km^2 , la mayor parte del municipio se encuentra ubicado en una gran planicie a una altura media de 2250 m.s.n.m. (Figura 1).

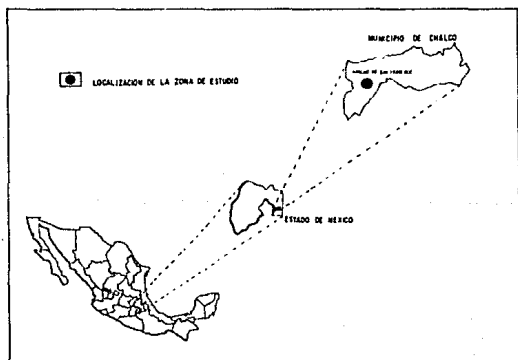


Fig. 1. Localización de la zona de estudio

La zona donde se realizó el presente trabajo, se ubica en el Rancho San Francisco, mismo que se localiza entre las coordenadas $97^{\circ} 57'$ de longitud Este y a $19^{\circ} 14'$ de latitud Sur a una altura media de 2240 m.s.n.m. y cuyos límites aparecen en la Figura 2.



Fig. 2. Colindancias del Municipio de Chalco, Edo. de México.

3.2 FISIOGRAFIA

La Cuenca de México forma parte de la Provincia Eje Neovolcánico, el cual está formado por grandes sierras volcánicas, colados lávicos, conos dispersos, amplios escudos de basalto, así como depósitos de arenas y cenizas. Dentro de ella se encuentra la Subcuenca de Chalco, misma que fisiográficamente está limitada al Este por la Sierra Nevada, al Oeste por los cerros La Caldera, Xico, Dos Cerros y la Sierra del Ajusco. Al Norte por la Sierra Santa Catarina, Cerro del Pino, las estribaciones de la Sierra Nevada y Cerro La Caldera. Al Sur por Dos Cerros, Xoyocan y el Volcán Popocatepetl (Molina, 1956 y Gutiérrez, 1947).

En la parte media de la Subcuenca de Chalco se encuentra el antiguo vaso del mismo nombre y corresponde fisiográficamente a la planicie lacustre, a la cual llegaban los ríos Amecameca y Tlalmanalco o de La Compañía, estos ríos, vertían parte de sus caudales a la Subcuenca de Xochimilco y parte a la Subcuenca de Texcoco por medio del Canal de Garay (García, 1979).

La planicie mencionada se encuentra dividida en dos partes. La parte norte está limitada por los siguientes puntos: Cerro La Caldera, Pueblo de Ayotla, Ixtapaluca, San Marcos, Chalco y Cerro de Xico. La parte sur está limitada por los siguientes puntos: Cerro de Xico, Pueblo de Chalco, San Martín, Cocotitlán, Tlamantla, Los Reyes, Ex-Hacienda Asunción y Ayotzingo.

El Valle de Amecameca está formado por Dos Cerros y Tezayo, el Río Amecameca, que nace en la parte sur del Iztaccíhuatl.

El Valle del Río Tlalmanalco o de La Compañía, se encuentra formado por: el Cerro Tenayotl y los Basaltos de Tlalmanalco.

El Valle de San Francisco, está formado por las estribaciones

El paisaje de la Cuenca de México se vió modificado, ya que las elevaciones del Terciario medio y superior, quedaron cubiertas en el Terciario superior por abanicos aluviales. Posteriormente, ocurrieron una serie de hundimientos, extrabasándose grandes volómenes de tobas y brechas volcánicas, provenientes de ciertas fracturas que se localizan en las faldas de la Sierra de Río Frio y que constituyen la formación Tarango Inferior (Mooser, 1965).

A fines del Terciario y comienzos del Cuaternario, ocurrieron nuevos eventos tectónicos, originando una serie de cambios climáticos y la desaparición de los glaciares, formándose una serie de arroyos y cañones en los abanicos aluviales, así como en los complejos volcánicos del Terciario. Además se formaron gran cantidad de volcanes los cuales obstruyeron el drenaje natural de la cuenca hacia el sur, dando origen a una cuenca endorréica, hasta 1789 año en que se construyó el Tajo de Nochistongo (INEGI, 1985).

Los productos de la erosión están representados por conglomerados, gravas y arenas interestratificadas por corrientes de tobas y cenizas de volcanes en erupción.

3.4 HIDROLOGIA

La hidrología de esta subcuenca, está constituida por los ríos; San Francisco al Norte, Tlalmanalco al Este y Aacameca al Sureste, estos últimos desembocaban en el antiguo Lago de Chalco.

El Río Tlalmanalco nace en el Iztaccíhuatl, sus aguas son permanentes, aunque de pequeño caudal, en su recorrido pasa cerca de los siguientes pueblos; San Rafael, San Juan Tlalmanalco, Miraflores, El Moral, y San Lucas, este río antiguamente era conducido artificialmente al Lago de Texcoco. Los afluentes del Río Tialma-

nalco descienden de la Sierra Nevada y siendo los más importantes: el Huexolulco, San Martín, Buena Vista y el San Francisco, que nace en el pueblo del mismo nombre.

El Río Amecameca con numerosas afluentes y un régimen permanente, nace entre el Itzacíhuatl y el Popocatepetl, en su recorrido pasa por Tetepexinac, Apaxtla, Palo Rechinador, Los Reyes, Amecameca, Tlamapan, Santa María Tepolula, Tenango del Aire, Santa Bárbara y Olivar desembocando en la planicie de Chalco. Los afluentes que forman este río son: el Amalacaxco, Alialica, Ayolocotl, Ameyalco, Palo Rechinador, Providencial y Xalpatlaco, estos últimos son torrenciales y de corto recorrido.

En la antigüedad los ríos Tlalmanalco y Amecameca vertían sus aguas en el Lago de Chalco, por ello mantenía un nivel constante que era complementado por el caudal de aguas pluviales y cuando había un excedente, las aguas se vertían al Lago de Xochimilco (Molina, 1956, Lurrabaquio, 1965 y García, 1979)

3.5 CLIMA

Según el sistema de Köppen modificado por García (1988), en la Subcuenca de Chalco existen dos tipos de climas, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

1. En la parte central se encuentra un C(w)(w)b(i'); subhúmedo con una precipitación media anual de 600 a 700 mm, con un régimen de lluvias de verano, siendo el mes de julio el más lluvioso, con una temperatura media anual entre 12° y 18°C y con una oscilación de las temperaturas medias menor de 5°C.
2. En la zona de lomeríos, en las estribaciones de la Sierra Nevada y de la Sierra del Ajusco, el tipo climático es C(w)(w)b(i');

subhúmedo, con una precipitación media anual entre 700 y 800 mm, con un régimen de lluvias de verano, con una temperatura media anual entre 12° y 18°C y con una oscilación media anual de las temperaturas medias menor de 5°C.

El área de trabajo según la clasificación de Köppen modificado por García (1988), presenta un clima templado subhúmedo (con una temperatura media anual entre 12° y 18°C), es el más seco de los subhúmedos (con un p/t, menor de 43.2), con régimen de lluvias de verano, con menos del 5 % de lluvia invernal respecto al total anual, con verano fresco y largo (temperatura del mes más caliente menor de 18°C), extremoso (la diferencia de temperatura entre el mes más frío y el más caliente del año oscila entre 7° y 14°C) y la marcha anual de la temperatura es de tipo ganges (el mes más caliente del año se presenta antes del solsticio de verano, o sea, antes de junio en el hemisferio norte). La fórmula que representa estas condiciones climáticas es: C(w)(w)b(e)g.

3.6 SUELOS

De acuerdo con Cuanalo y Ortiz (1976) en la Subcuenca de Chalco existen siete asociaciones de suelos, que agrupan a 18 series y corresponden de acuerdo con la séptima aproximación USDA, (1990) a los órdenes Mollisoles, Entisoles e Inceptisoles. Según FAO-UNESCO (1988), pertenecen a las unidades de Fluvisoles, Phaeozem, Solonetz, Solonchack, Gleysoles, Regosoles, y Andosoles (Tabla 6 y 7). Estas unidades constituyen las siguientes asociaciones:

AYOTLA-XICO. Se distingue por agrupar suelos desarrollados en la planicie lacustre, de colores oscuros, profundos, con problemas de salinidad, drenaje deficiente y con reacción al HCl.

Esta asociación ocupa aproximadamente el 40 % de la subcuenca, se localiza al Norte y Noroeste del municipio. Alrededor del 70 % de esta asociación está representada por los suelos de la Serie Ayotla y aproximadamente el 30 % por la Serie Xico.

Los suelos de la Serie Ayotla son de ligeramente profundos a profundos, en algunas partes el nivel freático se localiza a menos de un metro de profundidad, presentan texturas medias, colores oscuros, presencia de carbonatos en todo el perfil, con problemas de salinidad y un pH muy alcalino.

Los suelos de la Serie Xico son profundos, planos, de texturas medias, colores oscuros, presencia de conchas en el perfil, pH muy alcalino y la presencia de horizontes orgánicos enterrados.

Los suelos de ambas series son utilizados principalmente para la producción de remolacha y en las zonas cercanas a Chalco para el cultivo de maíz tanto de riego como de temporal. Los altos niveles de salinidad y de sodicidad son las principales limitantes para la producción agrícola. Sin embargo, según Ortiz y Cuanalo (1976), con la introducción de algunos pastos se podrían utilizar estos suelos con fines ganaderos.

MIXQUIC TETELCO. La constituyen suelos de ladera y planicies adyacentes, cuyas características físicas son variables, representa aproximadamente el 10 % de la Subcuenca de Chalco y se localiza al Suroeste del municipio.

El 50 % de la superficie está representada por los suelos de la Serie Mixquic, un 40 % por suelos de la Serie Tetelco y un 10 % por los suelos de la Serie Tecomitl. Los suelos de la Serie Mixquic son de reacción ácida, con altos contenidos de materia orgánica, profundos en algunas partes y con horizontes orgánicos enterra-

dos, también los hay someros, debajo de los cuales sobreyacen rocas basálticas, sus texturas son medias y colores pardos grisáceos muy oscuros, su principal uso es la producción de hortalizas y en menor cantidad maíz de riego y temporal.

Los suelos de la Serie Tetelco son profundos de color pardo oscuro en húmedo, de texturas medias a gruesas, pH extremadamente alcalino y depositaciones superficiales de materiales gruesos, donde se produce principalmente maíz de temporal con un bajo rendimiento también se produce, aunque en menor cantidad, maíz y alfalfa de riego. Los suelos de la Serie Tecomitl son someros, de texturas gruesas y limitados por un estrato fuertemente endurecido, su uso es agrícola principalmente para la producción de maíz de temporal, en donde también se obtienen bajos rendimientos.

HUITZILZINGO-SAN MATEO. Cubre aproximadamente un 6 % de la Subcuenca de Chalco, se localizan al Suroeste y comprende suelos profundos, de texturas medias y gruesas, colores pardos en varias tonalidades, se localizan en terrenos planos.

El 70 % de esta asociación está constituida por suelos de la Serie Huitzilzingo, que presentan texturas medias, colores pardos oscuros hasta un metro de profundidad, después se encuentra una capa de color negro rica en materia orgánica, en su lugar existe una discontinuidad litológica, los cultivos principales son; maíz de temporal y en menor importancia maíz y alfalfa de riego.

La Serie San Mateo ocupa el 18 % de la superficie, se distingue por tener suelos profundos, colores pardos oscuros, su textura varía de migajón arenoso a migajón limoso a medida que aumenta la profundidad, los cultivos principales son maíz y alfalfa, tanto de temporal como de riego dominando el de temporal.

La Serie Tlapala representa el 12 % de la asociación, estos suelos presentan poca diferenciación de horizontes, texturas medias, color superficial pardo oscuro, con un alto contenido de sales y un pH alcalino. En estos suelos se cultiva principalmente alfalfa y maíz de temporal y de riego con bajo rendimiento por las altas cantidades de sales y una elevada conductividad eléctrica.

ZULA-ACATIZHUYAN. Representa un 22 % de la subcuenca y la constituyen suelos planos, profundos y arenosos ya sea en las capas superficiales o en todo el perfil y se ubican en el centro sur del Municipio de Chalco.

El 45 % de los suelos de esta asociación está constituida por la Serie Zula, los cuales son suelos profundos, de textura gruesa, colores que varían con la profundidad de pardo grisáceo muy oscuro a pardo oscuro, se presenta además una discontinuidad litológica.

El 30 % de la asociación está representada por la Serie Acatizhuayan, son suelos profundos, con un perfil poco diferenciado color pardo oscuro y de texturas migajones arenosos. Otra serie importante en estos suelos es la Serie Santa Cruz con un 13 % de la asociación, son suelos muy arenosos, color pardo grisáceo hasta un metro de profundidad, conforme aumenta ésta, los colores son grises muy oscuros.

Serie Cocotitlán, estos suelos constituyen un 10 % de la asociación, presentan una capa superficial muy arenosa, de color pardo oscuro, bajo la cual subyace una capa de textura migajón limoso de color pardo amarillento. Por último, los suelos de la Serie Temamatla representan un 2 % de la asociación, presentan una profundidad media, texturas gruesas superficialmente cambiando con la profundidad y se encuentran generalmente limitados por tepetates.

En la mayor parte de la asociación se cultiva maíz de temporal y raramente de riego; también se cultiva alfalfa de temporal y de riego, siendo las texturas arenosas las principales limitantes para la producción agrícola de temporal (Ortiz y Cuanalo, 1976).

CUAHUTZINGO-TLAPALA TEMAMATLA. Son suelos con ligeras pendientes, sus colores superficiales presentan tonalidades pardas, texturas medias. Ocupa aproximadamente el 12 % de la Subcuenca de Chalco y se localiza al Este y al Sur del municipio.

El 40 % de esta asociación se representa por suelos de la Serie Cuahutzingo, caracterizados por presentar texturas medias, colores de pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro, profundos en algunas partes, en otras presentan una profundidad media limitada por tepetates, con diversos grados de erosión. Otra serie es la denominada Tlapala con un 30 % aproximadamente de la superficie de esta asociación y se distingue por presentar un perfil con poca diferenciación de horizontes, texturas medias, generalmente profundos y colores pardos oscuros.

La Serie Temamatla ocupa un 25 % de la asociación y presenta texturas medias en todo el perfil, aunque en la superficie varían de gruesas a finas y sus colores también varían de pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro. Por último la Serie Cocotitlán ocupa un 5% de los suelos de esta asociación y presentan texturas medias, color pardo amarillento y una profundidad generalmente media. Los suelos de ambas series son los que presentan la mayor producción de la Subcuenca de Chalco, donde se cultiva maíz y alfalfa principalmente, tanto de riego como de temporal (Ortiz y Cuanalo, 1976).

CANUITILLO-HUXTOCO. La constituyen suelos con ligeras pendientes, texturas finas, colores pardos con varias tonalidades, una profun-

didad media y un perfil con poca diferenciación de horizontes. Cubre alrededor de un 8 % de la Subcuenca y se localiza al Noreste del municipio.

La Serie Canutillo es la más grande, pues representa alrededor del 60 %, presenta un perfil tipo con poca diferenciación de horizontes, texturas finas en la superficie, color pardo grisáceo muy oscuro, profundos, en partes presentan erosión severa.

La Serie Huxtoco ocupa un 20 % de la asociación, se caracteriza por presentar texturas finas en la superficie, color pardo oscuro y la presencia de una capa endurecida después de los 60 cm de profundidad. Los suelos de la Serie San Marcos ocupan un 10 % de la asociación y presentan un perfil con poca diferenciación de horizontes, texturas medias a gruesas, con varias capas de deposición de arena de color uniforme pardo grisáceo muy oscuro. Por último, los suelos de la Serie Tlapala, representan el 10 % de la asociación y presentan texturas finas en la superficie y con un perfil con poca diferenciación de horizontes. En los suelos de esta asociación la producción es de maíz y alfalfa principalmente.

VARIANTE SANTA CRUZ-TERRENOS ESCARPADOS. Es la de menor importancia en la Subcuenca de Chalco, pues ocupa solamente el 2 % de ésta, el 70 % de la asociación la representa el Cerro de Xico y el 30 % el Cerro de Tlapacoya. Sobre el Cerro de Xico se encuentran suelos que constituyen la Variante Santa Cruz; son suelos con texturas muy gruesas y de color pardo oscuro, su uso es la producción de maíz de temporal, el Cerro de Tlapacoya es muy escarpado y su uso no es agrícola.

3.7 VEGETACION

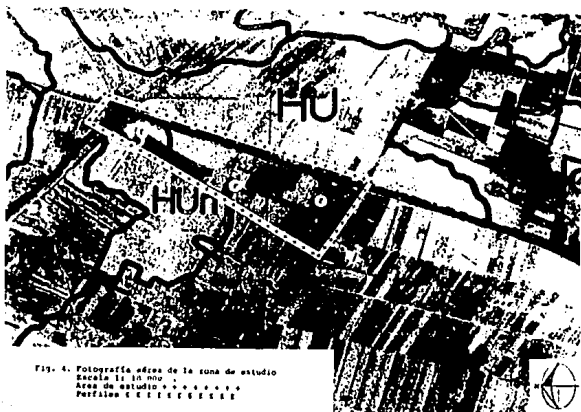
La vegetación de la Cuenca de México es muy variada, sin embargo, en la Subcuenca de Chalco es más escasa, encontrándose en las regiones planas a los márgenes de los ríos Amecameca y de La Compañía a las siguientes especies: Salix babilónica, Salix hamplandiana, Salix lesiolepis, Salix paradoxa, Pinus montezumae, Pinus leicophylla, Pinus patula, Pinus teocote, Cedrella, Schinus malle, Eucalyptus globulus, Buddleja humholdtiana, Buddleja americana, Buddleja lanceolata, Buddleja microphylla, Buddleja sessiliflora.

En la región montañosa abundan: Alnus arquta, Alnus firmifolia, Alnus jurullensis, Quercus, Crassipes, Quercus affinis, Quercus aveolata, Quercus bourgaei, Quercus castanea, Quercus centralis, Quercus lanceolata, Quercus lauriana, Quercus rugosa, Pinus teocote, Pinus patula, Pinus montezumae, Pinus leicophylla, Crataegus mexicana, Prunus, Opuntia robusta, Opuntia atrentocantha y Agave atrovirens (Laurrabaquio, 1965; Rzedouski, 1978 y Sánchez, 1988).

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 RECOPILOCIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA

El área de estudio se encuentra ubicada en el Municipio de Chalco, en el Rancho San Francisco que pertenece a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (F.M.V.Z), tiene una superficie de 50 Has (Figura 4).

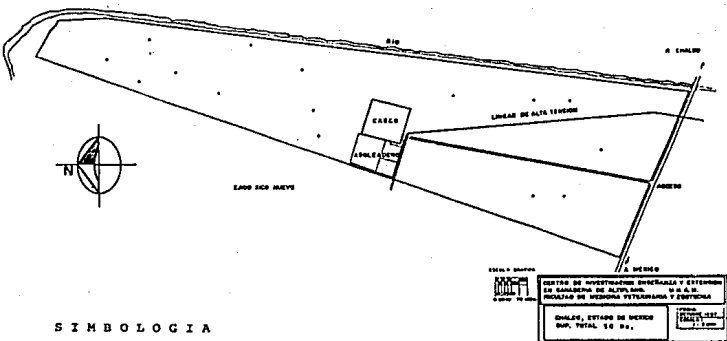


Esta zona se seleccionó después de haber efectuado varios recorridos, durante los cuales se observaron problemas de salinidad. EL tipo de muestreo que se utilizó fue dirigido, ya que en el área mencionada el afloramiento de las sales era evidente en varios sitios, por lo cual este criterio se tomó como base para el muestreo.

4.2 TRABAJO DE CAMPO

Para la investigación del problema se ubicaron tres sitios en un transecto, que corresponden a tres perfiles (Figura 4), con el objetivo de observar el comportamiento dinámico de las propiedades físicas y químicas, así como la génesis y clasificación del perfil. Como apoyo a los resultados obtenidos de los perfiles, se tomó en cuenta la información aportada por una asequía realizada con fines de recuperación y/o drenaje con una profundidad que varía de dos a tres metros, en la que se observa claramente la presencia de una capa impermeable.

Se colectaron 21 muestras en los tres perfiles, las cuales corresponden a una por cada horizonte. Se tomaron además siete muestras superficiales de 0-40 cm con fines exclusivamente de salinidad y cuatro muestras compuestas a profundidades de 0-20 y 20-40 cm, obteniéndose ocho en total con fines de fertilidad. Las muestras compuestas fueron colectadas en zig-zag cubriendo la extensión del rancho, como lo menciona Jackson (1965), para análisis de fertilidad. Las muestras de salinidad se tomaron en los sitios probables de tener los problemas mencionados (Figura 4a).



SIMBOLOGIA

- + = PERFILES
- * = SALINIDAD
- = MUESTRAS COMPUESTAS PARA FERTILIDAD

Fig. 4a. Localización de los sitios de muestreo

4.3 TRABAJO DE LABORATORIO

Las 36 muestras obtenidas tanto de los perfiles como las superficiales (F) y (S), fueron secadas a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron en una malla de 2 mm de diámetro. Por último se les practicaron los análisis físicos y químicos correspondientes, mediante las siguientes técnicas:

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

Densidad aparente: se obtuvo por medio de la probeta (Baver y Gardner, 1980).

Densidad real: se analizó por el método del picnómetro mencionado por Gavande (1982).

Porosidad: se determinó mediante la relación calculada por la densidad real y la aparente (Duchaufour, 1977).

Permeabilidad: se calculó mediante el movimiento del agua en el suelo como lo recomienda Reeve (1965).

Textura: se obtuvo por el método de la pipeta (Black, 1969).

Conductividad eléctrica: se determinó en el extracto de la pasta saturada, en un puente de conductividad Philips modelo 9601 (Richards, 1962)

Actividad de los iones hidrógeno: se analizó en una suspensión suelo-agua a una relación 1:2.5, utilizando un potenciómetro Corning modelo 10.

Bases intercambiables (Ca^{2+} y Mg^{2+}): se determinaron en el extracto obtenido por percolación con acetato de amonio 1 N pH 7 y la cuantificación por titulación con EDTA (Jackson, 1966).

Los cationes Na^+ y K^+ , se analizaron en el extracto anterior por flamometría en un flamómetro Corning modelo 400.

Capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T): se determinó por percolación saturando el suelo con acetato de amonio 1 N pH 7, eliminando el exceso con alcohol etílico, destilando el NH_4 por Kjeldahl y una titulación con ácido sulfúrico valorado (Jackson, 1966).

Materia orgánica: se analizó por el método de Walkley y Black (Black, 1969).

Fósforo asimilable: se cuantificó por el método Olsen (López, 1970).

Cationes solubles (Ca^{2+} y Mg^{2+}): se analizaron en el extracto de la pasta de saturación y la cuantificación por titulación con E.D.T.A. como lo menciona Richards (1962).

Sodio y potasio solubles: se analizaron en el mismo extracto por flamometría en un flamómetro Corning modelo 400 (Richards, 1962).

Carbonatos solubles: se determinaron en el extracto de la pasta saturada, utilizando como indicador fenolftaleína y una titulación con ácido sulfúrico valorado.

Bicarbonatos: se analizaron en el extracto anterior por titulación con ácido sulfúrico valorado utilizando anaranjado de metilo como indicador (Richards, 1965 y Jackson, 1966)

Cloruros: se cuantificaron en el extracto de la pasta de saturación, utilizando cromato de potasio al 5 % y titulando con nitrato de plata 0.005 N (Richards, 1962), y

Sulfatos: se determinaron por precipitación con cloruro de bario (BaCl_2) como lo recomienda Richards (1962).

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 DIAGNOSIS DE LOS PERFILES ESTUDIADOS

Todos los suelos estudiados se caracterizan por su extrema juventud y su horizontalización incipiente, en general son suelos derivados de materiales piroclásticos, producto del vulcanismo intenso durante el Holoceno. Estos materiales se caracterizan también por presentar en general texturas gruesas.

En el caso del Perfil 1 se trata de un suelo de origen volcánico que sobreyace a capas lacustres, este suelo presenta una distribución espacial, la que podría considerarse como una depresión con pendientes muy suaves, esto se infiere debido a las mediciones topográficas realizadas en campo.

Este perfil carece de esqueleto y se caracteriza por presentar un horizonte A Ocríco moderadamente desarrollado y un horizonte B Estructural, que difícilmente se considera Cámbico.

5.1.1 Perfil 1

Horizonte A u. Se caracteriza por presentar un color en seco pardo pálido y un color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro, su espesor promedio es de 40 cm, presentando una separación gradual e irregular, con el horizonte que le sobreyace. No presenta reacción al HCl ni a la fenolftaleína y se caracteriza por presentar pedos de consistencia blanda en seco y friable en húmedo, ligeramente adhesivo y con plasticidad casi nula, de forma subangular, de tamaño fino y medio y desarrollo moderado. El ped muestra una porosi-

dad moderada y por su constitución se clasifica como finamente poroso y poroso. No presenta grietas ni fisuras y en general carece de estructuras edafogenéticas diagnósticas como serían partículas de arcilla y facetas de presión-fricción. Su densidad de raíces es muy escasa y varía de 4 a 20 raíces finas por cada 10 dm².

Horizonte A₁₂. Este horizonte muestra colores pardo pálido en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. Su espesor promedio es de 25 cm y básicamente no difiere del Horizonte A₁₁ en sus características morfológicas, con excepción de la estructura, que en este caso es predominantemente angular. Su transición con el Horizonte (B₁) es gradual e irregular.

Horizonte (B₁). Los colores que presenta este horizonte son pardo pálido en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. Su espesor promedio es de 25 cm y su separación con el Horizonte (B₂) es difusa e irregular, los pedos son de consistencia ligeramente dura en seco, aunque friables en húmedo, su adhesividad y plasticidad son ligeras, ocasionalmente en este horizonte se observan gravas de tamaño fino subredondeadas y en cantidad muy escasa. La naturaleza de estas gravas es volcánica y generalmente predominan materiales basálticos. La estructura de los pedos en este horizonte es predominantemente en bloques angulares de tamaños finos y con menor frecuencia medios, su desarrollo varía de moderado a fuerte, su porosidad es también moderada, presentándose concreciones finas de carbonato de calcio en cantidad muy escasa, de forma irregular blandos y dispersos.

En algunos pedos se presentan nódulos de manganeso en cantidad muy escasa, así como un moteado abundante de color ocre y rojizo. Estas manchas son de tamaño pequeño e incluso medianas que contrag

tan con la matriz del suelo, siendo sus bordes abruptos. Las edafestructuras más características en este horizonte son las facetas de presión y de fricción, estas estructuras se presentan en cantidad moderada. No existen raíces en este horizonte y en general presentan los pedos una reacción moderada al HCl y nula a la fenolftaleína.

Horizonte (B₂). Muestra colores pardo amarillento claro en seco y pardo oscuro en húmedo, su espesor promedio es de 70 cm. Tiene una separación gradual e irregular con el Horizonte C. Los pedos son moderadamente adhesivos en húmedo y ligeramente plásticos, la estructura del terrón es angular de tamaño fino y medio, con desarrollo que varía de moderado a fuerte, su porosidad es escasa, en ocasiones muy escasa y de constitución muy finamente porosa. Se observa agrietamiento y fisuramiento en este horizonte y es frecuente la presencia de algunos cristales de sal y de yeso, además de concreciones de carbonato de calcio. Resulta importante mencionar la presencia de algunos nódulos de manganeso los cuales son pequeños, de forma esférica, blandos y distribuidos de modo disperso en todo el horizonte. La presencia de manchas de color ocre y rojizo es abundante, estas manchas en general son de tamaño mediano (5-15 mm) y de contraste, destacando sobre la matriz del suelo. Sus bordes en general varían de claros a abruptos. En este horizonte se presentan además películas arcillosas, de distribución zonal, delgadas y con una ubicación predominantemente vertical, la presencia de facetas de presión-fricción es frecuente. En general este horizonte no reacciona al HCl ni a la fenolftaleína y sus propiedades más diagnósticas se resumen en tres características: (a) evidencias de hidromorfismo y anaerobiosis muy fuertes, (b) compac

tación discontinua que varía de ligera a moderada y (c) presencia de salinidad y/o sodicidad.

Horizonte C. Muestra colores en pardo amarillento claro en seco y pardo muy oscuro en húmedo, su espesor promedio es de 40 cm, su separación con el horizonte que le sobreyace es abrupta y casi plana no es adhesivo ni plástico, la estructura del terrón tiende a la forma subangular; de tamaño predominantemente fino y secundariamente medio, con desarrollo que varía de débil a moderado, su porosidad es escasa, de constitución finamente poroso, se observan un gran número de poros sellados por la presencia de algunos limos y arcillas, lo que ocasiona una reducción del drenaje interno. No existe agrietamiento y el fisuramiento resulta esporádico en este horizonte, es frecuente la presencia de algunos cristales de sodio calcio y yeso; su textura al tacto es predominantemente limoso lo que supone un mal drenaje en este horizonte, no obstante el moteado es esporádico y está constituido por manchas similares a las descritas para el Horizonte Bz, aunque se presentan en menor cantidad. No se observa la presencia de edafoestructuras (películas arcillosas y facetas), su reacción al HCl es muy ligera y con frecuencia nula; su reacción a la fenolftaleína es evidente, aunque esto se debe principalmente a la alta alcalinidad que este horizonte presenta más que a los contenidos de alofanos.

Como en el caso del Horizonte Bz, se muestran evidencias de hidromorfismo, compactación y presencia de salinidad y/o sodicidad.

Horizonte II C. Esta capa presumiblemente fue un horizonte agílico bien desarrollado, formado bajo condiciones paleoecológicas estables. Su origen es debido a la alteración de materiales principalmente lacustres y se caracteriza actualmente por presentar colg

res pardo en seco y pardo muy oscuro en húmedo, su espesor promedio es de 28 cm y constituye una capa coherente y continua en toda la zona de estudio, aunque su profundidad es muy variable (a más de 2.5 m) debido a la presencia de capas de origen volcánico, de diferentes espesores que la han sepultado.

En húmedo los pedos son adhesivos y plásticos, su estructura es frecuentemente columnar y en ocasiones prismática de tamaño grueso y secundariamente moderado, con desarrollo fuerte. Su porosidad es muy escasa, predominando los poros finos, los cuales en su mayoría están ocluidos por la presencia de limos, sales, películas de manganeso, materiales orgánicos y películas arcillosas. Se observan agrietamientos y fisuras muy evidentes, lo cual incrementa el aspecto columnar y prismático. En los planos de unión de las grietas se observan películas de complejos organominerales migrados de los horizontes superiores. Estos complejos constituyen una costra en ocasiones hasta de 1 mm de espesor sobre el ped.

La matriz del ped muestra fuertes evidencias de migraciones arcillosas de carbonatos y de sales, así como restos de materiales orgánicos (probablemente raicillas muy alteradas). Las evidencias de hidromorfismo, anaerobiosis, compactación, salinidad y sodicidad son muy marcadas, de hecho, es factible suponer dada la estructura prismática que este horizonte constituía parte de un Solonetz. No muestra reacción al HCl, aunque presenta una reacción moderada a la fenolftaleína debido probablemente, como en el horizonte que la sobreyace a la presencia de una fuerte alcalinidad.

Este horizonte resulta muy importante, debido a que impide casi totalmente el paso de agua por drenaje de las capas u horizontes que la sobreyacen, incrementando con esto el riesgo a la salin-

nidad y/o sodicidad en estos suelos, ya que las sales que provienen del agua de riego, de los fertilizantes o del propio ciclo natural, tienden a acumularse sobre esta capa y en época de sequía tienden a subir hasta próximo a la capa arable. Por otra parte esta capa propicia condiciones de anaerobiosis e hidromorfismo severos principalmente en el horizonte C y (Bz) que la sobreyacen. Estas condiciones de anaerobiosis e hidromorfismo, además de afectar las propiedades físicas del suelo, el intercambio de gases (suelo-aire) la flora y la fauna microbiana, afectan también la disponibilidad de los micronutrientes (Mn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} y Zn^{2+} entre otros) y además el propio ciclo del nitrógeno.

Ocasionalmente esta capa puede representar además un problema muy serio para la realización de obras de infraestructura dadas sus características físicas y mecánicas, principalmente por su tendencia a la colapsabilidad.

Estos suelos han sido reportados por Ortiz y Cuanalo en las series Huitzilcingo, San Mateo y las asociaciones Ayotla-Xico y Zula Acatzihuayan.

5.1.2 Perfil 2

Horizonte A. Este horizonte se caracteriza por presentar colores pardo pálido en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, su espesor promedio es de 20 cm y su separación con el horizonte que lo subyace es abrupta. No presenta reacción al HCl ni a la fenoltaleína. Presenta una compactación extrema y una textura franca, los pedos son friables en húmedo y duros en seco, de desarrollo moderado, poroso, carece de estructuras edafogenéticas con una densidad de raíces escasa.

Horizonte (B). Presenta colores pardo pálido en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, su espesor promedio es de 35 cm, sin reacción al HCl ni a la fenolftaleína, tiene una estructura que rompe en bloques angulares, duros y moderadamente friables, porosidad reducida constituida por poros finos y espacios vacuolares. Presenta una compactación extrema que impide el paso de raíces y además dificulta el paso del agua. Muestra una separación abrupta y plana con el horizonte que lo subyace.

Horizonte (Bz). Los colores que presenta son pardo amarillento claro en seco y pardo oscuro en húmedo, con un espesor promedio de 35 cm y de estructura predominantemente angular, de tamaño fino y medio, pobremente poroso, débilmente aireado, que muestra hidromorfismo moderado, representado principalmente por un moteado ocre (materia orgánica, palagonita, hierro ferroso). No presenta reacciones ni al HCl ni a la fenolftaleína, muestra una transición clara aunque irregular con el horizonte que lo subyace.

Horizonte BC. Los colores que presenta son pardo pálido en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, su espesor promedio es de 32 cm, muestra compactación fuerte e hidromorfismo moderado, estructura masiva que rompe en bloques angulares y subangulares y no presenta reacción al HCl ni a la fenolftaleína.

Capa C 1. Capa de arena, su espesor promedio es de 8 cm, y está constituida predominantemente por materiales piroclásticos gruesos, retrabajados, débilmente alterados, también por gravas y guijarros de naturaleza ígnea, principalmente andesitas y basaltos.

Capa C 2. Los colores que presenta son pardo pálido en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, su espesor promedio es de 70 cm, está constituido por materiales piroclásticos del tamaño de

las arenas muy finas y limos. Presenta compactación moderada, presencia de pseudogley e hidromorfismo que propicia condiciones de reducción muy marcadas, moteado ocre abundante y fino, espacios porosos de tipo caverna, producidos probablemente por el efecto del sodio en las arcillas (sufocación), contacto plano y claro con el horizonte subyacente.

Capa C 3. Presenta colores gris en seco y gris oscuro en húmedo, espesor indeterminado constituido por materiales de naturaleza andesítica predominantemente arenoso. Muestra características de una toba moderadamente consolidada.

5.1.3 Perfil 3

Horizonte Ap. Los colores que se presentan en este horizonte son pardo grisáceo en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, con un espesor promedio de 50 cm, de textura gruesa con estructura débil generalmente de bloques subangulares de tamaño fino y medio y de desarrollo muy limitado. No adhesivos ni plásticos, poroso y con escaso desarrollo, de límite claro e irregular con el horizonte que le subyace.

Horizonte (B). Presenta colores pardo grisáceo en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo su espesor promedio es de 30 cm con presencia de pedrs de forma angular y subangular débilmente desarrollados, friables en seco y en húmedo, muy porosos y se observa una ligera migración de carbonatos y una migración escasa de arcillas, de contacto duro e irregular con la capa que le subyace.

Capa 1. Esta capa presenta colores pardo grisáceo en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, su espesor promedio es de 20 cm, constituido por piroclásticos gruesos (lapilli), con alta

densidad de raíces, muy poroso y sin estructura, contacto abrupto y plano con la capa que le subyace.

Capa 2. De color gris en seco y gris muy oscuro en húmedo, su espesor es de 15 cm y no tiene estructura, sin elementos edafogénicos, de textura gruesa, suelta en seco y húmedo, sin raíces, de contacto abrupto y plano con la capa que le subyace.

Capa 3. Esta capa presenta colores pardo grisáceo en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, con espesor de 15 cm, sin estructura, suelto, de textura media y con tendencia a consolidarse, drenaje ligeramente impedido, moteado y condiciones de hidromorfismo, contacto abrupto y plano con la capa que le subyace.

Capa 4. Presenta color gris en seco y gris muy oscuro en húmedo, de espesor promedio de 30 cm, de textura gruesa y sin estructura, presenta drenaje lateral y oblicuo con escasa alteración de los minerales primarios.

Capa 5. Esta capa presenta colores pardo pálido en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, con un espesor promedio de 40 cm, de textura media y sin estructura, friable en seco y en húmedo. Ligeramente compactado, constituido por material piroclástico, en el que predominan los minerales primarios casi sin alteración, sobreyace a una capa que muestra evidencias claras de hidromorfismo.

5.1.4. Clasificación de los suelos por su capacidad de uso.

De acuerdo con las observaciones realizadas en campo y las descripciones de los perfiles, los suelos del Rancho de San Francisco se clasifican para su capacidad de uso, según el sistema propuesto por Kleimgebiel y Montgomery (1962), utilizado por Cuanalo y Ortiz (1976), en tres categorías; clase, subclase y unidad.

La clase agrupa suelos que tienen un número similar y el mismo grado de limitaciones, en este sistema existen ocho clases, las cuales se representan con números romanos, las primeras cuatro clases agrupan suelos adecuados para el uso agrícola y las demás se utilizan para la vegetación perenne. Las limitaciones son crecientes de la I a la VIII.

La subclase agrupa suelos de una misma clase pero con factores limitantes que son semejantes, representados por letras minúsculas, siendo los factores limitantes cuatro: erosión (e), exceso de agua (h), limitaciones de la zona radicular (s), y limitaciones climáticas (c). La subclase se representa por la letra del factor limitante escrita después del número romano.

La unidad se representa por un número arábigo después del símbolo de la subclase y agrupa a los suelos aptos para los mismos cultivos o pastos que requieren de sistemas de manejo similares.

5.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PERFILES 1, 2 Y 3 Y MUESTRAS DE FERTILIDAD Y DE SALINIDAD.

5.2.1 Color

En el Perfil 1, el color dominante en húmedo fue pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) y en seco predominó el color pardo pálido (10YR 6/3). En el Perfil 2, el color predominante en húmedo fue pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), mientras que en seco dominó el pardo pálido (10YR 6/3). Y para el Perfil 3, los colores en húmedo variaron de pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) a gris muy oscuro (10YR 3/1), en seco dominó el color pardo grisáceo (10YR 6/2) (Tabla 1).

En las muestras obtenidas para fertilidad, el color dominante en húmedo fue pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) y en seco variaron de pardo grisáceo (10YR 6/2) a pardo pálido (10YR 6/3). Y para las muestras de salinidad el color dominante en húmedo fue pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) y en seco predominó el pardo pálido (10YR 6/3) (Tabla 2).

Según Millar y Col. (1979), los colores oscuros se deben fundamentalmente a la materia orgánica en descomposición, pero en el caso de los suelos salinos-sódicos, los colores oscuros se deben a los problemas de salinidad y principalmente al Na^+ intercambiable y a un drenaje deficiente.

5.2.2 Densidad aparente

En el Perfil 1 esta variable osciló de 1.23 a 0.72 g/cm^3 con una media de 1.02 g/cm^3 , en el Perfil 2 la densidad fluctuó de 1.36 a 0.89, con una media de 1.22 g/cm^3 y para el Perfil 3 este parámetro varió de 1.40 a 1.09 g/cm^3 con un promedio de 1.25 g/cm^3 . Como se puede observar en las Tablas 1 y 5, la densidad disminuye conforme aumenta la profundidad, esto se debe a que el diámetro de las partículas disminuye aumentando con ello el espacio poroso del suelo y aumentando también la retención de humedad (Tablas 1 y 5). Este factor está en estrecha relación con la textura del suelo, ya que conforme disminuye la densidad, las texturas son más finas y con ello aumenta el espacio poroso en el suelo, esto influye directamente en una mayor retención de humedad (Buckman y Brady, 1979).

En las muestras superficiales que se recolectaron con fines de fertilidad y salinidad la densidad aparente fue más homogénea, ya que en las muestras de fertilidad los valores fluctuaron de

1.45 a 1.13 con una media de 1.32 g/cm³, y para las muestras de salinidad los valores fluctuaron de 1.49 a 1.20 y con un valor promedio de 1.32 g/cm³ para las 15 muestras superficiales. Como se observa en las tablas 2 y 5 las densidades aparentes son muy homogéneas, ya que las labores de cultivo frecuentemente remueven la capa arable homogenizando los primeros 40 cm de profundidad.

5.2.3 Densidad real

En el Perfil 1 fluctuó de 2.60 a 2.22 con un promedio de 2.43 g/cm³; en el Perfil 2 varió de 2.58 a 2.36 con un promedio de 2.49 g/cm³ y para el Perfil 3, fue de 2.63 a 2.44 siendo el promedio de 2.55 g/cm³ (Tabla 1). EL promedio de la densidad real para las 21 muestras de los 3 perfiles es de 2.30 g/cm³ como se observa en la Tabla 5, éste no se aleja mucho de los promedios de cada uno de los perfiles, lo cual indica, una homogeneidad en los tres perfiles en cuanto a este parámetro. Lo mismo que ocurre con la densidad aparente, ocurre con la densidad real, ya que ésta disminuye con la profundidad (Tablas 1 y 5).

Para las muestras de fertilidad y de salinidad los valores de la densidad real fluctuaron de 2.71 a 2.29 con valores promedio de 2.56 y 2.66 g/cm³ respectivamente, como se observa en las Tablas 2 y 5, la densidad real en las 15 muestras es homogénea. De acuerdo con Buckman y Brady (1979) las densidades reales en estos suelos son normales, ya que la media no rebasa el orden de 2.6 g/cm³.

5.2.4 Porosidad

Para los perfiles 1, 2 y 3 fluctuó de 68.55 a 49.58 %, 63.37 a 46.03 % y de 57.25 a 46.76 % respectivamente y los valores prome

dio fueron 58.47; 50.93 y 50.97 % respectivamente con una media de 53.10 % para las 21 muestras de los 3 perfiles (Tablas 2 y 5). Para las muestras de fertilidad y de salinidad los valores fluctuaron de 50.65 a 42.68 % y de 54.02 a 45.22 % con promedios de 48.56 % y de 50.16 % respectivamente y con una media de 49.30 % para las 15 muestras, tanto de fertilidad como de salinidad (Tablas 2 y 5). En general como se observa en las Tablas 1 y 5 la porosidad aumenta con la profundidad, pero si se avanza en el perfil a más de 2 m se presenta un horizonte argílico sepultado (mencionado por Cuauale y Ortiz, 1976) en las series descritas anteriormente, para la Subcuenca de Chalco, lo que impide el drenaje natural del suelo principalmente en los perfiles 1 y 2. Esto no se observó en el Perfil 3, pues no se llegó a este horizonte, lo cual indica que probablemente la zona de estudio está en el límite de transición entre la zona de origen lacustre y la de origen aluvial, descrita por García (1979) como laguna ribereña del mismo origen, y el horizonte argílico sepultado que se encontró en esta investigación es probablemente de origen lacustre.

Según Bear (1964), y Buckman y Brady (1977), la porosidad o espacio poroso es importante en la agricultura ya que ésta se refiere a la porción del suelo ocupada por aire y agua. Como las texturas de los suelos del Rancho San Francisco en general son gruesas el espacio de microporos es bajo, pero a medida que aumenta la profundidad en los tres horizontes aumenta el porcentaje de microporos, y por consiguiente la retención de humedad es alta con respecto a la parte superficial. En las muestras de fertilidad y de salinidad generalmente las texturas son gruesas por lo que la retención de humedad es baja (Tabla 2).

5.2.5. Permeabilidad.

En los perfiles 1, 2 y 3 varió según el Manual del Departamento de Agricultura de los E.U. (USDA, 1990), de moderada a lenta y muy lenta (Tabla 1), en las muestras superficiales de fertilidad y de salinidad fluctuó de moderada a lenta (Tablas 2 y 5).

Según Duchaufour (1977), la permeabilidad en los suelos está estrechamente relacionada con la textura, densidad y porosidad del suelo. La permeabilidad en el Perfil 1 disminuye con la profundidad (Tabla 1 y Figura 5), siendo moderada en los primeros horizontes y moderadamente lenta conforme aumenta la profundidad, hasta llegar a la capa impermeable antes mencionada, esto como consecuencia de la presencia del horizonte argílico enterrado, formado por materiales arcillo-limosos, sobre la cual se han depositado materiales aluviales y piroclásticos recientes (terciarios y cuaternarios) de texturas arenosas (Tabla 1).

Este horizonte argílico es posiblemente el responsable de los problemas de salinidad y sodicidad en la mayoría de los suelos de la Subcuenca de Chalco, ya que origina un movimiento ascendente por capilaridad del agua hacia las capas superficiales, misma que al evaporarse, produce la acumulación de sales en la superficie y se manifiesta en forma de costras blancas (Richards, 1985). En la zona de estudio estas costras se observan claramente en la parte norte, principalmente donde se localiza el Perfil 1 (Figura 3). Para el Perfil 2 la permeabilidad es muy baja e irregular conforme aumenta la profundidad a excepción de la capa que se encuentra a 2 m, misma que está constituida por una arena migajosa de permeabilidad moderada, sin embargo, el subsuelo está formado por una capa

de material migajón arcilloso, la cual da una permeabilidad lenta (Tabla 1 y Figura 6). La permeabilidad en el Perfil 3 es más irregular, pero en general, aumenta con la profundidad hasta llegar a la capa de 160-200 cm y al subsuelo, en donde se incrementan los limos y las arcillas originando una permeabilidad moderadamente lenta (Tabla 1 y Figura 8).

5.2.6 Textura

En las capas superficiales del Perfil 1 es migajón arenoso con una capa intermedia de 40 cm de espesor de textura franca; como aumentan los contenidos de limos y arcillas conforme aumenta la profundidad, se originan texturas migajón arenoso, migajón arcillo-limoso y arcillo-limoso, esta última capa es la que causa problemas de permeabilidad (Tabla 1, Figuras 5 y 8).

El Perfil 2 texturalmente es semejante al perfil anterior en los horizontes superficiales, sin embargo, en los siguientes horizontes, se presenta una disminución del contenido de arcillas y aumento de limos a excepción de la última capa (más de 2 m), donde se presentan texturas de arena migajosa. En el subsuelo dominan los limos y las arcillas, formándose texturas migajón arcillo-limoso, dando origen a la capa impermeable probablemente de la misma manera que en el perfil 1 (Tabla 1, Figuras 6 y 8).

En el Perfil 3, los primeros horizontes presentaron texturas migajón arenoso, arena migajosa, migajón arenoso y arena migajosa respectivamente, pero en la profundidad de 115-130 cm el porcentaje de arena disminuye drásticamente, mientras que el porcentaje de limo aumenta notablemente. La arcilla registró un ligero aumento dando origen a una textura migajón limosa y con ello disminuye la per-

meabilidad en este perfil y en esta capa, a éste le sigue un horizonte de textura arenosa y otros francos. En este perfil no se encuentra el horizonte argílico y por consiguiente hay una mejora en la permeabilidad (Tabla 1, Figuras 7 y 8).

En las muestras superficiales tanto de fertilidad (F) como de salinidad (S), dominan las texturas con un porcentaje alto de arena, a excepción de las muestras F₂ y S₂, donde se presentó un equilibrio entre los porcentajes de arena, limo y arcilla originando texturas francas (Tabla 2).

Las texturas encontradas en esta investigación coinciden con las reportadas por Cuanalo y Ortiz (1976), para la Subcuenca de Chalco, donde mencionan que éstas son gruesas en los horizontes superficiales y disminuyen con la profundidad, llegando a ser arcillosas a más de 2 m de profundidad, principalmente en los suelos correspondientes al antiguo Lago de Chalco, donde se presentan fuertes problemas de salinidad y sodicidad.

5.2.7 Conductividad eléctrica

En los perfiles 1, 2 y 3 varió de 26.00 a 2.85, de 6.10 a 0.88 y de 2.30 a 0.54 mmhos/cm, con valores promedio de 8.54, 3.20 y 1.29 mmhos/cm respectivamente y un promedio general para las 21 muestras de los tres perfiles de 4.0 milimhos/cm (Tablas 1 y 5). Como se puede observar en la Tabla 1 y la Figura 9, los valores de la conductividad eléctrica disminuyen con la profundidad, notándose un aumento considerable en el subsuelo por la presencia de la capa arcillosa impermeable anteriormente mencionada (horizonte argílico sepultado).

De acuerdo con Moreno (1970) los suelos del Perfil 1, se cla-

sifican de extremadamente salinos a ligeramente salinos, debido a que la conductividad eléctrica disminuye a medida que aumenta la profundidad coincidiendo con los valores reportados por Cuanalo y Ortiz (1976), para los suelos de las Series Huitzilzingo, San Mateo y con las Asociaciones Ayotla-Xico y Zula Acatzihuayan. Sin embargo, la media de la conductividad eléctrica para todo el perfil permite clasificarlo como fuertemente salino, según Moreno (1970).

En el Perfil 2 los valores de las conductividades descienden notablemente con respecto al Perfil 1, por lo cual se cree que a esta altura los suelos ya no corresponden al actualmente desecado Lago de Chalco. Los valores de las conductividades coinciden con las mencionadas por Cuanalo y Ortiz (1976), para los suelos de las Series San Mateo y Zula, como se puede observar en la Tabla 1, la conductividad eléctrica aumenta con la profundidad a medida que las texturas son más finas (Figura 9).

De acuerdo con Moreno (1970) los suelos de este perfil se clasifican de medianamente salinos a suelos sin problemas de salinidad y según el valor promedio de la conductividad eléctrica del Perfil 2, estos suelos son ligeramente salinos (Tabla 5).

El Perfil 3 se aleja de los suelos que formaban el antiguo lago, ya que los valores de la conductividad eléctrica son en general bajos y homogéneos (Figura 9), de acuerdo con Richards (1985), son suelos sin problemas de salinidad, puesto que el valor más alto es 2.30 mmhos/cm y el valor promedio es 1.29 mmhos/cm (Tablas 1 y 5), y corresponden a los suelos de la Asociación Zula-Acatzihuayan descrita por Cuanalo y Ortiz (1976).

En las muestras superficiales de fertilidad (F) los valores fluctúan de 4.10 a 1.20 con una media de 2.23 mmhos/cm (Tablas 1 y

5) y de acuerdo con Moreno (1970) se clasifican como ligeramente salinos a excepción de la muestra F₂, en la capa superficial que se clasifica como medianamente salina (Tabla 2).

En las muestras de salinidad (S) los valores de las conductividades eléctricas variaron de 0.73 a 17.0 mmhos/cm con una media de 4.64 mmhos/cm (Tablas 2 y 5), esta media permite clasificarlas como medianamente salinas; sin embargo, como se observa en la Tabla 2, los valores de las muestras S₂ y S₃ indican que existen problemas de salinidad, y según estos valores se clasifican como extremadamente salinas y fuertemente salinas respectivamente.

5.3 PROPIEDADES QUIMICAS

5.3.1 Reacción del suelo (pH)

Desde el punto de vista agrícola la actividad de los iones hidrógeno es importante, ya que del pH depende en gran medida la solubilidad de los diversos nutrimentos y la facilidad con que los elementos nutritivos disueltos son absorbidos por las plantas (Teuscher, 1980).

En el Perfil 1 los valores de pH fluctuaron de 8.90 a 6.90 con una media de 8.2 (Tablas 3 y 5), por lo que varió de fuertemente alcalino a neutro, y según la media es medianamente alcalino. En el Perfil 2 fluctuó de 9.20 a 8.10 con una media de 8.8 (Tablas 3 y 5), por lo que se clasifica de medianamente alcalino a fuertemente alcalino, y según el valor promedio son suelos medianamente alcalinos, de la misma manera que en el Perfil 1.

En el perfil 3 los valores se detectaron de 8.60 a 7.80 con una media de 8.0 (Tablas 3 y 5) por lo que se clasifican de media-

namente alcalinos a fuertemente alcalinos y de acuerdo con el valor promedio son suelos medianamente alcalinos (Moreno, 1970).

Como se observa en la Tabla 3, los valores del pH en los tres perfiles muestran algunas diferencias, sin embargo, tomando en cuenta los promedios éstos mostraron una homogeneidad entre cada uno de los perfiles (Tablas 3, 5 y Figura 10).

En las muestras de fertilidad (F) los valores del pH oscilan de 8.60 a 7.60 con un promedio de 8.11 (Tablas 4 y 5) y según Moreno (1970) son suelos que fluctúan de fuertemente alcalinos a ligeramente alcalinos, pero tomando en cuenta la media se clasifican como medianamente alcalinos (Tablas 4 y 5). En las muestras de salinidad (S) el pH varió de 8.30 a 7.30 con una media de 8.16, por lo que de acuerdo con Moreno (1970) estos suelos están entre muy fuertemente alcalinos a muy ligeramente alcalinos y según el valor promedio son medianamente alcalinos (Tablas 4 y 5).

Respecto a este parámetro, si bien se analizan los valores de las muestras por separado, se observan algunas diferencias, pero existen más semejanzas, lo cual nos indica que respecto al pH, los suelos son homogéneos tanto para las muestras obtenidas de los distintos perfiles como para las superficiales (Figura 10).

Ortega (1978) menciona que en los suelos alcalinos son frecuentes las deficiencias de fósforo y los micronutrientes como Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} , pero se liberan con facilidad el molibdeno y el boro, por lo que en los suelos del Rancho San Francisco, lo más probable es que ocurra lo anteriormente mencionado.

5.3.2 Bases intercambiables

Calcio. El Ca^{2+} en los tres perfiles fluctúa de 6.00 a 17.50,

de 3.00 a 12.50 , de 3.00 a 16.00 meq/100 g con una media de 10.90, 7.87 y 7.78 meq/100 g, respectivamente, y un promedio general de 8.71 meq/100 g para las 21 muestras de los tres perfiles (Tablas 3 y 5). La distribución del Ca^{2+} en los perfiles 1 y 2 disminuye con la profundidad (Figuras 14 y 15), pero, a medida que aumenta la cantidad de arcillas y limo, la concentración de calcio aumenta, hasta llegar al subsuelo donde prácticamente el horizonte es impermeable incrementándose notablemente la concentración de calcio (Figuras 14 y 15). Para el Perfil 3 la distribución de calcio en la mayoría de los horizontes es uniforme a excepción del último horizonte y el subsuelo donde ocurre lo mismo que en los perfiles 1 y 2 (Tabla 3 y Figura 16).

En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) las cantidades de calcio fluctúan de 5.50 a 15.50 y de 5.00 a 14.40 meq/100 g y una media de 6.56 y 6.20 meq/100 g, respectivamente (Tablas 4 y 5). Los valores de Ca^{2+} en estas muestras son más heterogéneos que en los perfiles, ya que las muestras F y S son diferentes pues corresponden a distintos sitios.

En los suelos calcáreos el ión Ca^{2+} generalmente es mucho mayor que el Mg^{2+} , pero en estos suelos los valores promedio de calcio tanto en los perfiles como en las muestras F y S superan ligeramente al magnesio.

Magnesio. El Mg^{2+} en los perfiles 1, 2 y 3 varía de 6.45 a 20.89 de 2.45 a 10.89 y de 1.62 a 8.97 meq/100 g y los valores promedio fueron de 11.49, 8.29 y 5.76 meq/100 g, respectivamente (Tablas 3, 5). El promedio general fue de 8.23 meq/100 g, para las 21 muestras de los 3 perfiles, la distribución del Mg^{2+} en los tres perfiles de la misma manera que el Ca^{2+} depende de los porcentajes

tajes de limo y arcilla, de tal manera que, las concentraciones de este catión aumentan con la profundidad, a excepción de algunas capas intermedias donde los porcentajes de arena suben considerablemente (Figuras 14, 15 y 16).

En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los valores de Mg^{2+} intercambiable fluctúan de 3.45 a 12.40 y de 1.47 a 10.77 meq/100 g con una media de 6.56 y 6.20 meq/100 g, respectivamente y un valor promedio de 6.39 meq/100 g para las 15 muestras superficiales (Tablas 4 y 5). Como se puede observar en las Tablas 4 y 5 la distribución del Mg^{2+} al igual que el Ca^{2+} es muy heterogénea, ya que se trata de muestras distintas, y en ambos casos son ricas tanto en calcio como en magnesio.

Sodio. Las cantidades de Na^+ en los perfiles 1, 2 y 3, fluctúan de 4.56 a 9.24, de 0.77 a 11.95 y de 0.34 a 2.28 meq/100 g, con valores promedio de 6.26, 4.59 y 1.13 meq/100 g, respectivamente (Tablas 3 y 5), y un promedio general de 3.75 meq/100 g para las 21 muestras de los 3 perfiles. Si analizamos la media para las muestras referidas, los suelos se clasifican como sódicos, y al compararlos con la media de la conductividad eléctrica, los suelos además de ser salinos son sódicos, pero si se analiza perfil por perfil, la interpretación difiere, ya que en los perfiles 1, 2 y 3 los problemas de sodicidad disminuyen respectivamente hasta llegar al Perfil 3, en el cual el Na^+ intercambiable ocupa menos del 15 % de la capacidad de intercambio catiónico total y el pH es menor a 8.2 por lo cual, según Richards (1985), los suelos de este perfil se clasifican como normales, mientras que los perfiles 1 y 2, de acuerdo con este mismo autor, se clasifican como salinos-sódicos, y sódicos no salinos, respectivamente. Sin embargo, observando los

resultados de los análisis del segundo horizonte del Perfil 2, este además de ser sódico es salino (Tablas 3 y 5).

En los tres perfiles se presenta una distribución homogénea del Na^+ intercambiable y aumenta con la profundidad, este aumento está relacionado con las fracciones finas del suelo (arcillas y limos) (Figuras 14, 15 y 16).

En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los valores del Na^+ intercambiable varían de 0.78 a 2.33 y de 0.75 a 13.26 meq/100 g, con valores promedio de 1.58 y 3.10 meq/100 g, respectivamente, mientras que la media para las 15 muestras superficiales fue de 2.79 meq/100 g (Tablas 4 y 5). De acuerdo con Richards, (1985) las muestras presentan problemas de sodicidad y es de relevante importancia mencionar la muestra S_2 , en donde existen los mayores problemas de salinidad y sodicidad, y es característica la presencia de las clásicas costras blancas de los suelos salinos-sódicos. La muestra mencionada fue tomada cerca del Perfil 1, el mismo que presenta los mayores problemas de la zona estudiada y de acuerdo con los resultados corresponde a la zona más cercana al ex-Lago de Chalco o es probable que sea la zona de transición entre el ex-lago y la llanura ribereña mencionada por García (1976), la cual probablemente correspondería a la zona de origen aluvial.

Hasta la fecha no se ha demostrado la esencialidad del sodio en las plantas con excepción de algunas especies vegetales, sin embargo, es preocupante la presencia de altas concentraciones de sodio en el complejo de intercambio, puesto que este ión afecta el desarrollo normal de las plantas tanto directa como indirectamente, la toxicidad de este elemento aumenta cuando su concentración supera al 15 % en el complejo de intercambio (Ortega, 1978), como es

el caso de los suelos del ex-Lago de Chalco y de las zonas cercanas (Cuanalo y Ortiz 1976), y en particular los suelos del Rancho San Francisco, donde se están afectando las propiedades físicas y químicas del suelo, pues el exceso de sodio tanto soluble como intercambiable produce alcalinización, disgrega las partículas coloidales y disminuye la actividad de muchos microorganismos.

Al aumentar las sales en la solución del suelo aumenta la presión osmótica de ésta, dificultándose la absorción del agua por parte de las plantas por el desbalance en el gradiente; además, el exceso del Na^+ compite con los cationes de Ca^{2+} , Mg^{2+} , y K^+ bajando la absorción de éstos por las plantas, perjudicando la nutrición normal en las mismas, llegando a alcanzar niveles tóxicos. El sodio intercambiable en altas concentraciones deflocula los coloides del suelo, altera su estructura y disminuye la permeabilidad de este último. Asimismo, en suelos con textura fina la penetración de las raíces se dificulta; por otro lado, la deficiente aireación origina problemas de anaerobiosis, en la que se forman compuestos de reducción que son tóxicos para los vegetales (Buckman y Brady, 1977; Millar y Col., 1979; Teuscher y Alder, 1980; Tisdale Nelson, 1970 y Russell and Russell, 1968).

Potasio. Después del Ca^{2+} y el Mg^{2+} , es el catión que sigue en importancia, este ión es esencial en el desarrollo de los vegetales, afortunadamente en nuestro país son raras las deficiencias de este elemento. En nuestra área de estudio la presencia del potasio en los perfiles 1, 2 y 3 oscila de 0.54 a 7.31 de 0.60 a 10.45 y de 0.16 a 1.85, meq/100 g, con promedios de 1.97, 3.41 y 0.66 meq/100 g, respectivamente, con una media de 1.95 meq/100 g para las 21 muestras de los tres perfiles (Tablas 3 y 5). La distribu-

ción del potasio en general, para los tres perfiles aumenta con la profundidad, de la misma manera que los demás cationes, cuando aumentan las fracciones finas en el suelo (Figuras 14, 15 y 16). En las muestras superficiales de fertilidad (F) y de salinidad (S), las cantidades encontradas variaron de 0.88 a 2.13 y de 0.36 a 3.60 meq/100 g con valores promedio de 1.34 y 1.71 meq/100 g, respectivamente (Tablas 4 y 5). Como las muestras superficiales representan toda el área de estudio, los resultados son distintos y por lo tanto no se puede discutir la dinámica de la distribución del potasio de la misma manera que en los perfiles. Sin embargo, hay cierta homogeneidad en la mayoría de las muestras a excepción de las muestras F_4 en sus dos profundidades y las muestras S_4 , S_6 y S_7 , las cuales se encontraron bajas en este elemento (Tabla 4).

5.3.3 Capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T)

Esta propiedad es de gran importancia en los suelos, ya que varios autores coinciden en que la C.I.C.T., ocupa el segundo lugar en la naturaleza superada únicamente por la fotosíntesis. La importancia de la C.I.C.T., radica en que ésta asegura el suministro continuo de nutrimentos para las plantas, ya que en la fracción coloidal del suelo (arcillas-materia orgánica), se retienen con mayor fuerza en orden de importancia a los siguientes cationes; Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ los cuales se liberan lentamente mediante reacciones de intercambio (Ortega, 1978; Cajuste, 1977; Fassbender y Bornemisza, 1987).

La capacidad de intercambio en los perfiles 1, 2 y 3 varía de 13.9 a 49.7 de 5.6 a 39.0 y de 3.3 a 14.8 meq/100 g, con valores promedio de 22.5, 17.7 y de 9.15 meq/100 g, respectivamente (Ta-

blas 3 y 5). La capacidad de intercambio en general presenta valores bajos, éstos coinciden con las texturas gruesas, sin embargo, se presentan más altos conforme se avanza a los horizontes profundos en los tres perfiles, ya que los limos y las arcillas que tienen mayor capacidad de canje aumentan con la profundidad hasta llegar a la capa impermeable, donde las capacidades de canje son altas principalmente en los perfiles 1 y 2, esto no se observa en el Perfil 3 puesto que no se llegó a la capa impermeable.

En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los valores de las capacidades fluctúan de 8.3 a 22.1 y de 5.7 a 14.0 meq/100 g con promedios de 13.03 y de 11.64 meq/100 g, respectivamente (Tablas 4 y 5). Los valores de las capacidades de intercambio para las muestras F y S como se observa en la Tabla 4 son bajos y muy bajos a excepción de las muestras F_2 y S_2 donde las capacidades son medias como consecuencia del aumento de las fracciones finas en el suelo (limos y arcillas).

5.3.4 Materia orgánica

De acuerdo con Kononova (1961), ésta es el producto de la desintegración de los restos orgánicos tanto de animales como de vegetales, y su importancia en los suelos radica en que aportan gran cantidad de nutrimentos como son: N, P, y K principalmente, además de algunos micronutrimentos como el Fe^{2+} , Cu^{2+} , y el Mn^{2+} ; mejora también la estructura del suelo favoreciendo la formación de agregados, aumenta la retención de humedad y la capacidad de intercambio catiónico total, favorece además el manejo de los suelos arcillosos. Es por ello que la materia orgánica es uno de los constituyentes de mayor importancia del suelo; en los perfiles 1, 2 y 3 se

encontró del orden de 1.03 a 6.26 de 0.20 a 1.86 y de 0.05 a 1.51% con valores promedio de 2.26, 0.97 y 0.66 %, respectivamente (Tablas 3 y 5). Los valores de la materia orgánica sobre todo en el Perfil 1, aumentan con la profundidad, mientras que en los perfiles 2 y 3 son muy heterogéneos (Figura 11).

De acuerdo con Moreno (1970) los suelos del perfil 1 se clasifican de medianos a extremadamente ricos en materia orgánica y la presencia de altos porcentajes de ésta en el horizonte argílico a más de 2 m de profundidad indica la existencia de un paleosuelo (suelo fósil).

El Perfil 2 de acuerdo con este mismo autor se clasifica de extremadamente pobre a mediano. La materia orgánica disminuye con la profundidad lógicamente, pero al llegar al subsuelo el porcentaje de materia orgánica aumenta nuevamente (Figura 11) sin llegar a ocurrir lo mismo que en el Perfil 1, ya que en el caso de los perfiles 2 y 3 no se encontró el horizonte argílico, pues éste debe estar más profundo o ausente. Los suelos del Perfil 3 se clasifican de extremadamente pobres a medianos, disminuyendo la materia orgánica con la profundidad (Figura 11), de la misma manera que en los demás perfiles.

En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los niveles de materia orgánica variaron de 1.22 a 2.39 y de 0.88 a 2.80 % y las medias fueron 1.61 y 1.50 %, respectivamente (Tablas 4 y 5), por lo que según Moreno (1970) las muestras F se clasifican de medianas a medianamente ricas y las S de medianamente pobres a medianamente ricas, tanto las muestras F como las S son más homogéneas que las muestras de los perfiles como era de esperarse, ya que las primeras representan distintos horizontes y las F y S son superficiales.

ciales.

5.3.5 Nitrógeno total

En los perfiles 1, 2 y 3 los niveles de nitrógeno fluctuaron de 0.039 a 0.540 de 0.014 a 0.084 y de 0.005 a 0.072 % con medias de 0.144, 0.054 y 0.034, respectivamente (Tablas 3 y 5), la distribución de éste elemento disminuye con la profundidad en la mayoría de las capas de los 3 perfiles, pero, en los perfiles 1 y 2 se observa un incremento en las últimas capas (Figura 12), como ocurre con la materia orgánica, ya que estos factores están estrechamente relacionados. Para las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los valores variaron de 0.000 a 0.198 y de 0.002 a 0.156 % con medias de 0.081 y 0.069 %, respectivamente (Tablas 4 y 5).

Respecto al nitrógeno total, el Perfil 1 se clasifica de rico a extremadamente pobre y los perfiles 2 y 3 de pobres a extremadamente pobres; en tanto que las muestras F y S se clasifican de medianas a extremadamente pobres (Moreno 1970). Debido a que las texturas dominantes son arenosas, podría ser un indicio de que existe una elevada lixiviación del nitrógeno hacia los horizontes inferiores, como se puede observar en los valores obtenidos para los perfiles 1, 2 y 3 (Tabla 3).

5.3.6 Fósforo asimilable

Este elemento es el segundo en importancia para las plantas superado sólo por el nitrógeno, es esencial para el desarrollo de los vegetales, en su forma orgánica, es constituyente de compuestos de almacenamientos metabólicos y estructurales como son: fosfolípidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas y fiti-

nas, interviene además, en compuestos del metabolismo intermedio como el A.D.P. y A.T.P, participa también en la fotosíntesis, en la síntesis de las proteínas, ácidos grasos, glucólisis y respiración (Devlin, 1984).

El fósforo es tomado por la planta como ortofosfatos ($H_2PO_4^-$), metafosfatos (PO_4) y como pirofosfatos (F_2O_7), dentro de los vegetales es un elemento muy móvil concentrándose en los tejidos más jóvenes de crecimiento activo (meristemas) y en las semillas. En los suelos es relativamente estable por su baja solubilidad, que se relaciona generalmente con las deficiencias de éste elemento en las plantas (Fassbender y Bornemisza, 1987).

En las muestras de los perfiles 1, 2 y 3 las cantidades de fósforo asimilable variaron de 0.7 a 24.5 de 2.8 a 63.0 y de 4.9 a 47.6 p.p.m, con una media de 17.61, 18.4 y 27.56 p.p.m, respectivamente (Tablas 3 y 5), por lo que de acuerdo con Moreno (1970) los perfiles 1 y 2 se clasifican como medianamente ricos en fósforo y el Perfil 3 es rico en éste elemento, lo cual comprueba una de las hipótesis planteadas, en lo que se refiere a los suelos que colindan con la carretera (Perfil 3), ya que son más profundos y se fertilizan con abonos tanto orgánicos como químicos, pues los suelos de los perfiles 1 y 2 son los que presentan mayores problemas de salinidad, fertilidad y compactación. Por otro lado los altos niveles de fósforo y su homogeneidad, a diferencia del nitrógeno, se deben en gran parte a la estabilidad del fósforo en el suelo, dado que el nitrógeno se pierde con facilidad, ya sea por volatilización o por lixiviación (Figura 13).

En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los niveles de fósforo fluctúan de 30.8 a 84.0 y de 39.9 a 66.5 p.p.m, con

promedios de 58.1 y 54.51 p.p.m, respectivamente (Tablas 4 y 5) por lo que según Moreno (1970), tanto las muestras F como las S son extremadamente ricas en fósforo asimilable. Las altas concentraciones de P en estas muestras se deben a que se tomaron únicamente de la capa arable y se recolectaron con fines de fertilidad y de salinidad (Tablas 4 y 5), asimismo, se presentaron altas concentraciones debido a la estabilidad y fertilización de este elemento en el suelo a diferencia del nitrógeno y el potasio que no son tan estables (Fassbender y Bornemisza, 1987).

5.3.7 Cationes solubles

Calcio. Este catión en los perfiles 1, 2 y 3 fluctúa de 2.20 a 4.10 de 1.40 a 10.0 y de 1.60 a 7.00 meq/l. con promedios de 11.0, 4.35 y 3.45 meq/l, respectivamente (Tablas 3 y 5). En general, en los tres perfiles la concentración de calcio disminuye con la profundidad, a excepción del horizonte argílico del Perfil 1 y la capa a más de 2 m de profundidad del Perfil 2 (Figuras 17, 18 y 19).

En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los valores de calcio soluble variaron de 2.76 a 13.20 y de 2.41 a 22.7 meq/l, con valores promedio de 6.01 y 6.94 meq/l, respectivamente (Tablas 4 y 5). Los valores del ión Ca^{2+} tanto en las muestras F como en las S fueron muy heterogéneas, ya que corresponden a sitios distintos, encontrándose las mayores concentraciones en las muestras F_2 y S_2 consideradas de acuerdo con Richards (1985) como suelos salinos-sódicos.

Magnesio. En los perfiles 1, 2 y 3 se encontró del orden de 3.86 a 71.72 de 2.50 a 21.60 y de 1.85 a 11.50 meq/l con valores

medios de 20.31, 7.71 y de 5.07 meq/l, respectivamente, como se observa en las Tablas 3 y 5. En los perfiles 1 y 2 el Mg^{2+} disminuye con la profundidad (Figura 17, 18 y 19), pero en el Perfil 1 al llegar al horizonte argílico hay una acumulación de Mg^{2+} . En el Perfil 3 la distribución del magnesio al igual que el calcio es muy heterogénea (Figuras 17, 18 y 19), la misma heterogeneidad se presenta en las muestras de fertilidad y de salinidad (Tabla 4), en donde los valores de este catión fluctuaron de 3.97 a 17.10 y de 1.55 a 3.30 meq/l con valores promedio de 7.94 y de 9.05 meq/l, respectivamente (Tabla 5).

Sodio. En los perfiles 1, 2 y 3 oscila de 22.26 a 191.7, y de 4.86 a 42.60 y de 1.58 a 10.78 meq/l, respectivamente, con valores promedio de 71.16, 22.97 y 5.49 meq/l (Tablas 3 y 5). Los valores de sodio en varios horizontes de los perfiles 1 y 2 son elevados, caracterizándose como suelos salinos, y al tomar en cuenta el Na^+ intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico, éstos suelos además de ser salinos son sódicos, sin embargo, el Perfil 3 se clasifica como normal y las concentraciones de Na^+ aumentan con la profundidad (Figuras 17, 18 y 19). En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los valores de sodio fluctuaron de 4.52 a 23.20 y de 3.73 a 253.04 meq/l con medias de 11.09 y 48.86 meq/l, respectivamente (Tablas 4 y 5). Las concentraciones de sodio, tanto para las muestras F como las S, son muy variables, sin embargo, las muestras F de acuerdo con la hipótesis de trabajo, no presentan problemas de salinidad a excepción de las muestras F_2 y F_3 en la profundidad 0-20 cm, que contienen las mayores concentraciones de Na^+ soluble. En las muestras S se comprueban las hipótesis planteadas, ya que son éstos suelos los que presentan los mayores pro-

blemas de salinidad y sodicidad, principalmente las muestras S_2 y S_3 clasificándolas como salinas-sódicas (Richards 1985), superadas únicamente por las muestras correspondientes a las capas superficiales del Perfil 1, en que las conductividades eléctricas registradas son las más altas.

Potasio. Este ión fue el más bajo de los cationes tanto en los perfiles como en las muestras superficiales, encontrándose en los perfiles 1, 2 y 3 rangos de 0.53 a 5.08, de 0.53 a 3.82 y de 0.16 a 1.05 meq/l con promedios de 2.23, 2.25 y 0.52 meq/l (Tablas 3 y 5). En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los valores oscilan de 0.62 a 3.02 y de 0.41 a 4.12 meq/l, con valores promedio de 1.76 y 1.93 meq/l, respectivamente (Tablas 4 y 5). La distribución del K^+ en los tres perfiles disminuye con la profundidad, siendo éste el más homogéneo de los cuatro cationes solubles, pero al llegar a los horizontes donde las texturas son finas la concentración del potasio aumenta nuevamente (Figuras 17, 18 y 19). Sin embargo, en las muestras F y S la distribución es más o menos homogénea, a excepción de las muestras F_2 en la profundidad 0-20cm y las muestras S_2 y S_3 , en donde la concentración excede las 100 p.p.m. (Tabla 4), éste elemento por sí solo no causa problemas en la relación suelo-planta, sin embargo, cuando está junto con el Ca^{2+} , Mg^{2+} y el Na^+ , reacciona con los respectivos aniones formando compuestos ya sea de $NaCl$, KCl , $CaCl_2$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$, K_2SO_4 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , $MgCO_3$, $CaCO_3$ o K_2CO_3 entre otros, siendo las sales de sodio las más perjudiciales para la agricultura.

5.3.8 Aniones solubles

Carbonatos. En los perfiles 1, 2 y 3 los CO_3^{2-} variaron de 0.0

a 2.41, de 1.20 a 2.41 y de 0.00 a 1.20 meq/l, con valores promedio de 1.00, 2.04 y 0.30 meq/l, respectivamente (Tablas 3 y 5), la concentración de carbonatos en los tres perfiles afortunadamente son bajas, ya que de los 4 aniones los CO_3^{2-} y los SO_4^{2-} son los más perjudiciales para el desarrollo de las plantas, pues cuando los CO_3^{2-} se combinan con el Na^+ elevan el pH de la solución del suelo (Tabla 3). En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S), los valores de los carbonatos fluctuaron de 0.0 a 1.20 y de 0.00 a 2.41 meq/l, con promedios de 0.15 y 1.20 meq/l, (Tablas 4 y 5), en estas muestras las concentraciones de este anión son más bajas que en los perfiles exceptuando las muestras S_2 y S_3 .

Bicarbonatos. En los perfiles 1, 2 y 3 se encontraron en cantidades de 1.20 a 8.40 de 1.20 a 9.00 y de 1.20 a 4.20 meq/l, con promedios de 4.60, 4.81 y 2.38 meq/l; (Tablas 3 y 5), la presencia de este anión en los suelos alcalinos, como en este caso, es favorable, ya que al combinarse con los cationes respectivos ya sea con el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ o K^+ se forman sales ácidas o neutras dependiendo de la combinación. En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) las cantidades de HCO_3^- fluctuaron de 4.80 a 9.60 y de 2.41 a 10.84 meq/l, con valores promedio de 7.40 y 6.61 meq/l, (Tablas 3 y 5), la concentración de bicarbonatos en las muestras F y S es muy heterogénea detectándose las concentraciones mayores en la profundidad 0-20 cm de las muestras F, mientras que en las muestras S_2 , S_3 y S_1 se encontraron las mayores cantidades de HCO_3^- , respecto a las muestras tomadas con fines de salinidad.

Cloruros. En los perfiles 1, 2 y 3 fueron de 15.40 a 184.00, de 0.57 a 16.31 y de 0.57 a 3.50 meq/l, con valores promedio de 76.49, 6.94 y 1.92 meq/l, respectivamente (Tablas 3 y 5). Los Cl^-

en los perfiles 1 y 2 se encontraron en altas cantidades, mismas que al combinarse con los cationes respectivos forman sales neutras muy solubles, lo cual no significa que no originan problemas de salinidad, éste efecto se observa principalmente en el Perfil 1 y en algunas capas del Perfil 2 que son los que presentan mayores problemas de salinidad. En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los Cl^- se encontraron en cantidades de 1.60 a 15.80 y de 1.90 a 120.54 meq/l con valores promedio de 5.93 y 21.97 meq/l, respectivamente (Tablas 3 y 5). En las muestras F y S, como son superficiales, se encontraron altas concentraciones de Cl^- principalmente en las F_2 a la profundidad de 0-20 cm, y en las S_1 , S_2 y S_3 las cuales se clasifican como suelos salinos sódicos.

Sulfatos. En los perfiles 1, 2 y 3 fluctuaron de 6.16 a 123, de 6.16 a 35.12 y de 2.20 a 23.47 meq/l, con valores promedio de 36.20, 19.55 y 10.92 meq/l, respectivamente, como se observa en las Tablas 3 y 5, las más altas concentraciones de sulfatos se encuentran en los perfiles 1 y 2 principalmente en los primeros horizontes y en el horizonte enterrado ó subsuelo, mientras que, en el Perfil 3 existen acumulaciones de este anión, en las capas donde se registran altas concentraciones de limos y arcillas. Como la mayoría de las sales son solubles, se lixivian fácilmente, pero al llegar a las capas limosas y arcillosas, éstas lo retienen con mayor fuerza que las fracciones arenosas, las cuales favorecen el ascenso del agua por capilaridad hacia las capas superficiales y al evaporarse el agua las sales quedan depositadas sobre estas capas formando costras blancas, las cuales caracterizan a los suelos salinos y sódicos. En las muestras de fertilidad (F) y de salinidad (S) los SO_4^{2-} variaron de 4.90 a 36.8 y de 2.40 a 168.45 con valo-

res promedio de 12.94 y 37.29 meq/l, respectivamente (Tablas 4 y 5). Como se puede observar de las muestras superficiales las que presentan mayores problemas con los sulfatos son las muestras S_2 , S_9 , S_1 y F_2 y F_3 , en varias profundidades, inclusive la muestra S_2 es en general la que presenta los más altos valores del anión sulfato.

Generalmente en un suelo normal los aniones se encuentran en orden decreciente en la siguiente forma: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} y CO_3^{2-} , mientras que en los suelos estudiados se encontraron de mayor a menor concentración en el siguiente orden: SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- y CO_3^{2-} , afortunadamente el orden en el que se encuentran estos aniones no es el más perjudicial, ya que los más abundantes tienden a formar sales de reacción neutra ligeramente alcalina, a excepción de los sitios donde se encuentra el Na^+ en forma intercambiable, que es el responsable de los pHs altos al combinarse con los CO_3^{2-} . Sin embargo, los carbonatos son los aniones menos abundantes en estos suelos, pero si no se controla el pH del suelo, éste puede influir de tal manera que los aniones se presenten de mayor a menor concentración en el siguiente orden: CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- , que sería el más perjudicial para el suelo.

CONCLUSIONES

1.- Los suelos del Rancho de San Francisco presentan texturas arenosas en los horizontes superficiales, aumentando la cantidad de limos y arcillas con la profundidad hasta llegar a un horizonte agílico impermeable sepultado de origen lacustre, ausente o quizá más profundo en los perfiles 2 y 3, el cual provoca un drenaje deficiente en el suelo que lo sobreyace y una acumulación de sales en las capas superficiales, principalmente en el Perfil 1 y algunas capas del Perfil 2, que se clasifican como salinos-sódicos; ya que el Perfil 3 de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas se clasifica como normal, pero si tomamos la media de los tres perfiles, éstos se clasifican como salinos-sódicos.

2.- Las muestras superficiales colectadas con fines de fertilidad y salinidad no fueron las que presentaron los mayores grados de salinidad como se había previsto, sin embargo, desde el punto de vista agrícola corresponden a suelos alcalinos, salinos-sódicos, bajos en su capacidad de intercambio catiónico total, medianamente ricos en materia orgánica, así como nitrógeno total y de medianos a ricos en fósforo, siendo los iones responsables de la salinidad principalmente el Na^+ , SO_4^{2-} y Cl^- .

3.- Taxonómicamente los suelos del Rancho de San Francisco según sistema USDA (7^a aproximación) pertenecen a los Ordenes Entisoles y Mollisoles y de acuerdo con la clasificación de FAO modificada por CETENAL (1975), corresponden al Gran Grupo de los Fluvisoles.

4.- Según su capacidad de uso pertenecen a las UNIDADES DE CAPACIDAD I1h-1, IIIe-2 y IIIs-3.

5.- Según su aptitud de riego pertenecen a las clases IIIs-1 y IIIe-4.

BIBLIOGRAFIA

- ACEVES, N.E., 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. C.P. Chapingo, Méx. 376 p.
- ACEVES, N.L., 1981. Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación. UACH., Chapingo, México. 244 p.
- A.G.N. Archivo General de la Nación., 1570. Recaudos e información de los indios del pueblo de Chalco. Tierras. 1909, 3. 1579. Plano de Ayotzingo, Mizquic y alrededores. Tierras, 67, 2.
- 1583 a. Provincia de Chalco. Indias, 2, 378, f. 90 v.
- 1583 b. Provincia de Chalco. Indias, 2, 380, f. 91 v.
- 1583 c. Provincia de Chalco. Indias, 2, 513, f. 119 v.
- 1583 d. Provincia de Chalco. Indias, 2, 725, F. 164 v.
- ALVAREZ, J. (dir.)., 1970. Enciclopedia de México. México.
- ANAYA, G.M., 1983. La desertificación, su importancia y su combate a nivel nacional y mundial. Simposium "La sequía y su impacto en la agricultura". UACH., México.
- ARITA, A.C., 1975. Problema actual de ensalitramiento en los distritos de riego. S.R.H., D.G.D.R. Méx. D.F.
- ARITA, A.C., 1976. Caracterización de áreas con problemas potenciales de ensalitramiento y balance de sales. S.R.H., Dir. Gral. D.R., Dirección de Estadística y Estudios Económicos. Méx.
- ARMILLAS, P., 1974. Notas sobre el área lacustre. Apéndice a la ponencia "Tecnología y pasaje agrario azteca. México. XLI Cong. Inter. de Americanistas, Ms.
- BARLOW, R.H., 1963. Documentos de la zona de Chalco y Amecameca (1570-1702), Tlalocan. México. IV (3): 239-54.
- BAVER, L.D., GARDNER, H.W. y GARDNER, R.W. 1980. Física de suelos. Ed. UTEA. México. 529 p.
- BEAR, F.E. (Ed.)., 1964. Chemistry of the soil. 2a. Edition Reinhold, New York. 515 p.
- BERGAMA, E.I., 1980. Aerial photo-interpretation for soil erosion and conservation surveys. Part I: soil erosion features: I.T.C., Enschede, the Mather lands., 220 p.

- BERNSTEIN, L., FIREMAN, M. y REEVE, R.C. 1957. Control de la salinidad en los suelos agrícolas. U.S. Sal. Lab. Riv. Cal., EUA.
- BLACK, C.A. (Ed.), 1975. Methods of soil analysis. Part I, Agronomy No.9 American Society of America. Inc. Publischer. U.S.A 545-547 pp.
- BONNET, A.J., 1960. Edafología de los suelos salinos y sódicos Est. Exp. Agr. Universidad de Puerto Rico. Río Piedras, Puerto Rico. 238 p.
- BOUL, S.W., HOLE, F.D. y Mc CRECKEN R.J., 1981. Géneis y clasificación de suelos. Ed. Trillas.
- BRAY, R.H. and L.T. KURTZ, 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:34-45
- BUCKMAN, H.D. y N.C. BRADY, 1979. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simon. Barcelona, 590 p.
- CAJUSTE, L.J., 1977. Química de suelos con enfoque agrícola. C.P. Chapingo. México. 278 p.
- CHAPMAN, H.D. y PARQUER, F.P. 1979. Métodos de análisis para suelos y plantas y aguas. Ed. Trillas. México 195 p.
- CHAVEZ, O.L., 1958. Breve historia agrícola de México en la época colonial. México. Banco Nacional de Crédito Agrícola Vol. XXI.
- CHIMALPAHIN, D., 1965. Relaciones originales de Chalco Amecameca. Trad. e introd. Silvia Rendón. México. F.C.E (Biblioteca Americana, 40).
- COLEGIO DE POSGRADUADOS., 1974. Manual de conservación de suelos y aguas. Chapingo, Secretaría de la Presidencia. México.
- CUANALO, H.E., 1970. Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo. C.P., ENA. Chapingo, México.
- CUANALO, H.E. y Ortiz-Solorio, C., 1976. levantamiento de suelos de la cuenca de Chalco. Chapingo, Méx. Escuela Nacional de Agricultura. C.P. Rama de Suelos.
- DE LA O, C.A., 1954. Provincias geohidrológicas de México, Instituto de Geología, UNAM. México D.F., Bol. 561:9, 10 carta Fisiográfica.
- DEVLIN, R.M. 1970., Fisiología vegetal. Ed. Omega. Barcelona, España.

- DICCIONARIO PORRUA DE HISTORIA, BIOGRAFIA Y GEOGRAFIA DE MEXICO.
1976. 4a Ed. 23 toms. México, Ed Porrúa.
- DICKSON, T.R., *Química (Enfoque ecológico)*. Ed. LIMUSA, Méx.
- DUCHAUFOUR, P., 1975. *Manual de Edafología*. Ed. Toray-Masson, S.A. Barcelona España, 476 p.
- DUCHAUFOUR, p., 1980. *Atlas ecológico de los suelos del mundo*. Ed. Toray-Masson, S.A. Barcelona, España
- DUCHAUFOUR, P., 1984. *Edafogenesis y Clasificación*. Ed. Masson, S.A. Barcelona, España. 493 p.
- EARLICH, P.R. HOLDREN, J.P. y HOLM, R.W., 1975. *El hombre y la ecosfera*. Scientific American. ED. Blume. Barcelona, España.
- ERBEN, H.K. et.al., 1954-5. Una contribución geológica-arqueológica al problema de niveles de los lagos de la Cuenca de México, *Rev. Méx. de Est. Antropol. México. Soc. Méx. Ant. XIV:23-32*. FAD. 1971. *Estudio de la erosión del suelo de América Latina*. Roma.
- FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E., 1987. *Química de suelos*. Ed. IICA, Costa Rica. 420 p.
- FIGUEROA, S.B., 1975. *Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del Río Texcoco*. Tesis de M en C. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- FITZ, J.W. and WAUGH, D.L. 1966. *Soil test. interpretation studies. Laboratory and potted plant*. North Carolina State Univ. Ag. Exp. Sta. Tech.
- FITZPATRICK, E.A., 1984. *Suelos. Su formación, clasificación y distribución*. CECBA. México. 430 p.
- FOLK, L.P., 1965. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphills Book Co., Austin, Texas. 151 p., 1 fig.
- GARCIA, C.A., 1891. *Diccionario geográfico, histórico y biográfico de los E.U.M. México*. D.F. Of. Tip. de la Sría de Fom.
- GARCIA, C.F., 1962. *Estudio agrológico en la zona de Xochimilco-Chalco, de la cuenca del Valle de México*, México. S.R.H., C.H.C.V.M.
- GARCIA, E., 1968. *Los climas del valle de México*. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- GARCIA, E., 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*.

- GARCIA, M.C., 1976. Cambio económico social y estrago ecológico en Chalco-Amecameca. Las fronteras de mesoamérica. XIV. Mesa. Red. Tegucigalpa, Honduras, 23-28 de junio 1975. México. Soc. Méx. Antropol. 1:327-33.
- GARCIA, M.C., 1979. Nota para la antropología ecológica de la Subcuenca de Chalco del Valle de México: *Biótica* 4, v.1, p.13-22.
- GAVANDE, S.A., 1982. Física de suelos, principios y aplicación. 4a. Reimpresión. Ed. LIMUSA. México. 351 p.
- GUTIERREZ, M.C., 1947. Bosquejo geológico e hidrológico de la cuenca del Valle de México. Tesis. Esc. Nal. de Ingenieros. UNAM. México.
- HOOGTON, C.W. y E. MELENDEZ, 1971. Métodos y parámetros para la evaluación de tierras según su aptitud para la agricultura de regadío. Primer Seminario Latinoamericano FAO/PNUD, sobre evaluación sistemática de los recursos de tierras y aguas, Méx.
- JACKSON, M.L., 1976. Análisis químicos de suelos. Omega. Barcelona, España, 662 p.
- JIMENEZ, R.G.A., 1982. Respuesta de 6 especies de gramíneas a diferentes condiciones de salinidad en suelos del Estado de Tamaulipas. Tesis M.en C. (Biología) Fac. de Ciencias UNAM.
- KLINGEBIEL, A.A. y P.H. MONTGOMERY, 1962. Capacidad de uso de las tierras. Trd. de USDA. Land use Capability, por F.J. Valencia Nicaragua.
- KONONOVA, M.M., 1961. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Pergamon Press. New York, 450 p.
- KRAMER, J.P., 1974. Relaciones hídricas de suelo y planta. Una síntesis moderna. Edutex, S.A. México.
- LAURRABAQUIO, C.C., 1965. Estudio Geográfico del Municipio de Chalco Estado de México. Tesis C.B., Fac. de Fil. y Let., UNAM.
- LOPEZ, B.R., 1974. Métodos para análisis físicos y químicos en suelos agrícolas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. S.L.P. México.
- MARQUEZ, V.B.R., 1983. La sequía y su impacto en la agricultura. UACH. Chapingo, México.
- MILLAR, C.E., et. al., 1979. Fundamentos de la ciencia del suelo. CECSA. México, 527 p.

- MOLINA, B.R., 1956. Estudios geoquímicos, geofísicos y geológicos de la Subcuenca de Chalco, Méx. Bol. Soc. Geol. Méx. Tomo XIX No. 1.
- MONTELONGO, E., 1939. Estudio de los tipos de saiz de Chalco. Agricultura. México. 2 (11):30-4.
- MOOSER, F., 1971. Informe sobre la geología de la cuenca del Valle de México y zonas colindantes. C.H.C.V.M., S.R.H. México.
- MORENO, D.R., 1970. Clasificación tentativa para suelos de México: INIA-SAB. Méx.
- MORTVEDT, J.J., GIORDANO, P.M. y LINDSAY, W.L. 1983. Micronutrientes en la agricultura. ABT Editoras, S.A. Méx.
- MUNSELL SOIL COLOR CHART, 1975. Edition Munsell Color Company Inc. Maryland, U.S.A.
- ORTEGA, T.E., 1978. Química de Suelos. Univ. Autón. Chapingo Depto. de Suelos, Chapingo, México. 152 p.
- ORTIZ-SOLORIO, C. y H. CUANALO, 1977. Levantamiento fisiográfico del Área de influencia de Chapingo (para la cartografía de tierras erosionadas), C.P. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- PALMER, R.G. y TROEN, F.R., 1980. Introducción a la ciencia del suelo (Manual de laboratorio). Ed. G.T. Editor, S.A. Méx.
- PEDRERO, G., 1975. Estudio histórico sobre la gran propiedad territorial en Chalco, Siglos XVIII-XIX. Tesis. Fac. F.L. Colag. Hist.
- PENA, D.B., 1973. Evaluación del levantamiento fisiográfico de la región Sur-Oriental del Valle de México cuando se usa como base para desarrollar recomendaciones de productividad. Tesis M. en C. C.P. Chapingo, México.
- PERAFIEL, A., 1884. Las aguas potables de la Capital de México Gaceta médica. México. Acad. Med. de México.
- PIZARRO, F., 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agr. Española, S.A. Madrid.
- POLJAKOFF-MAYBER and J. GALE, 1975. Plants in saline environments. Ecological studies 15. Spinger-Verlag, N.Y., USA. 203 P.
- PRITCHETT, W.L., 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Ed, LIMUSA. Méx.
- REEVE. R.C., 1953. A method for determining the stability of soil structure based upon air and water permeability measurements,

- Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 17, pp.324-329
- RICHARDS, L.A. (Ed.), 1962. Diagnóstico y evaluación de suelos salinos y sódicos. Ed. LIMUSA. Méx. 172 p.
- ROJAS, R.T., 1983. La agricultura chinampera. U.A.C.H. Chapingo, México.
- ROMERO, G.C., 1978. Adaptación de cultivos de regadío a condiciones de sequía y salinidad. Inf. Tec. Económica agraria 32:9-21 Valencia, España.
- RUSSELL, J. y W. Russell, 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 4a.ed. Ed. Aguilar. Madrid, España 801 p.
- RZEDOWSKI, J., 1978. La vegetación de México. Ed. LIMUSA, México.
- SANCHEZ, S.O., 1980. La Flora del Valle de México. Ed. Herrero México.
- TEUSCHER, H. y R. ALDER, 1980. El suelo y su fertilidad. Ed.CECSA. México, 510 p.
- THOMPSON, J.C., 1978. El desierto viviente. Montaner y Simon, S.A. Editores. Barcelona, España.
- TISDALE, S.L. y WERNER L. NELSON, 1970. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Montaner y Simon. Barcelona, España. 760 p.
- USDA. Soil Survey Staff. Soil Taxonomy. Washington, D.C. 1990.
- VILLEGAS, et. al., 1979. Método simplificado de análisis para la clasificación granulométrica de los minerales del suelo. Vol. 2 N.2. Inst. Geol. UNAM. Méx. p. 188-193.

A P E N D I C E

PER- FIL	PROFUN- DIDAD cm	HORI- ZONTE	COLOR		TEXTURA			CLASIFICACION		DENSIDAD		POROSIDAD %	PERMEABILIDAD-USDA		CE mmhos/cm
			SECO	HUMEDO	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURAL	APARENTE g/cm ³	REAL	K(cm/h)				
1	0-40	Aa	10YR3/2	10YR6/3	53.7	37.0	9.3	Mig.arenoso	1.22	2.42	49.58	moderado	2.33	26.00	
	40-65	Aa	10YR3/2	10YR6/3	52.8	36.7	10.5	Mig.arenoso	1.23	2.60	52.69	mod.lent.	0.80	11.00	
	65-90	(Ba)	10YR3/2	10YR6/3	51.0	37.7	11.3	Franco	1.15	2.51	54.18	mod.lent.	0.98	4.10	
	90-160	(Ba)	10YR3/3	10YR6/4	45.4	43.6	11.0	Mig.arenoso	1.04	2.55	59.21	mod.lent.	0.59	3.10	
	160-200	C	10YR3/3	10YR6/4	4.9	66.5	28.6	Mig arci lia.	0.72	2.29	68.55	lento	0.50	2.85	
	sub.sue.	IIC	10YR2/2	10YR5/3	7.7	47.9	44.4	Arcillo lia.	0.74	2.22	66.66	muy lent.	0.00	4.20	
2	0-20	A	10YR3/2	10YR6/3	67.8	23.4	8.8	Mig.arenoso	1.36	2.52	46.03	mod.lent.	1.16	3.00	
	20-55	(B)	10YR3/2	10YR6/3	51.4	38.8	9.8	Franco	1.19	2.50	52.40	lento	0.28	6.10	
	55-90	(Ba)	10YR3/3	10YR6/4	65.5	26.9	7.6	Mig.arenoso	1.36	2.54	46.45	mod.lent.	1.10	2.70	
	90-122	(Bc)	10Y3/2	10YR6/3	60.0	31.3	8.7	Mig.arenoso	1.24	2.48	50.00	mod.lent.	0.73	2.70	
	130-200	Ca	10YR3/2	10YR6/3	27.0	51.2	21.8	Mig.limoso	0.89	2.43	63.37	lento	0.16	3.40	
	+ -200	Ca	10YR4/1	10YR6/1	82.3	15.8	1.9	Ara mig.	1.28	2.58	50.39	moderado	6.08	0.88	
sub.sue.		10YR3/2	10YR6/3	1.3	63.6	33.1	Mig arci lia.	1.23	2.36	47.88	lento	0.16	3.60		
3	0-50	Ap	10YR3/2	10YR6/2	76.0	17.4	6.6	Mig.arenoso	1.40	2.63	46.76	moderado	2.21	0.73	
	50-80	B	10YR3/2	10YR6/2	75.5	19.4	5.1	Ara mig.	1.24	2.62	52.67	moderado	3.25	1.30	
	80-100	Cs	10YR3/2	10YR6/2	68.8	25.4	5.8	Mig.arenoso	1.34	2.53	48.85	mod.lent.	1.30	2.30	
	100-115	Ca	10YR3/1	10YR6/1	80.5	17.8	1.7	Ara mig.	1.30	2.48	47.58	mod.ráp.	7.29	1.20	
	115-130	Ca	10YR3/2	10YR6/2	38.7	56.2	5.1	Mig.limoso	1.09	2.55	57.25	moderado	2.42	1.60	
	130-160	Ca	10YR3/1	10YR6/1	94.3	5.4	0.3	Arena	1.33	2.62	49.23	mod.ráp.	12.09	0.54	
160-200	Ca	10YR3/2	10YR6/3	48.9	40.6	10.5	Franco	1.16	2.49	53.41	mod.lent.	0.76	1.10		
sub.sue.		10YR3/2	10YR6/3	48.6	43.1	8.3	Franco	1.17	2.44	52.04	mod.lent.	1.13	1.60		

TABLA 1 CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS DE TRES PERFILES DEL RANCHO DE SAN FRANCISCO DE LA F.M.V. y Z., UNAM., EN CHALCO ESTADO DE MEXICO.

ESTÁ
SALIR
DE LA
BIBLIOTECA
TESIS
NO
REBE

MUESTRA No.	PROFUN- DIDAD cm	COLOR		TEXTURA			CLASIFICACION TEXTURAL	DENSIDAD		POROSIDAD %	PERMEABILIDAD-USDA		CE
		SECO	HUMEDO	ARENA	LIMO	ARCILLA		APARENTE	REAL		K(cm/h)	mmhos/cm	
				%				g/cm ³					
1	00-20	10YR3/2	10YR6/2	84.2	12.3	3.5	Arena migajosa	1.45	2.53	42.68	moderado	2.88	1.50
2	20-40	10YR3/2	10YR6/2	78.3	17.4	4.3	Arena migajosa	1.42	2.71	47.60	moderado	2.54	1.60
3	00-20	10YR3/2	10YR6/2	73.0	20.3	6.7	Migajón arenoso	1.39	2.68	48.13	lento	1.91	4.10
4	20-40	10YR3/2	10YR6/3	71.2	22.6	6.2	Migajón arenoso	1.30	2.63	50.57	moderado	2.42	2.20
5	00-20	10YR3/2	10YR6/3	46.2	37.4	16.4	Franco	1.16	2.32	50.00	lento	0.38	3.20
6	20-40	10YR3/2	10YR6/3	36.1	51.0	12.9	Franco	1.13	2.29	50.65	mod.lent.	0.53	2.80
7	00-20	10YR3/2	10YR6/3	73.2	19.6	7.2	Migajón arenoso	1.34	2.66	49.62	mod.lent.	1.84	1.20
8	20-40	10YR3/2	10YR6/3	68.2	23.7	8.1	Migajón arenoso	1.34	2.64	49.24	mod.lent.	1.82	1.30
9	00-40	10YR3/2	10YR6/2	77.3	17.2	5.5	Arena migajosa	1.35	2.68	49.62	moderado	2.68	2.75
10	00-40	10YR3/2	10YR6/3	58.9	31.6	9.5	Migajón arenoso	1.24	2.66	53.38	mod.lent.	1.11	17.00
11	00-40	10YR3/2	10YR6/3	58.0	33.5	8.5	Migajón arenoso	1.29	2.63	50.95	mod.lent.	1.07	7.90
12	00-40	10YR3/2	10YR6/3	76.0	13.8	10.2	Migajón arenoso	1.30	2.63	50.57	moderado	3.47	1.10
13	00-40	10YR3/2	10YR6/3	50.8	32.2	17.0	Franco	1.20	2.61	54.02	mod.lent.	1.10	2.05
14	00-40	10YR3/2	10YR6/3	79.4	14.7	5.9	Arena migajosa	1.40	2.66	47.36	moderado	2.98	0.97
15	00-40	10YR3/2	10YR6/2	90.0	7.2	2.8	Arena	1.49	2.72	45.22	moderado	4.88	0.73

TABLA 2. CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS MUESTRAS (F) Y (B) DE LOS SUELOS DEL RANCHO SAN FRANCISCO DE LA F.M.V. y Z., UNAM EN CHALCO, ESTADO DE MEXICO.

PER- FIL DIDAD	PROFLU- ca	CE ca	pH	BASES INTERCAMBIABLES				CJ C.T	MATERIA ORGANICA	NITROGENO TOTAL	P. ASI- MILABLE P-P ²⁻	CATIONES SOLUBLES			ANIONES SOLUBLES			RAS	PSB	PSI		
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻				Cl ⁻	SO ₄ ⁻
				mg/100g								mg/l										
1	00-40	28.00	7.80	12.0	6.45	6.52	0.25	13.9	1.29	0.089	24.5	41.00	71.72	191.74	5.08	0.00	8.40	184.00	123.00	2.15	183.60	46.91
	40-65	11.00	8.60	9.5	7.07	4.56	0.54	16.7	1.10	0.070	40.6	11.00	21.21	113.00	2.17	2.41	6.00	83.23	44.04	1.25	147.41	48.69
	65-90	4.10	8.90	6.0	8.80	5.00	1.02	14.4	1.10	0.036	10.5	2.40	7.05	37.39	0.76	1.20	4.80	30.91	11.48	1.84	144.58	61.11
	90-160	3.10	8.80	4.5	10.41	5.22	0.92	16.1	1.03	0.039	9.1	2.50	3.86	32.17	0.53	1.20	2.40	25.00	8.74	1.78	144.41	32.42
	sub. sus.	2.85	8.60	14.0	15.14	7.04	1.53	26.2	2.48	0.092	0.7	2.20	4.34	22.26	0.56	0.00	1.20	20.41	6.16	1.84	143.94	26.87
	sub. sus.	4.20	8.90	17.5	20.89	9.24	7.31	49.7	6.28	0.540	20.3	7.00	13.70	30.43	4.30	1.20	4.80	15.40	23.47	2.11	110.54	18.59
2	00-20	3.00	8.10	8.0	6.60	1.52	1.80	12.2	1.24	0.084	63.0	10.00	13.00	14.60	2.40	2.41	9.00	8.40	20.50	0.76	148.52	12.44
	20-55	6.10	8.80	10.0	10.35	3.00	0.60	12.9	1.36	0.056	10.5	5.20	21.60	42.60	2.83	2.41	4.89	16.31	35.00	0.94	185.56	23.25
	55-90	2.70	9.00	5.5	5.14	2.76	1.33	9.3	0.20	0.030	26.6	3.88	5.60	15.30	1.33	2.41	4.80	7.13	11.70	1.19	158.39	29.68
	90-122	2.70	9.20	6.5	7.64	3.15	1.78	12.0	0.62	0.039	2.8	1.40	3.14	21.21	1.43	1.20	4.81	5.33	12.30	1.17	160.58	26.25
	sub. sus.	3.40	8.90	9.0	10.89	9.02	7.31	32.9	1.31	0.078	4.9	2.59	3.02	34.60	3.82	2.41	1.20	9.10	33.12	2.86	110.09	27.42
	sub. sus.	0.88	8.70	3.0	2.45	0.77	0.60	5.6	0.20	0.014	10.5	6.00	5.13	4.86	0.53	2.41	3.60	0.57	6.16	0.24	121.78	15.40
	sub. sus.	3.60	9.00	12.5	14.32	11.95	10.45	39.0	1.86	0.061	10.5	1.40	2.50	27.65	3.25	0.00	5.42	7.79	16.11	3.26	126.20	30.64
3	00-50	0.73	7.80	5.5	6.52	0.91	0.85	8.6	1.10	0.072	4.9	1.80	2.07	3.34	0.76	0.00	4.20	1.30	2.20	0.27	160.23	10.58
	50-80	1.30	7.90	5.0	5.64	1.93	0.40	7.8	0.897	0.050	47.6	2.20	2.76	6.60	0.23	0.00	3.60	2.60	4.60	0.63	166.28	24.74
	80-100	2.30	8.30	6.5	5.99	1.33	0.51	8.7	0.048	0.036	43.4	7.00	11.50	7.86	0.31	0.00	1.20	3.50	23.47	0.53	164.71	15.29
	100-115	1.20	8.00	4.0	3.40	0.34	0.14	4.4	0.034	0.022	30.1	3.62	5.69	3.34	0.48	0.00	3.60	1.70	8.70	0.18	171.73	7.39
	sub. sus.	1.60	7.90	8.5	7.37	1.06	0.60	10.7	0.20	0.061	24.5	5.20	10.60	4.20	0.57	0.00	1.20	2.40	18.80	0.55	145.14	9.91
	130-160	0.54	7.80	3.0	1.62	0.54	0.23	3.3	1.51	0.016	18.9	1.60	1.85	1.58	0.16	0.00	1.20	0.57	4.28	0.35	163.33	16.36
	160-200	1.10	8.40	16.0	8.97	0.71	0.73	14.8	0.759	0.014	25.9	3.00	3.54	6.26	0.69	1.20	1.69	2.13	9.25	0.20	170.44	4.80
	sub. sus.	1.60	8.60	14.50	8.62	2.28	1.85	14.7	0.739	0.005	25.2	3.20	2.61	10.78	1.03	1.20	2.40	1.23	16.11	0.67	185.37	15.51

TABLA 3. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS MUESTRAS DE TRES PERFILES DE SUELOS DEL RANCHO SAN FRANCISCO DE LA F.M.V. Y Z., INMUN, EN CHALCO ESTADO DE MEXICO.

MUESTRA	PROFUNDIDAD cm	C-E mg/kg	pH	BASES INTERCAMBIABLES				C.I. CT	MATERIA ORGANICA %	NITROGENO TOTAL %	PASI- MELABLE P.P.M.	CATIONES SOLUBLES				ANIONES SOLUBLES				RAS	P.S.B %	P.S.I
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼			
1	00-20	1.50	7.80	7.50	4.32	0.78	1.02	8.3	1.23	0.075	49.0	4.99	5.34	5.60	1.70	0.00	7.20	4.30	5.90	0.32	166.51	9.40
2	20-40	1.60	8.30	9.50	3.45	1.13	1.37	9.3	1.23	0.061	38.5	4.13	4.73	9.10	2.70	0.00	9.20	6.00	5.80	0.53	123.12	12.15
3	00-20	4.10	8.00	11.50	3.76	2.23	1.53	10.1	1.23	0.000	59.5	13.20	17.10	23.20	3.02	0.00	6.00	15.80	36.80	0.81	188.32	22.08
4	20-40	2.20	8.60	9.00	5.80	1.93	1.28	10.5	1.23	0.050	84.0	7.00	4.65	15.30	1.43	1.20	9.60	3.77	10.16	0.71	171.52	18.28
5	00-20	3.20	8.20	13.30	12.40	2.33	1.57	22.1	2.39	0.198	45.5	7.58	13.10	12.10	2.20	0.00	8.40	7.90	14.70	0.65	134.84	10.54
6	20-40	2.80	8.40	15.50	11.79	2.17	2.13	21.2	2.39	0.005	30.8	5.68	10.34	12.10	1.20	0.00	9.20	6.30	12.30	0.59	144.91	9.95
7	00-20	1.20	7.60	7.50	4.52	0.91	0.99	10.9	1.64	0.179	73.5	2.76	4.31	4.52	1.21	0.00	4.80	1.60	4.90	0.37	127.71	8.35
8	20-40	1.30	8.00	9.00	4.26	1.17	0.98	11.3	1.57	0.080	84.0	2.76	3.97	6.87	0.62	1.20	4.82	1.80	4.97	0.42	153.18	10.35
9	00-40	2.75	8.80	7.50	3.68	1.63	1.23	9.1	1.02	0.002	58.1	5.00	8.27	16.08	2.33	2.41	7.22	6.32	20.22	0.64	176.48	18.13
10	00-40	17.00	8.90	10.50	6.77	13.26	3.60	13.3	1.43	0.120	39.9	22.07	30.86	253.04	3.26	2.41	10.84	170.54	168.45	4.55	256.62	99.70
11	00-40	7.90	8.80	11.50	10.77	2.10	2.43	14.0	1.36	0.067	57.4	7.76	19.84	33.47	4.12	1.20	10.80	18.69	50.32	0.63	191.43	13.00
12	00-40	1.10	8.00	8.50	4.91	1.06	0.81	10.0	1.46	0.075	58.1	2.59	4.48	5.74	0.61	1.20	4.20	1.90	6.60	0.41	152.80	10.60
13	00-40	2.05	7.70	14.40	9.63	1.60	2.92	20.6	2.80	0.156	56.1	4.03	3.80	4.90	1.78	0.00	6.02	2.10	8.57	0.46	138.60	7.77
14	00-40	0.97	7.30	5.50	4.21	0.75	0.66	8.8	1.57	0.047	45.5	2.41	3.45	4.00	1.00	0.00	4.82	1.88	4.28	0.34	126.36	8.57
15	00-40	0.73	7.60	3.00	1.47	0.75	0.36	5.7	0.80	0.022	46.5	2.76	1.53	3.73	0.41	0.00	2.41	2.39	2.40	0.42	132.98	13.16

TABLA 4. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS MUESTRAS (F) Y (B) DE LOS SUELOS DEL RANCHO SAN FRANCISCO DE LA F.N.V. Y Z., UNAM., EN CHALCO ESTADO DE MEXICO.

PARAMETRO	UNIDADES	PERFIL 1			PERFIL 2			PERFIL 3			MUESTRAS (F)			MUESTRAS (S)		
		MAXIMO	MINIMO	\bar{x}	MAXIMO	MINIMO	\bar{x}	MAXIMO	MINIMO	\bar{x}	MAXIMO	MINIMO	\bar{x}	MAXIMO	MINIMO	\bar{x}
COLOR	humedo	pardo grisáceo			pardo grisáceo			pardo grisáceo			pardo grisáceo			pardo grisáceo		
	seco	muy oscuro			muy oscuro			pardo grisáceo			pardo grisáceo			muy oscuro		
	aparente g/cm ³	1.23	0.72		1.36	0.89		1.40	1.09		1.45	1.13		1.49	1.20	
DENSIDAD	real	2.60	2.22		2.58	2.36		2.63	2.44		2.71	2.29		2.72	2.61	
PERMEABILIDAD	K (cm/h)	moderadamente lento			moderadamente lento			moderadamente lento			moderadamente lento			moderado		
TEXTURA		sigajón arenoso			sigajón arenoso			franco			sigajón arenoso			sigajón arenoso		
Conduc. eléctrica	mhos/cm	26.00	2.85	8.54	6.10	0.88	1.20	2.30	0.54	1.29	4.10	1.20	2.23	17.00	0.73	4.64
p.H		8.90	6.90	8.70	9.20	8.10	8.80	8.60	7.80	8.00	8.60	7.60	8.11	8.90	7.30	8.16
Ca ⁺⁺	meq/100g	17.50	6.00	10.90	12.50	3.00	7.78	16.00	3.00	7.87	15.50	5.50	9.87	14.40	5.00	8.98
Mg ⁺⁺	" "	20.89	6.00	11.49	14.32	2.45	8.29	8.97	1.62	5.76	12.40	3.45	6.56	10.77	1.47	6.20
Na ⁺	" "	9.24	4.56	6.26	11.95	0.77	4.29	2.28	0.34	1.13	2.33	0.78	1.58	13.26	0.75	3.10
K ⁺	" "	7.31	0.54	1.97	10.45	0.60	3.41	1.85	0.16	0.66	2.13	0.88	1.34	3.60	0.36	1.71
C.I.C.T	" "	49.70	13.90	22.50	39.00	5.60	17.17	14.80	3.30	9.15	22.10	8.30	13.03	20.60	5.70	11.64
Materia orgánica	%	6.38	1.03	2.26	1.86	0.20	0.97	1.51	0.034	0.66	2.39	1.23	1.61	2.80	0.88	1.50
Nitrogeno total	%	0.54	0.04	0.14	0.08	0.01	0.05	0.07	0.01	0.03	0.20	0.00	0.08	0.16	0.002	0.07
P asimilable	p.p.m	40.6	0.70	17.61	23.00	2.80	18.40	47.60	18.90	27.56	84.00	30.80	58.10	66.50	39.90	54.91
Ca ⁺⁺	meq/l	41.0	2.20	1.00	10.00	1.40	4.35	7.00	1.60	3.45	13.20	2.76	6.01	22.07	2.41	6.94
Mg ⁺⁺	" "	71.72	3.84	20.31	21.60	2.50	7.71	11.50	1.85	5.07	17.10	3.97	7.94	30.86	1.55	10.32
Na ⁺	" "	191.74	22.36	71.76	42.60	4.86	22.97	78.00	1.58	5.49	23.20	4.52	11.09	253.04	3.73	48.86
K ⁺	" "	5.08	0.54	2.23	3.82	0.53	2.25	1.03	0.16	0.52	3.02	0.62	1.76	4.12	0.41	1.93
CO ₃ ⁼⁼	" "	2.41	0.00	1.00	2.41	1.20	2.06	1.20	0.00	0.30	1.20	0.00	0.15	2.41	0.00	1.20
HCO ₃ ⁻	" "	8.40	1.20	4.60	9.00	1.20	2.41	4.20	1.20	2.38	9.80	4.80	7.40	10.89	2.41	6.51
Cl ⁻	" "	184.00	15.40	76.49	16.31	0.57	6.94	3.50	0.51	1.92	15.80	1.60	5.93	120.54	1.88	21.97
SO ₄ ⁼⁼	" "	123.00	6.16	36.20	35.12	6.16	19.35	23.47	2.20	10.92	36.80	4.90	12.94	168.45	2.40	37.29

TABLA 5. COMPENDIO DE LAS TABLAS 1, 2, 3, y 4 DONDE SE MUESTRAN LOS NIVELES MAXIMOS MINIMOS Y PROMEDIOS DE LAS 33 MUESTRAS ANALIZADAS, TANTO DE LOS TRES PERFILES COMO DE LAS MUESTRAS SUPERFICIALES DEL RANCHO DE SAN FRANCISCO EN CHALCO ESTADO DE MEXICO.

Serie	Familia	Orden
Acatizhuayan	Arenoso,mezclado,no ácido e isotérmico.	Entisol
Ayotla	Francoso,grueso,mezclado e isotérmico.	Mollisol
Canutillo	Francoso, fino,mezclado e isotérmico.	Mollisol
Cocotitlán	Francoso,grueso,mezclado no ácido, isotérmico.	Entisol
Cuahutzingo	Francoso, fino,mezclado e isotérmico	Mollisol
Huitzilzingo	Francoso,grueso,mezclado e isotérmico	Entisol
Huxtoco	Francoso, fino,mezclado e isotérmico	Mollisol
San Mateo	Francoso,grueso,mezclado.	Entisol
Mixquic	Francoso, fino,mezclado e isotérmico	Inceptisol
Santa Cruz	Mezclado,no ácido e isotérmico.	Entisol
San Marcos	Francoso,grueso,mezclado e isotérmico.	Mollisol
Tlapala	Francoso,grueso,mezclado e isotérmico.	Mollisol
Temamatla	Francoso,grueso,mezclado,no ácido, isotérmico.	Entisol
Tecomitl	Arenoso,mezclado, no ácido e isotérmico.	Entisol
Tetelco	Francoso,grueso,mezclado,no ácido, isotérmico.	Entisol
Xico	Francoso,grueso,mezclado e isotérmico.	Mollisol
Zula	Arenoso,mezclado,no ácido e isotérmico.	Entisol
Variante Sta. Cruz.	Mezclado,no ácido e isotérmico.	Entisol

Tabla 6. CLASIFICACION DE LOS SUELOS DE LA SUBCUENCA DE CHALCO, DE ACUERDO CON EL SISTEMA USDA, 7^o APROXIMACION.

Serie	Subgrupo	Gran grupo
Acatizhuayan	Fluvisol Eútrico	Fluvisol
Ayotla	Solonetz Mollico	Solonetz
Carutillo	Phaeozem Háptico	Phaeozem
Cocotitlán	Fluvisol Eútrico	Fluvisol
Cuahutzingo	Phaeozem Háptico	Phaeozem
Huitzilzingo	Fluvisol Gleýico	Fluvisol
Huxtoco	Phaeozem Háptico	Phaeozem
San Mateo	Fluvisol Eútrico	Fluvisol
Mixquic	Gleyisol Eútrico	Gleysol
Santa Cruz	Arenosol Cámbico	Arenosol
San Marcos	Phaeozem Háptico	Phaeozem
Talpala	Phaeozem Háptico	Phaeozem
Temamatla	Fluvisol Eútrico	Fluvisol
Tecomil	Regosol Eútrico	Regosol
Tetelco	Fluvisol Eútrico	Fluvisol
Xico	Solonchack Mollico	Solonchack
Variante santa Cruz	Arenosol Cámbico	Arenosol
Zula	Fluvisol Eútrico	Fluvisol

TABLA 7. CLASIFICACION DE LOS SUELOS DE LA SUBCUENCA DE CHALCO SEGUN EL SISTEMA FAO (MODIFICADO POR CETENAL).

SAN FRANCISCO

Perfil 1

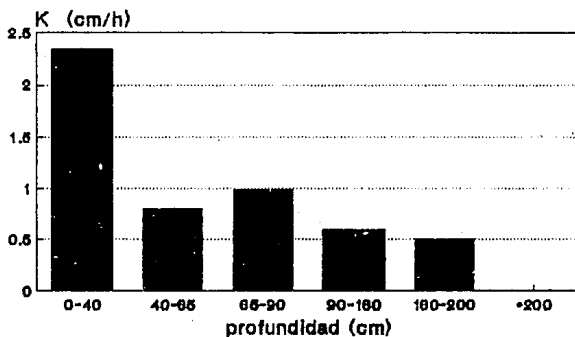


Fig. 5 Permeabilidad del agua en el Perfil 1.

SAN FRANCISCO

Perfil 2

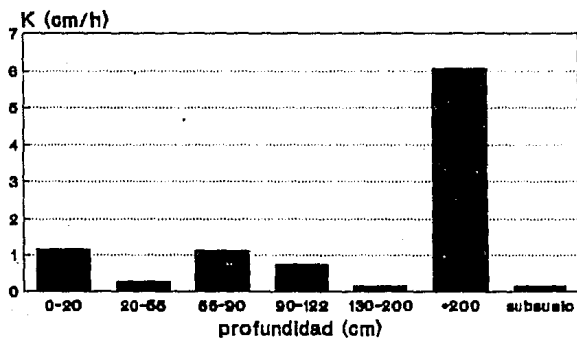


Fig. 6 Permeabilidad del agua en el Perfil 2.

SAN FRANCISCO

Perfil 3

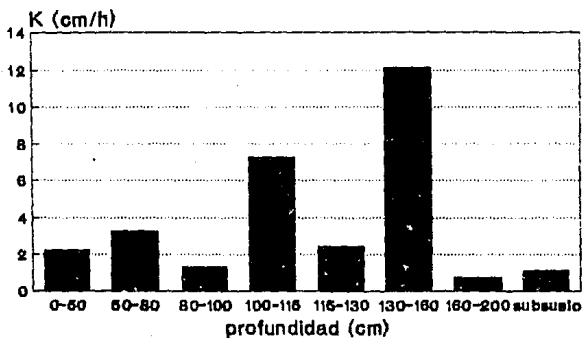


Fig. 7 Permeabilidad del agua en el Perfil 3.

SAN FRANCISCO

Limo + Arcilla

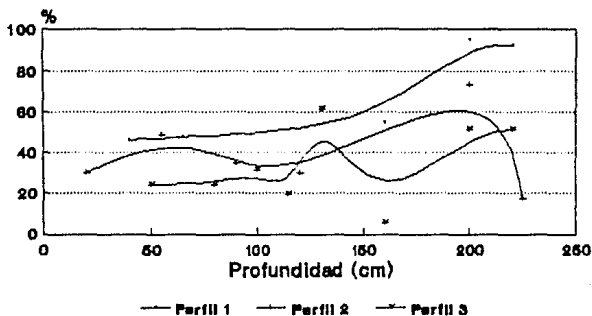


Fig. 8 Distribución de limos más arcillas con respecto a la profundidad en los Perfiles 1, 2 y 3.

SAN FRANCISCO

Conductividad eléctrica

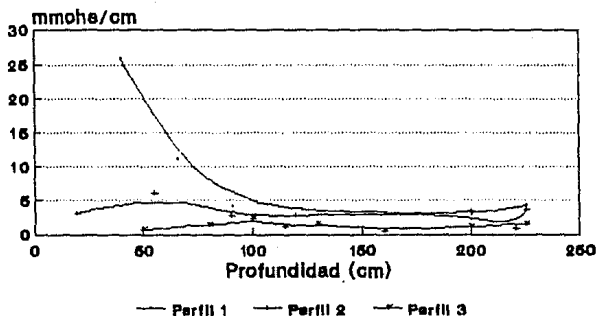


Fig. 9 Variaciones con respecto a la salinidad en los Perfiles 1, 2 y 3, interpretados según su conductividad eléctrica en los extractos de las pastas de saturación.

SAN FRANCISCO

pH

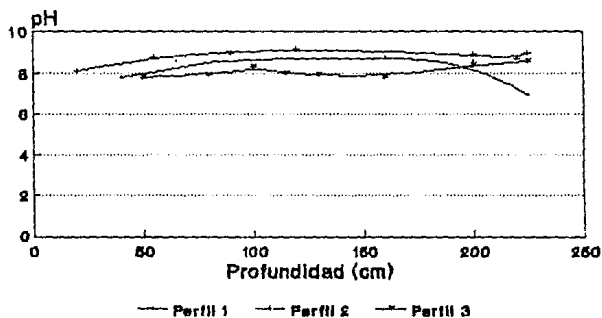


Fig. 10 Actividad de los iones hidrógeno en los Perfiles 1, 2 y 3 en las distintas profundidades.

SAN FRANCISCO

Materia Orgánica

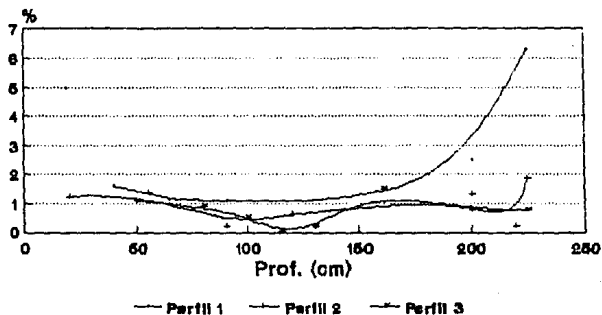


Fig. 11 Distribución del porcentaje de materia orgánica en las distintas profundidades de los Perfiles 1, 2 y 3.

SAN FRANCISCO

Nitrógeno Total

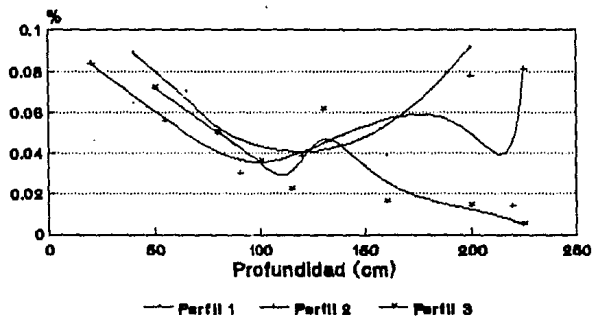


Fig. 12 Distribución porcentual del nitrógeno total en los Perfiles 1, 2 y 3.

SAN FRANCISCO

Fósforo

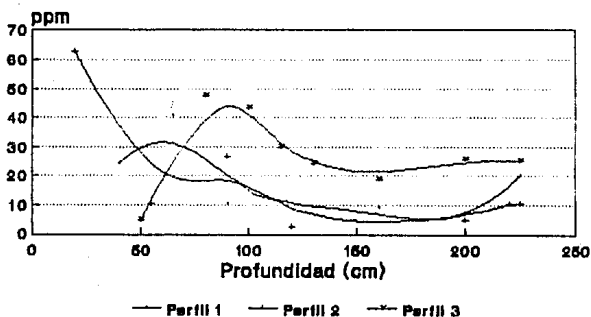


Fig. 13 Comportamiento del fósforo extractable en los Perfiles 1, 2 y 3.

SAN FRANCISCO

Intercambiables Perfil 1

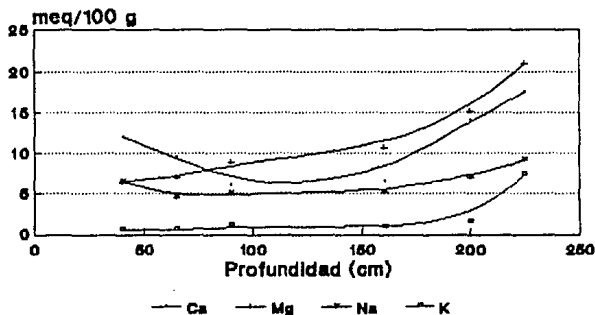


Fig. 14 Distribución de los cationes intercambiables Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio en el Perfil 1.

SAN FRANCISCO

Intercambiables Perfil 2

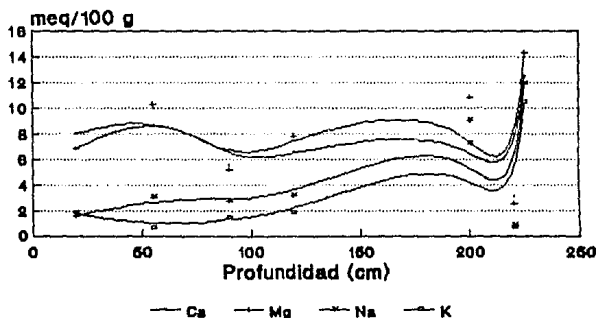


Fig. 15 Concentración y comportamiento de los cationes intercambiables Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio en el Perfil 2.

San Francisco Intercambiables Perfil 3

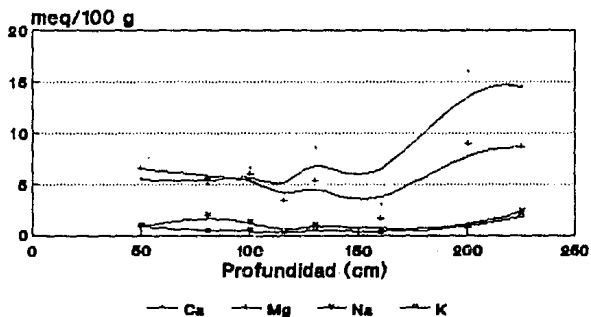


Fig. 16 Concentración y comportamiento de los iones intercambia-
bles Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio en el Perfil 3.

SAN FRANCISCO Solubles Perfil 1

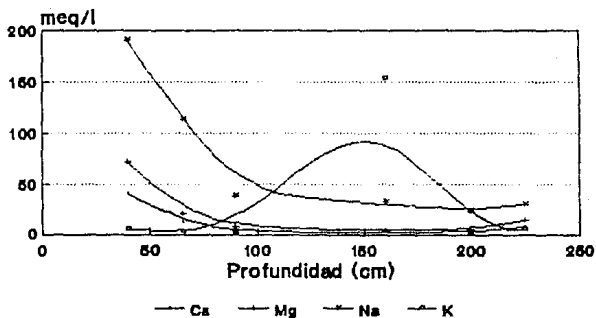


Fig. 17 Concentración en meq/l y distribución de los cationes solubles Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio en el Perfil 1.

SAN FRANCISCO

Solubles Perfil 2

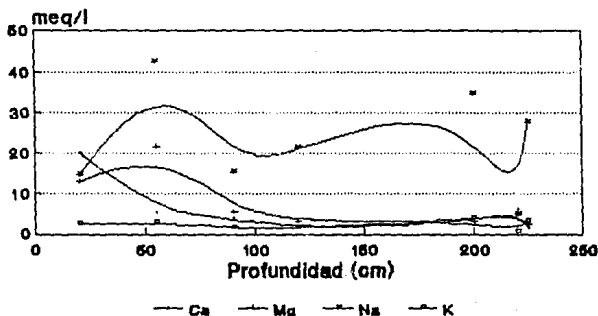


Fig. 18 Concentración en meq/l y distribución de los cationes solubles Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio en el Perfil 2.

SAN FRANCISCO Solubles Perfil 3

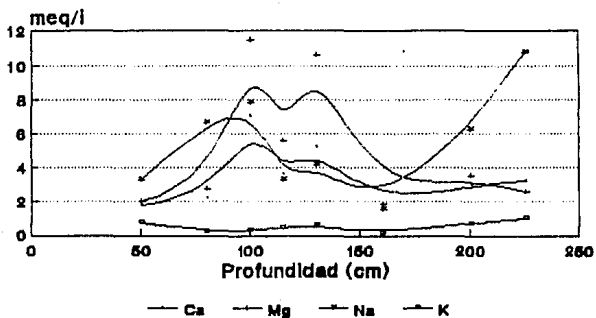


Fig. 19 Concentración de cationes solubles Calcio, Magnesio Sodio y Potasio en meq/l y su comportamiento en el Perfil 3.

SAN FRANCISCO PSI

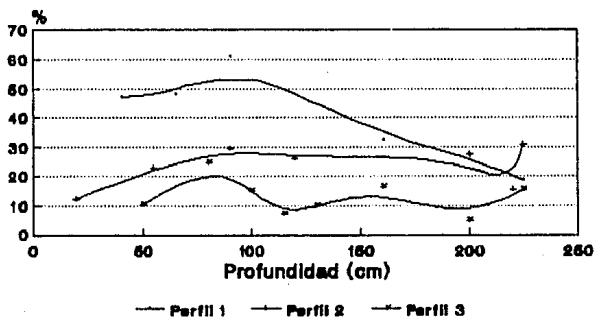


Fig. 20 Porcentaje de sodio intercambiable y su comportamiento en las distintas profundidades de los Perfiles 1, 2 y 3.

SAN FRANCISCO PSB

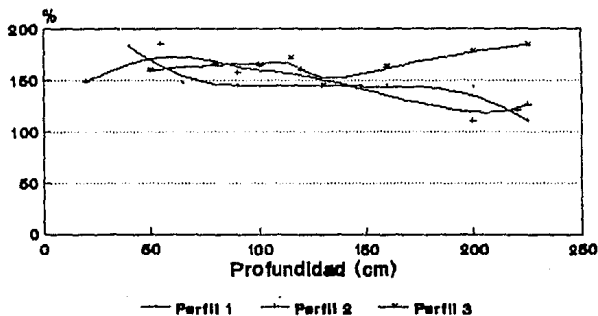


Fig. 21 Porcentaje de saturación de bases y su comportamiento en las distintas profundidades de los Perfiles 1, 2 y 3.

SAN FRANCISCO PSB

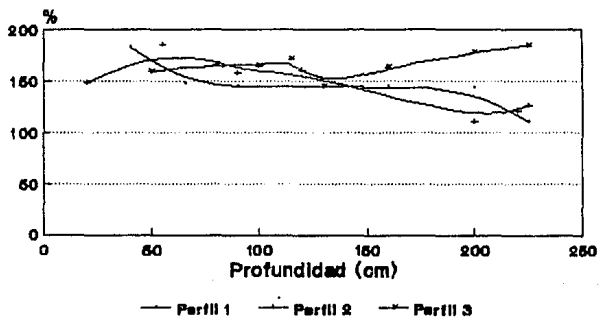


Fig. 21 Porcentaje de saturación de bases y su comportamiento en las distintas profundidades de los Perfiles 1, 2 y 3.