

ESTUDIO EDAFOLOGICO DE LOS MUNICIPIOS DE CUAUTITLAN, ESTADO DE MEXICO¹

David Flores-Román²
Nicolás Aguilera-Herrera³
Lourdes Flores-Delgado²

RESUMEN

Se realizó un estudio edafológico en un área aproximada de 5,500 ha, en los municipios de Cuautitlán, Estado de México, cuyos objetivos fueron: caracterizar morfogénica y taxonómicamente a los suelos, establecer su nivel de fertilidad y clasificarlos agrícolamente.

Con base en la "Clasificación de suelos 7a. aproximación" (Soil Survey Staff, 1960), estos suelos pertenecen al orden Inceptisoles, suborden Andept, gran grupo Umbrandept y subgrupo Mólico-vértico. Con base en la clasificación de la FAO-UNESCO 1970, modificada por CETENAL (1975), estos suelos pertenecen al gran grupo Phaeozem y al subgrupo Vértico (Andico). En relación a su fertilidad, presentan características físicas y químicas altamente satisfactorias para la explotación de cultivos adaptados climáticamente al área. Agrícolamente, estos suelos son de primera clase en condiciones de riego y de segunda clase en condiciones de temporal, demeritados principalmente por textura.

ABSTRACT

An edafological study was made in an approximately 5,500 ha area in the municipalities of Cuautitlán, Mexico State, with the purpose of characterizing morphogenetically and taxonomically the soils, to establish their fertility level and agronomic classification.

According to the "Soil classification 7th approximation" (Soil Survey Staff, 1960), the soils belong to the order Inceptisol, sub-order Andept, great group Umbrandept and sub-group Molic-Vertic. According to the FAO-UNESCO 1970 classification, modified by CETENAL (1975), soils belong to the great group Phaeozem and the subgroup Vertic (Andic). In relation to their fertility, they present satisfactory physical and chemical characteristics to grow all the climatic adapted crops. Agronomically, the soils under irrigation conditions are first class; without these conditions they are second class, demerited by texture.

INTRODUCCION

El conocimiento de los recursos naturales constituye la base para su mejor explotación y/o aprovechamiento. En particular, el recurso suelo reviste gran importancia, ya que de él derivan actividades humanas como la explotación agrícola y pecuaria, el establecimiento de núcleos de población, de zonas industriales y otras actividades.

En la actualidad, dada la explosión demográfica en nuestro país y, en particular, la necesidad de producir más alimentos, el estudio de los suelos desde el punto de vista agrícola alcanza un nivel de relevancia, principalmente cuando son de buena clase agrícola y disponen de agua para riego. Por otra parte, se ven amenazados por el urbanismo y el establecimiento de zonas industriales.

En el presente proyecto se estudiaron los suelos agrícolas de los municipios de Cuautitlán, Estado de México, cubriendo una superficie aproximada de 5,500 ha. Los objetivos de esta investigación fueron: caracterizar morfogénica y taxonómicamente dichos suelos, establecer su nivel de fertilidad y clasificarlos agrícolamente. Se describieron seis perfiles y se hicieron siete verificaciones; en las 90 muestras de suelos obtenidas se practicaron en total 1, 435 determinaciones de laboratorio.

CARACTERIZACION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

LOCALIZACION

El área de estudio está ubicada 30 km al norte de la Ciudad de México. Geográficamente se encuentra entre los paralelos 19°39'

- 19°45' N y los meridianos 99°08' - 99°14' W, sobre una altitud de 2,250 m.s.n.m. (Figura 1).

Políticamente la mayor parte del área estudiada corresponde a los municipios de Cuautitlán de Romero Rubio y Cuautitlán Izcalli, Estado de México. La zona antiguamente estaba dedicada a la agricultura en su mayor parte, y a la ganadería lechera en menor proporción; actualmente está fuertemente invadida por la industria y el urbanismo.

GEOLOGIA

El área de estudio está dentro de la Cuenca de México, que a su vez se encuentra rodeada al norte por las sierras de Pachuca y Tezontlalpan, al sur por la del Chichinautzin, al oriente por las de Tepozán y Calpualpan, al suroriente por las sierras de Río Frío y Nevada, al surponiente por las de Monte Alto y Las Cruces, al poniente por la sierra de Monte Bajo, y al norponiente por la sierra de Tepetzotlán (Oviedo de León, 1970). El área de estudio se encuentra situada en la parte occidental de dicha cuenca, cercana a las sierras de Monte Bajo y Tepetzotlán.

Subyacen al área estudiada depósitos aluviales lacustres y clásticos del Cuaternario. Rodeando a estos depósitos se encuentran abanicos aluviales y conos cineríticos de la serie volcánica basáltico-andesítica. Estas rocas constituyen los cerros La Columna, El Filo y El Gordo al norponiente del área de Melchor Ocampo, al oriente; y Barrientos y Tlayacampa al sur (D.D.F. y S.R.H., 1960). A partir de estas rocas, mediante la erosión fluvial y eólica, han llegado a constituir el material madre que se prestó para el desarrollo de los suelos que actualmente existen.

CLIMA

Para la caracterización climática se consultó la Carta de Climas México 14 Q-V, editada por la Comisión de Estudios del Territo-

¹ Instituto de Geología, UNAM-FES Cuautitlán, por convenio.

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.

³ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.

rio Nacional y el Instituto de Geografía de la UNAM (1970). Asimismo, para las consideraciones climáticas se tomaron en cuenta los datos de la estación meteorológica de Tepotzotlán, Estado de México, situada en las inmediaciones del área de estudio.



Figura 1.- Localización geográfica del área de estudio.

Con base en la clasificación de climas según Köppen, modificada por García (1973), se presenta el clima C(Wo) (W)b (i'), el cual se caracteriza por ser templado húmedo, el más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano, con un cociente P/T < 43.2, el régimen de lluvias de verano por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco, un porcentaje de lluvia invernal < 5 de la anual; verano fresco largo, temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22°C, con poca oscilación térmica, entre 5 y 7°C.

La temperatura en relación a la agricultura es favorable para aquellos cultivos adaptados a climas templados, principalmente en las estaciones de primavera y verano, donde se presentan las temperaturas más favorables (17.0 - 18.5°C medias mensuales) lo que, además, coincide con la época de lluvias, motivando buen desarrollo de cultivos de ciclo corto como maíz y frijol y propicia un mayor crecimiento en cultivos perennes como alfalfa y pastizales. Sin embargo, durante la segunda mitad del otoño y prácticamente todo el invierno, se presentan heladas negras y blancas que afectan significativamente a aquellos cultivos sensibles que fueron sembrados tardíamente en el ciclo primavera-verano. Esta manifestación de temperaturas bajas en dichas estaciones limita el número de cultivos que se practica en el área, restringiéndose la mayor producción agrícola a la obtenida en el temporal.

Como se observa en la Figura 2, el período de lluvias comprende el lapso mayo-septiembre, cinco meses de lluvia que podría suponerse son suficientes para llevar a término cultivos de escarda de ciclo corto, considerando los 620 mm de precipitación anual. Sin embargo, la distribución de este volumen de lluvia es irregular. Mientras que en mayo solamente se obtienen 50 mm, en junio 105 mm y en julio 150 mm; es decir, el 60% de la precipitación total anual (372 mm) se presenta tan solo en tres meses (junio-julio-agosto). Tal distribución impide un establecimiento óptimo y un desarrollo favorable del cultivo; no obstante, la agricultura de temporal se practica ininterrumpidamente en la zona, ayudada fundamentalmente por el beneficio del agua de riego que existe en el área.

SUELOS

Geomorfológicamente, el área de estudio corresponde a una planicie con pendientes inferiores al 1%, rodeada por formaciones cerriles y montañosas de altitudes variables, que en su conjunto pue-

den constituir una pequeña cuenca cerrada. Aquí los suelos se han derivado de los sedimentos depositados en las partes bajas acarreados por el agua y por el viento, que fueron detectados en los perfiles de los suelos estudiados, al encontrarse lentes arenosos alternando con otros arcillosos.

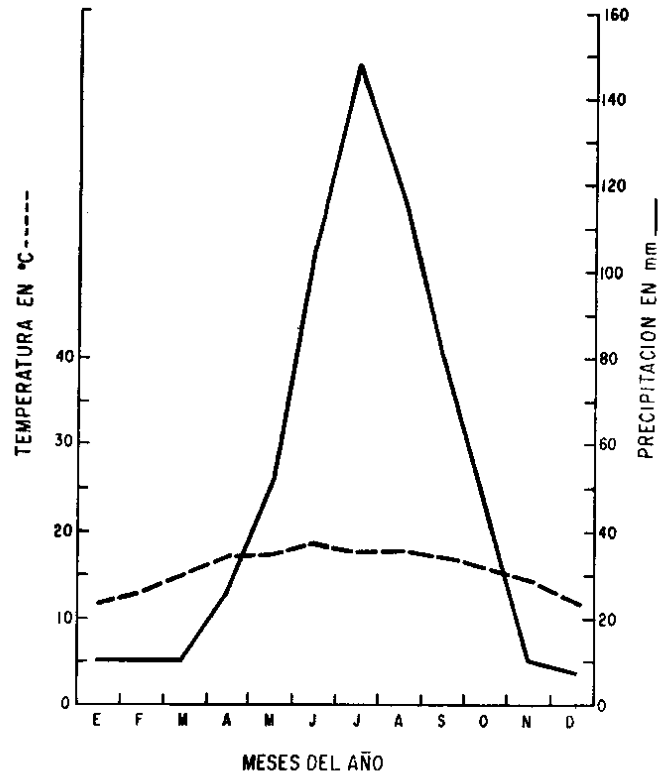


Figura 2.- Variación mensual de temperatura y precipitación de la estación meteorológica de Tepotzotlán, México.

Se infiere por la misma condición geomorfológica que el área antiguamente fue un lago y que aún en ambiente lacustre continuó el depósito de sedimentos. Esta afirmación se funda en el hecho de que muy cerca del área se encuentra todavía una laguna, la de Zumpango, donde existe un tirante de agua variable durante el año. Otro hecho es la presencia abundante de sauces, plantas arbóreas que viven en condiciones de hidromorfismo.

A medida que pasó el tiempo, dados los altos niveles de evapotranspiración y principalmente el uso incrementante del agua, el espejo se redujo hasta desaparecer, permaneciendo el agua solamente en el subsuelo. Esta condición de agua freática también pasó por una etapa en la que bajó el manto, a medida que las necesidades de substracción aumentaron considerablemente en relación a las de recarga. Todavía existen evidencias en los alrededores, ya que es posible ver antiguas norias (pozos a cielo abierto), de donde los habitantes del área obtenían agua a poca profundidad, y las cuales actualmente están secas. Además, desde hace varios años existen pozos profundos que extraen agua para las poblaciones vecinas e, incluso, para la Ciudad de México.

A través del tiempo, los suelos pasaron por una etapa de intrazonalidad, de hidromorfismo, donde la materia orgánica y riqueza en nutrientes se conservaron mientras se mantuvo el manto freático. Posteriormente, en condiciones de zonalidad y explotación agrícola, los suelos han mantenido buen nivel de fertilidad, en parte porque tienen agua de riego todo el año, y por la práctica agrícola común de incorporar estiércol, principalmente de bovino, a intervalos regulares.

Puede considerarse que estos suelos planos, profundos, de migajón arcilloso como textura dominante, son de buena calidad agrícola y pueden ser explotados intensivamente sin menoscabo de sus características físicas, químicas y biológicas, sin olvidar prácticas elementales de manejo y conservación (Flores *et al.*, 1980).

VEGETACION

La vegetación natural en el área de estudio se encuentra totalmente alterada por las actividades del hombre, principalmente por las actividades agropecuarias e industriales y en menor proporción por la urbanización. No obstante, sobreviven algunas especies en sitios incultos, linderos parcelarios, bordos de carreteras, etc.

En el estrato arbóreo se observa: sauce (*Salix* spp.), fresno (*Fraxinus* spp.), pirul (*Schinus molle*), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), capulín (*Prunus serotina*) y tejocote (*Crataegus pubescens*). Dentro de éstos, los más abundantes son los sauces en los bordos de los canales de riego y linderos parcelarios. La dominancia de estos árboles nos relaciona con el origen geomorfológico de los suelos, origen lacustre ya citado, que proporcionó condiciones favorables para el establecimiento de estas plantas.

Los arbustos son escasos y los pocos que se encuentran pertenecen a la familia de las compuestas.

El estrato herbáceo es abundante de especies, aunque todas ellas están en relación con el disturbio humano, es decir, se comportan como malas hierbas. Las especies dominantes que se observan en terrenos de cultivo, áreas incultas, bordos de caminos, canales de riego, etc., pertenecen a las siguientes familias: Gramineae: zacate bermuda (*Cynodon dactylon*), zacate liendrilla (*Agrostis* spp., *Poa annua*, *Eleusine tristachya*), zacate bromo (*Bromus caharticus*) y otros. Compositae: rosilla (*Bidens pilosa*), acahualillo (*Simsia amplexicaulis*), acahual (*Tithonia tubaeformis*), cosmos (*Cosmos bipinnatus*), diente de león (*Taraxacum officinale*) y muela de caballo (*Sonchus oleracea*). Leguminosae: meliloto blanco (*Melilotus alba*), meliloto amarillo (*Melilotus officinalis*). Cruciferae: habillo (*Brassica capestris*), bolsa del pastor (*Capsella bursa-pastoris*), lentejilla (*Lepidium campestris*). Polygonaceae: lengua de vaca (*Rumex crispus*). Plantaginaceae: llantén (*Plantago lanceolata*).

La vegetación cultivada está representada por varios cultivos anuales y perennes. Dentro de los anuales o de ciclo corto están el maíz para grano y forrajero, frijol, avena y algunas hortalizas como calabaza, calabacita, rabanito, lechuga y zanahoria. Los cultivos perennes que se practican son alfalfa y algunos frutales a nivel de huerta familiar.

METODOLOGIA

MUESTREO DE SUELOS

La ubicación de los sitios de muestreo se hizo con base en un estudio previo de fotointerpretación, para lo cual se utilizaron fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro de escala 1:30,000 y recorridos por toda el área. De esta fotointerpretación se decidió estudiar seis perfiles de suelos y siete sondeos en los sitios que se señalan en la Figura 3. Las dimensiones de los pozos fueron de 2-m de longitud, 1 m de anchura en todos ellos y la profundidad de 2 m en dos de ellos, 1.3 m en otros dos y 1.2 m en los dos restantes. La toma de muestras se efectuó cada 10 cm y el total de las mismas fue de 90.

ANALISIS DE SUELOS

Las determinaciones físicas y químicas de las muestras de suelos se realizaron en el Departamento de Edafología del Instituto de

Geología de la UNAM. Una vez secadas y tamizadas, se practicaron a las muestras las determinaciones siguientes:

Determinaciones físicas: Color, por comparación con las Tablas Munsell. Densidad aparente, por el método de probeta (g/ml). Textura, por el método de hidrómetro de Bouyoucos (%).

Determinaciones químicas: Reacción del suelo (ph), por medio del potenciómetro Beckman Zeromatic, con electrodos de vidrio, se usó una suspensión de suelo-agua en relación 1:2.5. Materia orgánica, se usó el método de Walkley y Black. Capacidad de intercambio catiónico total, se obtuvo por el método de centrifugación; la muestra se saturó con CaCl_2 pH 7, se lavó con alcohol etílico y saturó de nuevo con NaCl IN pH 7; se titula por medio del versenato 0.02 N (meq/100 g). La conductividad eléctrica fue medida por el extracto de la pasta de saturación mediante un puente de conductividad Beckman Solu-bridge (mmhos/cm a 25°C). Alófono, por el método semicuantitativo de Fieldes y Perrot. Fósforo asimilable, por el método de Bray I. Calcio, magnesio, hierro, zinc y manganeso asimilables, cuantificados por absorción atómica en un aparato Perkin Elmer mod. 372. Potasio y sodio, por flamometría en un aparato Corning 400.

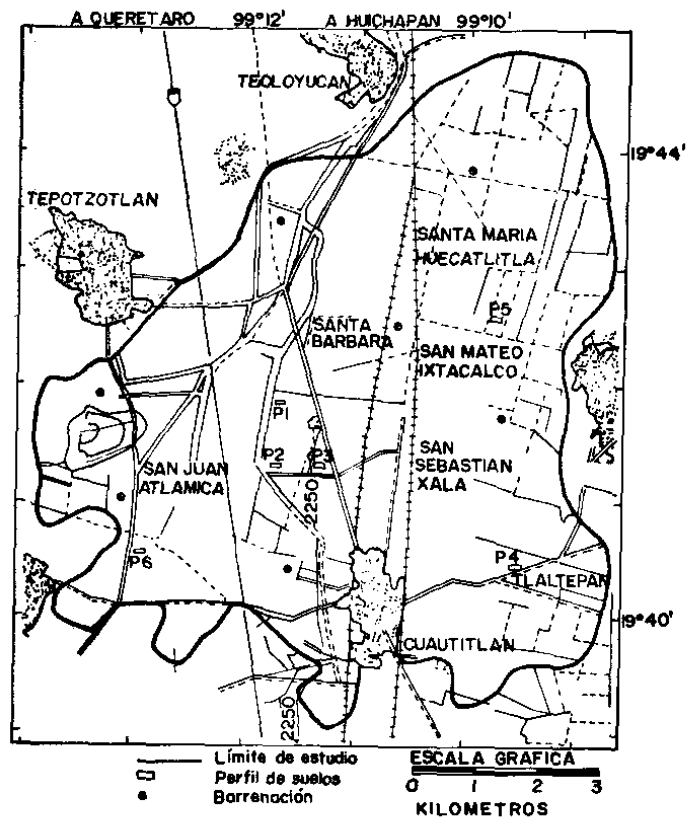


Figura 3.- Ubicación y delimitación del área de estudio.

DESCRIPCION MORFOLOGICA DE LOS SUELOS (Figura 4)

PERFIL 1 (Tabla 1)		
Horizonte	Profundad (cm)	Características morfológicas
Ap	0-30	Color pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación media; porosidad media abundante, consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcilloso; estructura poliédrica sub-angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; macrofauna algunos roedores y lombrices; contenido de raíces muy abundante.

Horizonte	Profundidad (cm)	Características morfológicas	Horizonte	Profundidad (cm)	Características morfológicas
AB	30- 60	Color gris 10YR 5/1 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación fuerte; porosidad fina y abundante; consistencia en seco fuerte; muy plástico; muy adhesivo; textura arcillosa; película arcillosa, delgada, discontinua y vertical; facetas de presión muy abundantes; estructura poliédrica angular muy grande; permeabilidad muy lenta; drenaje eficiente; fauna algunas lombrices; contenido de raíces abundante.	C2	120-150	Color pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación muy poca; porosidad gruesa y abundante; consistencia en seco friable; muy poco plástico; muy poco adhesivo; textura arena migajosa; sin estructura; permeabilidad muy rápida; drenaje excesivo; contenido de raíces muy escaso.
BC	60- 90	Color gris pardo claro 10YR 6/2 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación media; porosidad fina y abundante; consistencia en seco fuerte; plástico, adhesivo; textura migajón arcillo-arenoso; película arcillosa, delgada, discontinua y vertical; facetas de presión muy abundantes; estructura poliédrica sub-angular media; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces escaso.	C3	150-200	Color pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación poca; porosidad media y abundante; consistencia en seco blanda; poco plástico; poco adhesivo; textura migajón arenoso; estructura granular media; permeabilidad rápida; drenaje excesivo; contenido de raíces muy escaso.
Cl	90-120	Color gris oscuro 10YR 4/1 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación poca, porosidad			

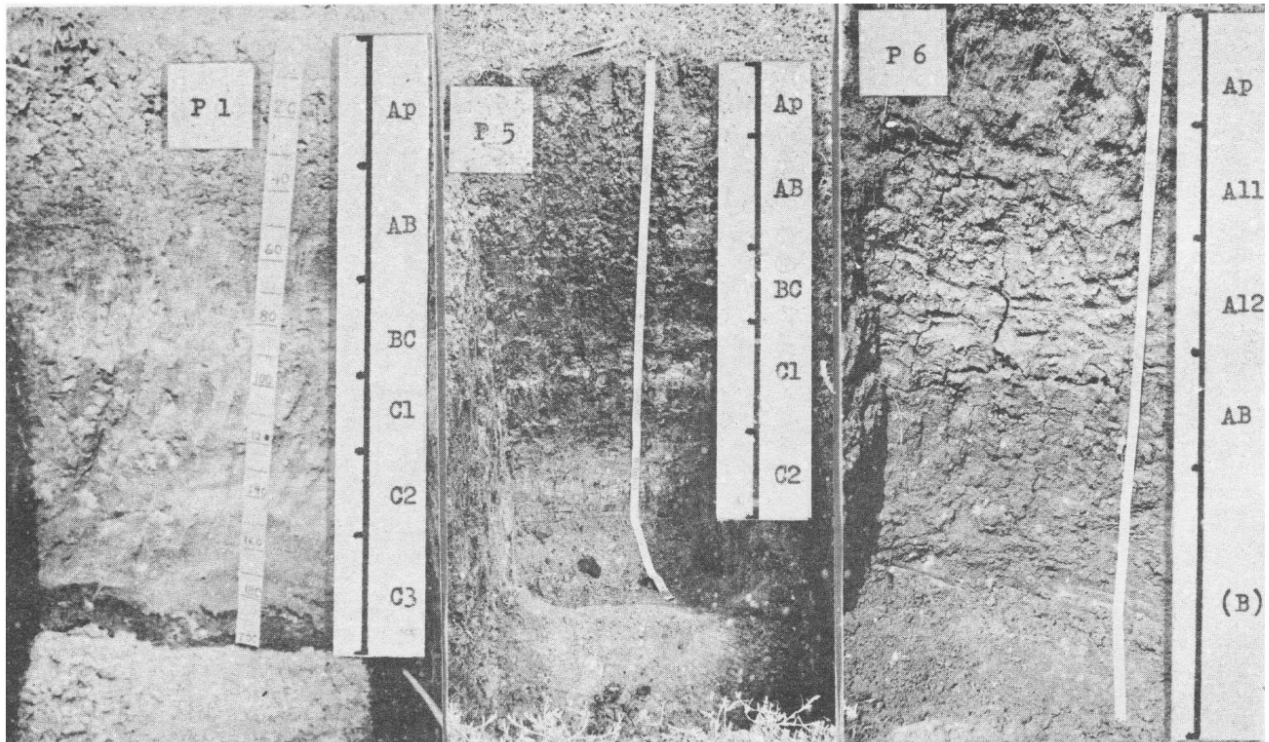


Figura 4.- Perfiles representativos de los suelos estudiados.

PERFIL 2 (Tabla 2)			Horizonte	Profundidad (cm)	Características morfológicas
Horizonte	Profundidad (cm)	Características morfológicas			
Ap	0- 30	Color pardo 10YR 5/3 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación media; porosidad fina abundante; consistencia en seco firme, muy plástico, muy adhesivo; textura arcillosa, estructura poliédrica sub-angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; macrofauna algunos roedores y lombrices; contenido de raíces muy abundante.	A 12	60- 80	Color gris claro 10YR 6/1 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación poca; porosidad media abundante; poco plástico; poco adhesivo; textura migajón arenoso; estructura granular media; permeabilidad rápida; drenaje eficiente; contenido de raíces medio.
A 11	30- 60	Color gris 10YR 5/1 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación media; porosidad media abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcillo-arenoso; estructura poliédrica sub-angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; macrofauna algunas lombrices; contenido de raíces abundante.	AB	80-110	Color pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación media; porosidad media abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcilloso; película de arcilla delgada, discontinua y vertical; facetas de presión abundantes; estructura poliédrica angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces escaso.

Tabla 1.- Características físicas y químicas del perfil 1.

Prof. cm	Textura %		Dens AP g/ml	pH Agua 1:2.5	Materia Orgánica %	C.I.C.T. mg/100g	C.E. mbos/cm	P Asim kg/ha	Dpm Asim			Cationes Intercam Meq/100g			% Sat		
	Arena	Limo Arc							Fe	Zn	Mn	Aló. fano	Ca	Mg		Na	K
0 - 10	32	36	1.10	6.8	4.3	28	0.17	285	20	2.5	22	+	18	5.5	1.1	0.8	96
10 - 20	Migajón arcilloso	46	1.20	7.2	3.3	30	0.17	436	6	2.0	16	++	19	9.0	0.8	0.7	100
20 - 30	Arcilla	24	1.18	7.3	2.3	27	0.16	394	6	2.5	19	++	22	3.5	0.9	1.2	100
30 - 40	Arcilla	28	1.14	7.4	1.5	27	0.14	333	0	2.5	19	+++	20	4.5	0.9	1.0	96
40 - 50	Arcilla	30	1.10	7.4	0.8	27	0.15	254	20	1.5	10	+++	20	6.0	0.9	1.0	100
50 - 60	Arcilla	16	1.20	7.5	0.8	23	0.15	218	12	1.5	16	+++	16	5.0	0.8	0.8	100
60 - 70	Arcilla	40	1.21	7.6	0.6	22	0.14	137	12	3.5	16	+++	12	7.5	0.9	0.9	95
70 - 80	Migajón arcilloso	34	1.21	7.7	0.3	20	0.14	84	12	2.0	13	+++	10	6.0	0.9	0.7	90
80 - 90	Migajón arc aren	26	1.18	7.5	0.2	20	0.16	49	6	2.5	10	+++	10	6.0	0.7	0.9	90
90 - 100	Migajón arc aren	10	1.20	7.6	0.2	16	0.21	49	12	2.5	10	+++	9	5.0	0.7	1.0	100
100 - 110	Arena migajosa	12	1.17	7.6	0.2	11	0.20	54	6	2.5	13	++	6	5.0	0.6	0.8	100
110 - 120	Migajón arenoso	26	1.17	7.4	0.6	19	0.13	57	6	2.5	10	++	10	6.5	0.6	0.7	95
120 - 130	Migajón arc aren	8	1.20	7.1	0.1	8	0.07	55	6	2.0	5	++	4	2.5	0.6	0.6	100
130 - 140	Arena	8	1.22	7.3	0.1	10	0.09	47	0	2.0	13	++	5	3.5	0.9	0.5	97
140 - 150	Arena migajosa	6	1.20	7.8	0.1	11	0.08	43	6	1.5	10	++	5	3.5	0.6	0.5	90
150 - 160	Arena	6	1.14	7.9	0.1	12	0.06	41	0	3.0	10	++	5	5.0	0.6	0.5	100
160 - 170	Migajón arenoso	10	1.10	7.2	0.1	14	0.09	50	12	2.5	10	++	7	4.5	0.5	0.4	89
170 - 180	Arena migajosa	16	1.21	7.9	0.4	14	0.09	58	0	3.0	16	++	6	6.0	0.9	0.4	90
180 - 190	Migajón arenoso	22	0.92	7.3	0.6	16	0.14	59	12	2.5	10	++	9	5.0	0.9	0.7	100
190 - 200	Arcilla	30	0.91	7.1	0.8	17	0.14	59	0	2.0	10	+++	8	6.0	0.9	0.6	93

PERFIL 5 (Tabla 5)		
Horizonte	Profundidad (cm)	Características morfológicas
(B)	110-160	Color pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco y negro 10YR 2/1 en húmedo; compactación media; porosidad media y abundante; consistencia en seco blanda; poco plástico; poco adhesivo; textura franca; película de arcilla delgada, muy discontinua y vertical; estructura poliédrica sub-angular media; permeabilidad moderada; drenaje eficiente; contenido de raíces muy escaso.
11 C	160-200	Color gris pardo claro 10YR 6/2 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación media; porosidad media y abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcilloso; estructura poliédrica sub-angular media; permeabilidad moderada; drenaje eficiente; contenido de raíces nulo.
PERFIL 3 (Tabla 3)		
Ap	0- 30	Color gris 10YR 5/1 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación fuerte; porosidad fina y abundante; consistencia en seco firme; muy plástico; muy adhesivo; textura migajón arcilloso; estructura poliédrica sub-angular media; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; macrofauna algunos roedores y lombrices; contenido de raíces muy abundante.
AB	30- 50	Color pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación fuerte; porosidad fina y abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcilloso; película arcillosa, delgada, muy discontinua y vertical; facetas de presión escasa; estructura poliédrica angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; macrofauna algunas lombrices; contenido de raíces abundante.
B1	50- 70	Color gris claro 10YR 6/1 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación fuerte; porosidad fina y abundante; consistencia en seco firme; muy plástico; muy adhesivo; textura migajón arcilloso; película arcillosa delgada; discontinua y vertical; facetas de presión abundantes; estructura poliédrica angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces medio.
B2	70-100	Color gris 10YR 5/1 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación fuerte; porosidad fina y abundante; consistencia en seco fuerte; muy plástico; muy adhesivo; textura arcillosa; película arcillosa delgada; discontinua y vertical; facetas de presión muy abundantes; estructura poliédrica angular muy grande; permeabilidad muy lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces muy escaso.
BC	100-130	Color pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación media; porosidad media y abundante; consistencia en seco blanda; poco plástico; poco adhesivo; textura franca; estructura poliédrica sub-angular media; permeabilidad moderada; drenaje eficiente; contenido de raíces nulo.
PERFIL 4 (Tabla 4)		
Ap	0- 30	Color pardo 10YR 5/3 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación media; porosidad media y fina abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcilloso; estructura poliédrica sub-angular grande; permeabilidad moderada; drenaje eficiente; contenido de raíces abundante.
A 12	70-100	Color pardo 10YR 5/3 en seco y pardo oscuro 10YR 4/3 en húmedo; compactación media; porosidad fina abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcilloso; estructura poliédrica sub-angular grande; permeabilidad moderada; drenaje eficiente; contenido de raíces medio.
AB	100-130	Color pardo pálido 10YR 6/3 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación media; porosidad fina y abundante; consistencia en seco blanda; poco plástico; poco adhesivo; textura franca; película de arcilla delgada, discontinua y vertical; estructura poliédrica sub-angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces escaso.
PERFIL 5 (Tabla 5)		
Horizonte	Profundidad (cm)	Características morfológicas
Ap	0- 20	Color gris 10YR 5/1 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación media; porosidad media y fina abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcillo-arenoso; estructura poliédrica sub-angular grande; permeabilidad moderada; drenaje eficiente; macrofauna algunas lombrices; contenido de raíces muy abundante.
AB	20- 50	Color gris 10YR 6/1 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación fuerte; porosidad fina abundante; consistencia en seco fuerte; muy plástico; muy adhesivo; textura arcilla; película arcillosa; delgada, discontinua y vertical; facetas de presión abundantes; estructura poliédrica angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces abundante.
BC	50- 70	Color pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2 en seco y gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo; compactación fuerte; porosidad fina abundante; consistencia en seco fuerte; plástico; adhesivo; textura migajón arcillo-arenoso; película arcillosa, delgada, discontinua y vertical; facetas de presión abundantes; estructura poliédrica sub-angular media; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces medio.
CI	70-100	Color pardo pálido 10YR 6/3 en seco y pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2 en húmedo; compactación media; porosidad media abundante; consistencia en seco firme; poco plástico; poco adhesivo; textura franca; estructura granular media; permeabilidad moderada; drenaje eficiente; contenido de raíces escaso.
C2	100-120	Color pardo pálido 10YR 6/3 en seco y pardo oscuro 10YR 3/3 en húmedo; compactación muy poca; porosidad media abundante; consistencia en seco blanda; poco plástico; poco adhesivo; textura migajón arenoso; permeabilidad rápida; drenaje excesivo; contenido de raíces muy escaso.
PERFIL 6 (Tabla 6)		
Ap	0- 20	Color pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco y pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo; compactación media; porosidad fina abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcilloso; estructura poliédrica sub-angular media; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces muy abundante.
A 11	20- 40	Color pardo 10YR 5/3 en seco y pardo oscuro 10YR 3/3 en húmedo; compactación media; porosidad media abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcillo-arenoso; estructura poliédrica sub-angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces abundante.
A 12	40- 60	Color pardo pálido 10YR 6/3 en seco y pardo oscuro 10YR 4/3 en húmedo; compactación poca; porosidad media abundante; consistencia en seco blanda; poco plástico; poco adhesivo; textura migajón arcilloso; estructura granular media; permeabilidad rápida; drenaje eficiente; contenido de raíces medio.
AB	60- 80	Color pardo 10YR 5/3 en seco y pardo oscuro 10YR 4/3 en húmedo; compactación media; porosidad media abundante; consistencia en seco firme; plástico; adhesivo; textura migajón arcilloso; película de arcilla muy discontinua y vertical; contenido medio de facetas de presión; estructura poliédrica angular grande; permeabilidad lenta; drenaje eficiente; contenido de raíces medio.
(B)	80-120	Color pardo 10YR 5/3 en seco y pardo oscuro 10YR 4/3 en húmedo; compactación media; porosidad media y abundante; consistencia en seco blanda; poco plástico; poco adhesivo; textura franca; película de arena muy delgada y discontinua; estructura poliédrica sub-angular media; permeabilidad moderada; drenaje eficiente; contenido de raíces escaso.

ANALISIS MORFOGENETICO DE LOS SUELOS

El horizonte Ap se determinó de 0 a 30 cm en tres de los seis perfiles y en los tres restantes de 0-20 cm de profundidad. El color en seco dominante es pardo grisáceo y en húmedo pardo grisáceo muy oscuro; la compactación varía de media a fuerte; la porosidad de media a fina, condicionada en parte por la textura, la cual predominantemente es de migajón arcilloso; la estructura es poliédrica sub-angular; asimismo, la permeabilidad, el drenaje y el contenido de raíces manifiestan condiciones similares; la macrofauna, expresada en lombrices y roedores, se encontró principalmente en los perfiles 1, 2 y 3. Dada la influencia que el hombre tiene en este horizonte, contribuye a homogeneizar sus características. Asimismo, los altos contenidos de materia orgánica, de 2 a 5%, son debidos a la práctica común que existe en esta zona, ya mencionada anteriormente, de incorporar al suelo estiércol de bovino a intervalos de tiempo regulares.

Los subhorizontes A 11 y A 12 se detectaron en los perfiles 2, 4 y 6, a profundidades que fluctuaron de 30-80 cm, 20-100 cm y de 20 a 60 cm, respectivamente. Los colores determinantes son: en seco el pardo y en húmedo el pardo oscuro; la compactación, porosidad y consistencia son semejantes; las texturas determinadas fueron migajón arenoso, migajón arcilloso y migajón arcillo-arenoso; la estructura dominante granular y poliédrica sub-angular; la permeabilidad y el drenaje manifiestan características semejantes satisfactorias; el contenido de raíces, aunque con características morfológicas semejantes de los horizontes, varió de acuerdo a la profundidad de los mismos. La subdivisión del horizonte A y su variación en profundidad, se relacionan con los ciclos de sedimentación a que estuvieron sujetos los sedimentos formadores de estos suelos, lo cual a su vez les ha impuesto un menor grado de evolución en relación a los otros perfiles.

El horizonte AB se presenta en todos los perfiles, pero su profundidad varió a través de los mismos, de 30-60 cm, 80-110 cm, 30-50 cm, 100-130 cm, 30-50 cm y 60-80 cm en los perfiles 1 a 6, respectivamente. Las características comunes de este horizonte son: presencia de arcilla iluviada, textura, estructura, facetas de presión y capacidad de intercambio catiónico total. En este horizonte se empiezan a detectar características de un horizonte B, aunque todavía manifiesta rasgos estructurales de un horizonte A. Podría manifestarse que los suelos representados por los perfiles 1, 3 y 5 son más aptos para la explotación agrícola, dado que el inicio de la zona de iluviación de más riqueza en nutrientes para las plantas en relación a los horizontes superficiales se encuentra a partir de los 30 cm, a diferencia de los perfiles 2, 4 y 6 que está a 80, 100 y 60 cm, respectivamente; sin embargo, dado que la diferencia de valores que permitió la separación de dichos horizontes no es muy marcada y las observaciones realizadas en el campo sobre la respuesta en desarrollo de varios cultivos nos permite afirmar que, desde el punto de vista de productividad y considerando un mismo sistema de manejo, no hay diferencia significativa entre los suelos representados por los perfiles estudiados.

Los subhorizontes B 1 y B 2 solamente se presentan en el perfil 3, de 50 a 70 cm y de 70 a 100 cm, respectivamente. En el B 1, aunque la textura es semejante al AB, migajón arcilloso, aumenta la película arcillosa y las facetas de presión. En el B2 se incrementan aún más los porcentajes de arcilla, característica que modifica la estructura y la permeabilidad y aumenta la película arcillosa y las facetas de presión. Desde un punto de vista evolutivo, el perfil 3 tiene el mayor desarrollo pedogenético de los perfiles de suelos estudiados.

En los perfiles 2 y 6 se determinó un horizonte (B), o sea un horizonte B estructural, de 110 - 160 cm y de 80 - 120 cm, respectivamente. Aunque estos perfiles no tienen una zona de iluviación típica, la presencia del horizonte (B) les confiere un grado de evolución mayor que en los perfiles 1, 4 y 5.

El horizonte C se encontró a diferentes profundidades en los perfiles 1, 3 y 5, mientras que en los tres restantes no se detectó su presencia hasta la profundidad explorada. El perfil 1, a partir de 90 cm y subdividido en C 1, C 2 y C 3, las texturas que presenta son de migajón arenoso y arena migajosa; el perfil 2 se localiza a 160 cm y constituye un estrato discontinuo de textura migajón arcilloso que confirma, a semejanza del P-1, los diferentes ciclos de sedimentación a que estuvieron sujetos estos materiales; en el perfil 5 el horizonte C fue detectado a 70 cm de profundidad, subdividido en C 1 y C 2, con textura franca y migajón arenoso, respectivamente.

Con base en la caracterización morfológica, se manifiesta cierta variación en los horizontes, en lo referente a profundidad de los mismos y subhorizontes en algunos de ellos, lo cual se considera se debe, a los diferentes procesos de sedimentación que ocurrieron cuando se constituyó la parte baja y plana de la pequeña cuenca cerrada donde se encuentra el área de estudio, lo que provocó variación en la textura de dichos sedimentos.

No obstante tales variaciones, los suelos representados por los perfiles y barrenaciones estudiadas pertenecen a la misma categoría taxonómica. Esto se debe al material a partir del cual se originaron, a las características morfológicas en general, al proceso de su formación y al clima. Desde un punto de vista práctico, su explotación requiere del mismo sistema de manejo.

CARACTERISTICAS QUIMICAS Y DE FERTILIDAD

REACCION DEL SUELO (pH)

El rango observado en esta determinación fue de 6.45 a 8.20, de ligeramente ácido a medianamente alcalino; asimismo, los niveles ligeramente ácidos de 6.45 a 6.80 se encontraron en cinco de los seis perfiles, entre los 40 y 90 cm superficiales, lo cual probablemente se relaciona con los altos contenidos de materia orgánica. Considerando que el rango óptimo de pH en la solución del suelo para un buen desarrollo del cultivo es de 6.5 a 7.5 y que el mayor número de determinaciones está dentro del mismo, los suelos estudiados tienen un pH altamente satisfactorio para la explotación agrícola.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Esta determinación se hizo únicamente en los perfiles 1, 2 y 3. Los valores obtenidos fluctuaron de 0.06 a 0.32 mmhos/cm, lo que nos indica que los suelos no tienen problemas de salinidad. Sin embargo, dadas las pendientes inferiores a 1% y la textura arcillosa dominante, estos suelos tienen el riesgo, si no se manejan adecuadamente, de iniciar un proceso de salinización.

ALOFANO

Se encontraron valores bajos, medios y altos en todos los perfiles. Los valores altos se registraron en los horizontes AB, (B), B1, B2, y C; los valores bajos y medios en el horizonte A. La presencia de alófano en los suelos se relaciona con la contaminación por cenizas volcánicas, lo cual se explica por la posición del área de estudio dentro del eje volcánico que atraviesa la República Mexicana, y en particular por los conos cineríticos del Cuaternario que constituyen el Cerro de Melchor Ocampo, situado al oriente de dicha área (D.D.F. y S.R.H., 1960). Se infiere que tales cenizas fueron depositadas directamente en el área, o bien fueron acarreadas por el aire o por el agua. Es característico que los valores más altos de alófano se registraran en los horizontes de mayor concentración de arcilla.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL

En cinco de los seis perfiles, los valores de esta determinación fluctuaron entre 12.0 y 49.0 meq/100 g, manifestándose los niveles más altos en los horizontes con mayor porcentaje de arcilla, o bien en aquellos de mayor riqueza de materia orgánica; en el perfil 1 se registraron en los 80 cm superficiales de 30 a 20 meq/100 g y de 80 a 200 cm de 20 a 8 meq/100 g, lo que coincide en la parte profunda del perfil con las texturas ligeras del horizonte C. Puede considerarse que los valores obtenidos son medios a altos y muy favorables para la retención y donación de cationes necesarios para la nutrición vegetal. Este aspecto es altamente favorable en la fertilidad de estos suelos.

CATIONES INTERCAMBIABLES Y PORCENTAJES DE SATURACION DE BASES

Los cationes Ca, Mg, K y Na saturan la capacidad de intercambio catiónico total en la mayor parte de las muestras analizadas, siendo el porcentaje de saturación de bases de 100 y solamente en algunos casos ligeramente inferior. Las características de estos suelos los hacen ricos en bases, lo cual también se relaciona con los valores de pH obtenidos.

MATERIA ORGANICA

La práctica agrícola de incorporar estiércol de bovino a los suelos a intervalos regulares ha permitido mantener un buen nivel de materia orgánica, principalmente en la capa arable, donde alcanzó niveles ricos hasta de 5%. Aunado lo anterior a que estos suelos reciben el beneficio del riego se ha presentado una condición edáfica en la que tiende a mantenerse la riqueza en materia orgánica con los beneficios físicos y químicos ya conocidos que aporta al suelo.

FOSFORO, HIERRO, ZINC Y MANGANESO ASIMILABLES

Estas determinaciones solamente se hicieron en los perfiles 1, 2 y 3. El fósforo alcanzó niveles extra ricos, de 100 a 300 kg/ha, en los horizontes superficiales y valores medios a ricos en los profundos, 18-80 kg/ha. Las concentraciones de hierro fueron bajas y solamente en el perfil 1 se obtuvieron valores de bajos a medios, de 6 a 20 ppm. Las concentraciones de manganeso fueron de bajas a medias en los perfiles 1 y 2, y bajas a altas, 5-80 ppm, en el perfil 3. Se observa que para fósforo existen niveles altamente satisfactorios en los suelos estudiados y para los micronutrientes determinados solamente en un nivel bajo a medio de suficiencia.

Como se aprecia, con base en los resultados de las determinaciones efectuadas, estos suelos presentan características muy favorables para el desarrollo de todos los cultivos adaptados climáticamente a la zona.

CARACTERIZACION TAXONOMICA

Con base en la "7a aproximación-Un sistema comprensible de la clasificación de suelos" (Soil Survey Staff, 1960), estos suelos se clasifican de la siguiente manera.

Orden:	Inceptisoles
Suborden:	Andepts
Gran grupo:	Umbrandept
Subgrupo:	Mólico-vértico

Dudal, 1968 y con base en la clasificación de FAO-UNESCO

1970, modificada por CETENAL (1975) estos suelos pertenecen al grupo Phaeozem y al subgrupo Vértico (Andico).

CLASIFICACION AGRICOLA

Estos suelos, desde el punto de vista agrícola, reúnen muchos requisitos necesarios para obtener altos niveles de productividad; sin embargo, requieren cierto nivel de cultura agrícola para obtenerlos.

Considerando lo anterior y dadas las características arcillosas que presentan, en condiciones de riego son de primera clase agrícola, pero en explotación de temporal pueden ser considerados de segunda clase agrícola, demeritados principalmente por su textura.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio edafológico en los municipios de Cuautitlán, Estado de México, que incluyó 5,500 ha y de los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Con base en los perfiles estudiados, aunque se encontró cierta variación en los horizontes determinados, la mayor parte de las características morfológicas es semejante. No obstante tal variación, los suelos estudiados pertenecen a la misma categoría taxonómica, dado el material parental a partir del cual se originaron, el proceso de formación y el clima y desde un punto de vista práctico, la necesidad para su explotación del mismo sistema de manejo.

En relación a la fertilidad natural de los mismos, las determinaciones de laboratorio practicadas a las muestras estudiadas nos permiten afirmar que estos suelos presentan características físicas y químicas altamente satisfactorias para la explotación de aquellos cultivos adaptados climáticamente a la zona.

La caracterización taxonómica y de acuerdo a la "7a aproximación" (Soil Survey Staff, 1960), corresponde al orden Inceptisoles, suborden Andept, gran grupo Umbrandept y subgrupo Mólico-vértico. Con base en la clasificación de FAO-UNESCO 1970, modificada por CETENAL (1975), estos suelos pertenecen al gran grupo Phaeozem y al subgrupo Vértico (Andico).

Desde el punto de vista de su clasificación agrícola, estos suelos son de primera clase en condiciones de riego y de segunda clase en condiciones de temporal, demeritados principalmente por su textura.

AGRADECIMIENTOS

Al Pas. de Biól. Jorge E. Cama Castro del Instituto de Geología de la U.N.A.M., por la ayuda proporcionada en la clasificación de los suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CETENAL, 1975, Clasificación FAO-UNESCO, 1970, modificada por CETENAL: México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 37 p.
- CETENAL-Instituto de Geografía, UNAM, 1970, Carta de climas, México 14 Q-V: México, D.F.
- D.D.F., y S.R.H., 1960, Mapa geológico de la Cuenca de México y zonas colindantes: México, D.F., Dir. Gral. Obras Hidráulicas y Comisión Hidrológica de la Cuenca de México, escala 1:200,000.
- Dudal, R., 1968, Definitions of soil units for the soil map of the world: Roma, FAO, World Soil Resources Rept 33, p. 1-36.
- Flores-Román, David, Flores-Delgadillo, Lourdes, Aguilera-Herrera, Nicolás, 1980, Producción de forraje del pasto "Westerwolds", contenido de proteína cruda y su relación con la fertilización

- y abonamiento en el segundo año de su establecimiento: Toluca, Méx., Cong. Nal. Ciencia del Suelo, 13, Memorias, t. 1, p. 219-237.
- García, Enriqueta, 1973, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen; México, D.F., Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geografía, 246 p.
- Oviedo de León, A., 1970, El conglomerado Texcoco y el posible origen de la Cuenca de México: Rev. Inst. Mex. del Petróleo, v. 2, núm. 3, p. 5-20.
- Soil Survey Staff, 1960, Soil classification 7th approximation: Washington, D.C., U.S. Dept. Agriculture, Soil Conservation Service, 265 p.