



17
243

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

CARACTERIZACION DE SUELOS CON TEPETATES Y
SU RELACION CON LA VEGETACION EN EL
MUNICIPIO DE TETELA DEL VOLCAN,
ESTADO DE MORELOS

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A :
GABRIEL MARAÑON GUERRERO

DIRECTOR DE TESIS:
DR. DAVID FLORES ROMAN



1994

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

A mis padres y hermanos

**A mi esposa Francis
y a mis hijos Gaby y Faby**

Familiares y amigos

**Y en especial al
Sr. Guillermo Vázquez Silencio**

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Filosofía y Letras y en especial al Colegio de Geografía por haberme permitido alcanzar una Licenciatura.

Al Instituto de Geología de la UNAM, Departamento de Edafología, Sección de Fertilidad de Suelos por permitir la realización de esta tesis.

Al Dr. David Flores Román por su esencial dirección y asesoramiento en el desarrollo de este trabajo.

A los miembros del H. Jurado

Mtro. Víctor Manuel Martínez Luna

Mtra. Georgina Calderón Aragón

Dr. David Flores Román

Dr. Rafael Huizar Alvarez

Biol. Arelia González Velázquez

Al M.C. Jorge E. Gama Castro, M.C. Ernestina Vallejo Gómez, M.C. Teodoro Méndez García, M.C. Otilio A. Acevedo Sandoval, Biol. Arelia González Velázquez, Pedro Avilés Jaimes, Biol. Daniel Hernández Santiago, René Alcalá Martínez, Rubén Zamora Rojas, Alma Socorro Velázquez Rodríguez, Carmen Galindo Velasco y Gloria Barajas Morales. Por su apoyo, facilidades y orientación desinteresada en la realización del presente trabajo.

A todo el personal académico y administrativo del Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM, que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este estudio.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	4
1. Andosoles	4
2. Luvisoles	10
3. Los tepetates	12
A. Origen	12
B. Distribución	18
C. Tipos de tepetates	20
D. Importancia	22
E. Características Físicas, Químicas, Mineralógicas y Degradación	23
a) Físicas	23
b) Químicas	26
c) Mineralógicas	28
d) Degradación	28
III. OBJETIVOS	30
IV. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	31
1. Localización	31
2. Fisiografía	31
3. Geología	36
4. Hidrología	36
5. Edefología	37
6. Clima	38

7. Vegetación	39
8. Uso del suelo	42
V. METODOLOGIA	44
1. Gabinete	44
A. Descripción y caracterización de los suelos	44
B. Comparación con otros estudios	44
C. Análisis morfogenético	44
D. Clasificación Taxonómica	44
E. Relación Suelo-Vegetación	44
F. Teledetección	45
2. Campo	45
A. Localización por medio de fotografías aéreas	45
B. Recorrido preliminar de la zona	45
C. Planeación	45
D. Puntos de verificación y de muestreo	45
E. Muestreo de perfiles	45
F. Observaciones	46
G. Recolección de especímenes de la vegetación	46
3. Laboratorio	46
A. Determinaciones físicas	46
B. Determinaciones químicas	46
4. Identificación de los ejemplares de herbario	47
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	48
1. Caracterización morfológica de los perfiles	48
2. Análisis morfogenético	59
3. Análisis de las propiedades físicas y químicas	61

A. Propiedades físicas	61
B. Propiedades químicas	67
4. Clasificación de los suelos	68
5. Vegetación	73
6. Relación Suelo-Vegetación	75
VII. CONCLUSIONES	81
VIII. LITERATURA CITADA	83

RESUMEN

Este estudio se realizó principalmente en el municipio de Tetela del Volcán y parcialmente en el municipio de Ocuituco en el estado de Morelos.

Los objetivos específicos fueron: (a) caracterizar morfológicamente cuatro perfiles tipo; (b) analizar su morfogénesis; (c) determinar sus propiedades físicas y químicas; (d) clasificarlos taxonómicamente; (e) identificar las principales especies vegetales que existen en el área y (f) analizar la relación suelo-vegetación.

En la metodología se siguieron las siguientes fases: (a) recopilación bibliográfica; (b) estudio de fotointerpretación; (c) muestreo de suelos y de plantas; (d) trabajo de laboratorio; (e) identificación de los ejemplares de herbario; (f) recopilación, ordenamiento y análisis de la información resultante; (g) discusión y conclusiones y (h) elaboración de la memoria.

Los resultados manifestaron lo siguiente: La caracterización morfológica correspondió a suelos de origen volcánico, donde el color, la textura, la estructura, la porosidad, la consistencia, el drenaje y la presencia de raíces así lo manifiestan. El análisis morfogenético permitió detectar a dos perfiles con duripanes (tepetates), uno con fragipán y uno sin horizontes endurecidos. Mediante las determinaciones físicas y químicas fue factible clasificar taxonómicamente a los suelos con base

en FAO-UNESCO (1989) y Soil Survey Staff (1990). Se identificaron 41 especies de plantas tanto cultivadas como silvestres de las tres formas vegetativas: hierbas, arbustos y árboles. En la relación suelo-vegetación se destacó la influencia de la vegetación y la actitud humana en el desarrollo, conservación y deterioro del suelo en seis grupos de vegetación.

Las principales conclusiones señalan: se realizó la caracterización morfológica de cuatro perfiles tipo. El análisis morfogenético permitió detectar dos perfiles bien desarrollados evolutivamente y dos con desarrollo escaso.

Dos perfiles se ubican taxonómicamente en la Unidad Luvisols (FAO-UNESCO, 1989) y grandes Grupos Fragiudalf y Hapludalfs (Soil Survey Staff, 1990). Los otros dos perfiles en la Unidad Andosols y Gran Grupo Durudans respectivamente.

El análisis de la relación suelo-vegetación señaló la interdependencia de un recurso con el otro en cada grupo de vegetación establecido y cómo el hombre ha influido determinantemente en la degradación de dichos recursos.

I. INTRODUCCION

El estudio de los suelos en México aún no alcanza la importancia que debe tener a nivel internacional, tanto en suelos incorporados a la actividad agrícola, agroecosistemas, como en aquellos edafocistemas donde la perturbación causada por el hombre se presenta a diversos niveles. A nivel mundial, los procesos de desertificación aumentan año tras año. Uno de los parámetros que caracterizan a dicha desertificación es precisamente la pérdida de suelos.

La importancia de la edafología no sólo radica en que el suelo es la base para la producción de alimentos, sino también en evitar la degradación de dicho recurso. Actualmente los procesos de degradación, tales como: erosión, salinización, contaminación, compactación y cementación continúan incrementándose en muchas regiones del país. Desafortunadamente el hombre ha tenido mucha participación en el aumento de estos procesos.

Particularmente la compactación y la cementación constituyen los factores que intervienen en la formación de capas u horizontes endurecidos que reciben comúnmente el nombre de "tepetates". Los cementantes que litifican las partículas del suelo, pueden ser de diferentes tipos, tal vez el más común para el centro de la República Mexicana es la sílice (SiO_2). Tal compuesto deriva de materiales de origen volcánico, piroclastos provenientes de múltiples erupciones de los aparatos volcánicos.

En un ecosistema en equilibrio, los tepetates se mantienen en las dimensiones de su formación original, o bien, tienden a intemperizarse mediante los procesos pedogenéticos prevalecientes en una zona determinada. Cuando el hombre desforesta zonas boscosas con suelos de tepetate, se favorece la disolución de los materiales volcánicos y la liberación de la sílice.

Esta sílice, como cementante, incrementa el espesor del tepetate, en un proceso edafogénico. Por otra parte, la impermeabilidad del tepetate y el incremento de los procesos de lixiviación, por la pérdida de la vegetación, originan el drenaje lateral, lo cual contribuye a la disgregación del suelo y a la pérdida de bases.

El estado de Morelos presenta en su parte septentrional, particularmente en las estribaciones de la Sierra del Chichinautzin y en los flancos sur y suroeste del volcán Popocatepetl, grandes áreas con tepetates. El área de estudio que comprende el trabajo, dentro de los municipios de Tetela del Volcán y Ocuituco, ocupa una pequeña parte al noreste de dicho estado.

La motivación para la realización de este estudio se basó en la diversidad genética y morfológica de los tepetates que existen en el estado de Morelos. En general, la génesis de los tepetates no es bien conocida, en particular los procesos que intervienen en su formación.

Este trabajo es parte de un proyecto institucional de investigación que se desarrolla en el departamento de Edafología del Instituto de

Geología de la U.N.A.M. a cargo del grupo de trabajo del Dr. David Flores Román.

La estructura del trabajo comprende la caracterización morfológica, morfogénica, de las principales propiedades físicas, químicas y taxonómicas de cuatro perfiles de suelos representativos de la zona de estudio. Dos de los cuales presentan duripanes, uno fragipán y uno sin horizontes endurecidos. Asimismo se hizo un análisis de la vegetación existente y los suelos donde se desarrolla.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

En la presente revisión bibliográfica se consideran los grupos taxonómicos de suelos andosales y luvisoles, así como los tepetates, ya que son los aspectos relevantes de este trabajo.

1. Andosoles

En el año de 1945 se empieza a dar el nombre de Andosol a los suelos derivados de cenizas volcánicas y en 1949 este término es usado por pedólogos japoneses, así como también por Thorp y Smith. Fue hasta el año de 1964 en la reunión sobre "Clasificación y Correlación de suelos derivados de cenizas volcánicas" celebrado en Tokio cuando se les designa a estos suelos el nombre de Ando, palabra del idioma japonés que significa "an" oscuro y "do" suelo.

Estos suelos han recibido diversos nombres según el país o el sistema de clasificación utilizado.

En América del sur se les denomina suelos volcánicos negro andino (Ecuador) suelos de páramo, suelos alofánico-húmicos, andosol (Chile y Argentina). En América Central Latosol, pardo forestal, suelo de tepetate, andosol, etcétera.

En México se han usado los nombres de Ando, suelos húmicos alpinos, suelos húmicos de alofano. En Estados Unidos de América pardo forestal, suelos de pradera, andosol, andept, hidrolatosol húmico, en

Japón suelo volcánico negro, pardo forestal, kuroboku (introducido por Ohmasa en 1964) vocablo del idioma japonés "kuro" negro y "boku" friable, suelo alofánico húmico introducido por Kanno (1961), andosol franco marrón amarillento, en Nueva Zelanda amorfo y alvisol descrito por Taylor (1964), en Indonesia se le denomina suelo de montaña y andosol.

En la reunión auspiciada por FAO-UNESCO, celebrada en 1964 en Tokio, se definió a los Andosoles como suelos minerales donde la fracción activa es dominada por materiales amorfos en un mínimo de 50%.

El suelo de Ando se relaciona de acuerdo con la clasificación tradicional, con los suelos intrazonales específicamente pardo forestal y con los zonales específicamente lateríticos pardo rojizos e hidrolatosoles húmicos, (Johnson 1970, Aceves 1971).

Estos suelos presentan un horizonte A oscuro, friable, relativamente grueso; poseen un alto contenido de materia orgánica, una densidad aparente baja, poca adhesividad, una porosidad alta, un alto contenido de aluminio intercambiable y alófono en la fracción arcillosa, se dan bajo condiciones climáticas húmedas y subhúmedas.

Los Andosoles son suelos que presentan en la superficie hojarasca suelta, su profundidad varía entre los 50 y 100 cm. Los perfiles de estos suelos pueden presentar la secuencia de sus horizontes A-C, A-(B)-C y A-B-C. El horizonte A tiende a ser de color oscuro debido

al elevado contenido de materia orgánica o por la presencia de cenizas volcánicas. Si el suelo es más intemperizado, el color es pardo y los horizontes inferiores de color rojizo claro o amarillento, esto debido a la relativa rapidez de intemperización de las cenizas volcánicas.

Su textura generalmente es de migajones arenosos y limosos, migajones arcillosos o francos. El perfil del suelo puede alterarse por nuevos depósitos de cenizas volcánicas, formando perfiles estratificados o bien, si presentan contaminaciones aluviales y coluviales por efecto del relieve.

El color de estos suelos es oscuro y pardo en climas tropicales, de húmedo a seco los colores tienden a aclararse, el color del subsuelo es marrón o castaño amarillento. Su densidad aparente es baja e inferior a 1.0 en los tipos modales; desciende de 0.5 en los suelos hidromórficos humíferos tropicales. Presentan una porosidad muy elevada (65-85%), y una alta retención de agua que sobrepasa el 100% y puede alcanzar el 200% en los Andosoles tropicales hidromorfos. Estos suelos son difíciles de humedecerse cuando están secos, debido a que las sustancias orgánicas adheridas a la superficie de la partícula, son generalmente hidrofóbicas, (Birrel, 1964).

La textura es migajosa desde moderadamente gruesa como migajón arenoso (franco arenoso), hasta moderadamente fina, como migajón arcilloso limoso (franco arcilloso limoso). Las cenizas riolíticas tienden a dar texturas gruesas, las andesíticas a dar francos y las basálticas a dar finas o arcillosas, la determinación de la textura es difícil debido a lo complicado en dispensar las arcillas, (García, 1979).

En este tipo de suelos el contenido de materia orgánica por lo general, es alto y comúnmente existen valores de más del 20% en el horizonte superior. Los compuestos húmicos son resistentes a la descomposición microbiana, acumulándose en mayor proporción en climas donde se favorece el crecimiento vegetal y existe una descomposición orgánica lenta, (Olea, 1978).

Debido al contenido elevado de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico es alta en el horizonte superior y puede ser de más de 35 meq/100 g, en el horizonte medio, desciende bruscamente de 10-15 meq/100 g; sin embargo, los datos del intercambio de iones tienen que interpretarse con cuidado debido a que el alófono no se comporta como otras arcillas minerales y los valores determinados pueden variar.

La saturación de bases es más baja en el horizonte superior, aumentando con la profundidad pero debido al cultivo pueden haber valores altos en la superficie.

En algunos Andosoles el dióxido de manganeso es un producto de la intemperización y puede estar presente en cantidades suficientes como para dar una reacción vigorosa con el peróxido de hidrógeno, (Fitzpatrick, 1984).

La concentración de nitrógeno va de 0.2-0.7% (Aguilera, 1965), la relación C/N puede llegar a 15, la cual es bastante alta, más que en la mayoría de otros horizontes muy humificados, estos valores altos en la relación carbono-nitrógeno están en relación con los niveles altos de la

materia orgánica poco descompuesta.

Estos suelos varían de moderados a fuertemente ácidos con valores de pH tan bajos como de 4.5 en la superficie, sin embargo hay un incremento constante con la profundidad hasta llegar a un pH de 6.0 o más en cenizas relativamente inalteradas (Fitzpatrick, 1984). El pH depende en forma importante de la precipitación ya que contribuye a la alta acidez de estos suelos. El pH también es afectado por la mineralogía del suelo (Birrel, 1964), siendo de débil a fuertemente ácido cuando predomina el alófono y neutro cuando abunda la palagonita o la montmorillonita, Aguilera (1965), reporta valores de pH que van de 4.0 a 6.5 en Andosoles.

En los Andosoles el contenido de arcillas condiciona y determina las principales características y propiedades de estos suelos.

La composición mineralógica de los suelos derivados de cenizas volcánicas dependen de la petrografía de las cenizas de origen y del estado de intemperización del suelo.

La composición mineralógica de la fracción arenosa de (2 mm a 50 micras) contiene materiales propios de los suelos volcánicos, más minerales ferromagnesianos (olivino, piroxenos y anfíboles), magnetita, cuarzo y variedades polimórficas, cristobalita y varios silicatos agregados. La fracción limo (50-2 micras) presenta minerales primarios, secundarios, y amorfos, gibsita, óxidos de hierro hidratados, así como un alto contenido de alófono. La fracción arcilla (menor de 2 micras) está

formado por minerales secundarios principalmente y por algunos primarios como la cristobalita, cuarzo y feldspatos de fracción arcillosa gruesa (2-0.2 micras) (Besoain 1969; Olea 1978). En clima húmedo y con buen drenaje, la intemperización de las cenizas volcánicas desarrollan con el tiempo una serie mineralógica que se inicia con el alófono y concluye con los caolínoides.

Estos suelos se desarrollan sobre todo en montañas y son característicos de climas húmedos y subhúmedos por lo cual generalmente están cubiertos por bosques y praderas. Los Andosoles poco o medianamente desaturados son muy favorables por su alta porosidad, aireación y por la facilidad que ofrecen a la penetración de las raíces; sin embargo, el punto de marchitamiento, muy elevado y la lentitud de rehúmedación de los alófonos una vez que se desecaron, pueden conducir a graves dificultades en la nutrición hídrica de las plantas, en períodos de sequía. Su principal efecto químico reside en que la alúmina provoca la precipitación poco reversible de los iones fosfatados, lo que origina con frecuencia una carencia de fósforo.

Con respecto al ciclo de nitrógeno, Shaefer *et al*, citado por Duchaufour, 1984, demostraron que a pesar de que la mineralización es muy lenta, ésta se lleva a cabo; sin embargo, de una forma irregular, de tal manera que la nutrición nitrogenada puede estar garantizada a un nivel relativamente satisfactorio.

Los Andosoles muy ácidos y los suelos andopodsólicos son mucho menos fértiles y se vuelven francamente desfavorables para la

vegetación. La presencia de alúmina libre, tóxica para las raíces de algunas plantas, ya no es compensada por un contenido elevado de calcio. Asimismo, la acidez ligada a la presencia de geles minerales amorfos, perturba el ciclo del nitrógeno. La mineralización de los compuestos hidrosolubles todavía es lenta, en particular la nitrificación Boudot *et al.* citado por Duchaufour, 1984.

2. Luvisoles

En esta Unidad (FAO-UNESCO, 1989) se incluyen los suelos que poseen un alto contenido de arcillas en el horizonte B, y que han sufrido un intemperismo moderado, de manera que contienen importantes cantidades de bases (la saturación de bases es 35% en la parte más baja del perfil). De acuerdo con la clasificación francesa (Duchaufour, 1984), los Luvisoles corresponden a suelos empardecidos templados "lavados" los cuales desarrollan un horizonte argílico, de acuerdo a la clasificación americana corresponden a los Alfisoles (Soil Survey Staff, 1990).

Los Luvisoles satisfacen dos requisitos: a) una abundancia moderada de capas de arcilla reticular y b) su acumulación en el subsuelo en cantidades suficientes para producir un horizonte arcilloso. La movilización de la arcilla se ha hecho en condiciones ácidas o en condiciones alcalinas sódicas. Aun cuando los Luvisoles se forman en diferentes zonas climáticas, son más extensos en regiones templadas húmedas y subhúmedas, sobre superficies terrestres jóvenes que han sido estables y se han visto relativamente libres de perturbaciones edafológicas y erosión, al menos durante los últimos mil años, sin

embargo, los suelos son suficientemente jóvenes para retener reservas notables de minerales primarios, capas de arcillas reticulares y nutrientes disponibles para las plantas. Los Luvisoles ocupan grandes extensiones de tierras forestales sobre derivas glaciales, loes y en desiertos, sobre antiguos depósitos aluviales. Los Alfisoles incluyen arenas margosas, margas y arcillas en cuyo horizonte B_t se ha acumulado arcilla iluvial, formando argilanes.

En climas templados húmedos, los Luvisoles pueden ocupar la mayor parte del terreno, excepto en laderas con fuerte pendiente, las llanuras aluviales de inundación y las depresiones con mal drenaje.

Los Luvisoles se desarrollan en una macrotopografía que va de plana a ondulada (Buol, et al., 1981).

Con respecto al material parental, los Luvisoles se producen a partir de materiales sedimentarios no consolidados, con una permeabilidad moderada que permita el paso del agua y el consecuente proceso de lavado. Son muy favorables los depósitos de tamaño del limo, arena fina y arcilla, no así los materiales arenosos, ya que su alta porosidad propicia un lavado demasiado rápido impidiendo la acumulación de los materiales arcillosos existentes y dando lugar a una podsolización.

También son comunes los Luvisoles desarrollados sobre materiales volcánicos, sobre todo de naturaleza básica, los cuales son fácilmente alterables, aportando una buena cantidad de minerales

secundarios al suelo. Además su alta permeabilidad permite el paso del agua y el consecuente lavado de arcilla.

Los Luvisoles se forman bajo diferentes tipos de clima, pero predominan en regiones templadas húmedas y subhúmedas, con suficiente cantidad de agua y déficit de agua estacional en el suelo, que permita la migración de la arcilla y su acumulación dentro del horizonte B.

Los factores esenciales involucrados en su formación son el clima y el material parental, el cual aporta suficientes bases al perfil así como minerales primarios que permiten la formación de arcillas. El clima actúa predominantemente en los procesos de alteración de minerales y en los de argilización.

En la génesis de estos suelos es también de importancia el tiempo el cual debe ser lo suficientemente largo para que se den los procesos de formación del horizonte argílico.

Estos procesos, como anteriormente se ha señalado son muy lentos y, en consecuencia, sumamente dependientes de este factor así puede decirse que los Luvisoles son suelos más antiguos que los Andosoles con mayor desarrollo y evolución.

3. Los tepetates

A. Origen.

En la antigüedad los aztecas tenían una clasificación de los

materiales del suelo, basada principalmente por su color y dureza. Los tlaxcaltecas conocían lo que era el tepetate y cómo manejarlo, sabían que durante la sequía no se trabaja el tepetate pues está muy duro, pero al mojarse un poco se vuelve frágil y fácil de trabajar. Para ellos los suelos con más bajos rendimientos en sus cultivos eran los tepetatosos y éstos se tenían que sembrar tardíamente, con el fin de que el suelo con tepetate se humedeciera y ablandara (Hernández, 1987).







Las culturas prehispánicas en México tenían un amplio conocimiento sobre los tepetates y la agricultura como se demuestra en los glifos de suelos del código Vergara. (Figura 1).

La palabra "tepetate" deriva del náhuatl, vocablo compuesto por las raíces Teti que significa piedra y Patlatl petate: por lo cual el significado etimológico es petate de piedra (Rojas y Sánchez, 1985).

Los edafólogos y campesinos mexicanos emplean el término tepetate para designar horizontes cementados y específicamente para capas gruesas, formadas a partir de cenizas volcánicas, que son duras cuando húmedas y muy duras cuando secas.

Cabe mencionar que el término "tepetate" se le ha definido como una formación rocosa más o menos estratificada de distinta dureza y consolidación, o como una roca clástica constituida por fragmentos de rocas preexistentes y cementado por materiales arcillosos, ferruginosos o calcáreos principalmente.

**Figura 1 GLIFOS DE SUELOS DEL CÓDICE VERGARA. MEDIADOS DEL SIGLO XVI
(Rojas y Sanchez, 1985)**

<i>Glifo</i>	<i>Nombre en náhuatl</i>	<i>Traducción</i>	<i>Glifo</i>	<i>Nombre en náhuatl</i>	<i>Traducción</i>
	<i>Tapetlatl</i>	<i>Tapete</i>		<i>Atactli</i>	<i>Abrición</i>
	<i>Tacoquatl</i>	<i>Tierra Arallisa</i>		<i>Teuthtalli</i>	<i>Tierra Limosa</i>
	<i>Tapetlatl, xatalli</i>	<i>Tapete Aranso</i>		<i>Xatalli</i>	<i>Tierra Aranso</i>

Geológicamente el tepetate, es un material volcánico depositado en forma líquida (de la época del plioceno tardío y pleistoceno), consolidado de ligero a moderado por una matriz de arcilla y sedimentos finos, con bandas de caliche que se encuentran a lo largo de la formación (Williams, 1972).

Pedológicamente el tepetate es definido como un horizonte cementado, de color pardo a café rojizo de consistencia dura y textura de arcilla hasta grava fina, (Williams, 1972). Los agentes cementantes pueden ser silicio, carbonatos o sesquióxidos (Nimlos, 1986).

Agronómicamente los tepetate son estratos endurecidos que afloran a la superficie terrestre y que en un principio, descansaban sobre de ellos una capa fértil de suelo, la cual fue eliminada por erosión, como una consecuencia del mal manejo de los suelos tanto agrícolas como pecuarios y forestales.

El tepetate involucra diversos materiales tanto de origen geológico como edafogénico, caracterizados por presentar diferentes grados de compactación o cementación secundaria. Estos materiales generalmente subyacen al solum; cuando llegan aflorar siempre son índices de problemas severos de erosión.

Su génesis es aún muy difícil de establecer en la mayoría de ellos, ya que pueden originarse a través de procesos puramente diagenéticos, litificación, pedogénicos, horizontes endurecidos, o por acción de ambos procesos (Flores, et al, 1991).

Una manera de la formación de costras sílico-cementadas involucra flujos de cenizas volcánicas que son erupciones que provocan fuertes emisiones de cenizas que tienden a ser acompañadas por grandes cantidades de vapor de agua. Este vapor se condensa y ocasiona fuertes aguaceros, sobre los depósitos cineríticos mismos que al saturarse fluyen hacia partes bajas, a veces recorriendo distancias considerables. Es evidente que en condiciones de saturación de humedad hay una liberación de sílice que cementa la masa entera de cenizas, con la formación de un material endurecido muy semejante a las costras pedogenéticas, (Nimlos, 1986).

Las costras sílico-cementadas probablemente sean los tipos de endurecimiento más comunes en los suelos derivados de cenizas volcánicas, pero su génesis es menos conocida que las de otros tipos de costras y es muy complicada. En algunos casos las costras sílico-cementadas son claramente pedogenéticas se produce eluviación de la sílice en un horizonte superior e iluviación en uno inferior, donde cementa al horizonte. Pero como su solubilidad es baja, suele encontrarse como cemento sólo en materiales muy antiguos, (Nimlos, 1986).

Un caso en el que la solubilidad de la sílice es relativamente alta, es el de la ceniza volcánica. La sílice en estos materiales es amorfa, ya que la ceniza se enfría tan rápidamente que no pueden formarse los cristales. La sílice amorfa es mucho más soluble que su equivalente cristalino, por lo cual las costras sílico-cementadas se forman más

rápidamente en cenizas volcánicas que en otros materiales bajo condiciones semejantes, (Nimlos, 1986).

Pero la génesis es complicada porque algunos endurecimientos son claramente más geológicos que pedogénicos. Este es el caso particularmente de endurecimientos muy profundos. Se han descrito costras en México y Ecuador (Nimlos y Ortiz, 1987) de 100 m y 200 m de profundidad respectivamente. Es claro que el transporte de sílice por procesos pedológicos no es capaz de explicar este tipo de costra, que debieron desarrollarse por procesos geológicos.

Existen además endurecimientos sílico-cementados que no son ni geogénicos ni pedogénicos por ejemplo, la ceniza volcánica se deposita en agua, o si aguas freáticas penetran un depósito cinerítico, la sílice amorfa se intemperiza y se reprecipita como cemento, (Nimlos, 1986).

En nuestro país desde hace varios años se han hecho estudios sobre tepetates, concernientes a la caracterización morfológica, cartográfica y mineralógica, (Brambila, 1940; Valdez, 1970; Williams, 1972; Pacheco, 1979; Cervantes, 1983). Otros estudios tratan la incorporación de estos materiales a la producción (García, 1961; Avila, 1963; Figueroa, 1975; Trueba, 1979), también existen estudios de erosión, (Rey, 1979; Trueba, 1980). En 1986 se realizó el Primer Simposio Nacional sobre Uso y manejo de tepetates para el desarrollo rural, en Tlaxcala, Tlax. Y en 1991 se realizó el primer Simposio Internacional sobre Suelos volcánicos endurecidos en Montecillo, Estado de México.

B. Distribución.

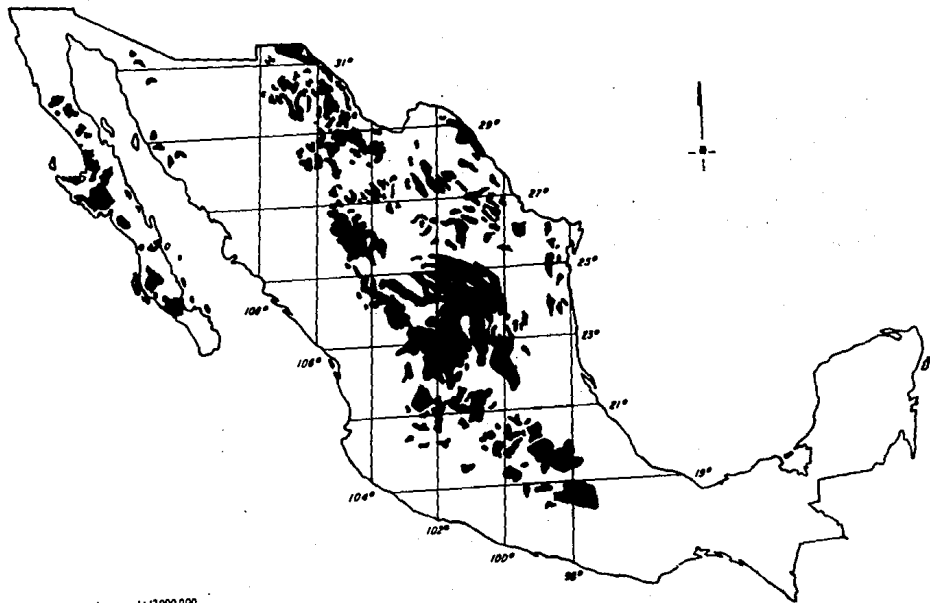
Existen en el territorio Mexicano grandes extensiones ocupadas por materiales que bajo ciertas condiciones se han endurecido de una manera irreversible, comúnmente estas capas reciben el nombre de tepetate, la superficie cubierta por este material llega hacer en forma permanente inadecuada para uso agrícola ya que alcanzan grados de dureza muy próximos a los de la roca sólida.

En México mapas edafológicos elaborados por el I.N.E.G.I. hacen mención de los suelos volcánicos que presentan un horizonte duro en profundidad. La erosión de dichos suelos es grave, sin embargo no se dispone actualmente a escala nacional de ninguna cifra referente a los tepetates puestos al descubierto por la erosión. En ciertos estados de la República la extensión ocupada por los tepetates es elevada, por ejemplo, en el estado de Tlaxcala estos últimos cubren el 54% de su superficie, (Zebrowski, 1991).

En la Figura 2 se presenta un mapa con la distribución de tepetates en nuestro país, observándose que la mayor parte de los mismos se localizan en la Altiplanicie, una parte pequeña al norte de la vertiente del Golfo; otra al noroeste del Estado de Sonora y otra a lo largo de la península de Baja California.

Tomando en cuenta las características climáticas de aridez y semiaridez que predominan en la Altiplanicie Mexicana, los tepetates dominantes son petrocálcicos, petrogípsicos y en menor proporción duripanes, (Flores, 1991).

Figura 2 DISTRIBUCION DE TEPETATES EN LA REPUBLICA MEXICANA



Escala Aprox. 1:12000000

Fuente: Flores, et al., 1991.

La superficie ocupada por los mismos en el país, con base en la Figura 2, se estima en el 30% de la República Mexicana (Flores, *et al.* 1991). La distribución de los suelos volcánicos endurecidos muestran una estrecha relación con las zonas climáticas.

Los duripanes se encuentran en climas semiáridos, templados y húmedos que coinciden con áreas de elevada precipitación para disolver los productos del intemperismo en el perfil, pero donde no ocurre mucha lixiviación, subyacen en suelos con horizontes argílicos o nátricos, también se presentan en vertisoles, (Flach, *et al.*, 1969).

Los petrocálcicos y petrogípsicos se presentan en suelos de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas y húmedas. Los sesquióxidos ocurren en áreas húmedas (Flach, *et al.*, 1969).

Los fragipanes se desarrollan en zonas de climas cálidos y fríos restringidos a áreas donde la precipitación es mayor a la evapotranspiración, en alguna época del año, suficiente para provocar un lavado de bases por drenaje interno; se encuentran en spodosoles, inceptisoles, alfisoles y ultisoles (Grossman y Carlisle, 1969).

C. Tipos de tepetates.

Los suelos volcánicos endurecidos han sido descritos con diferentes nombres en diversos países y por diferentes etnias (Nimlos, 1986).

PAIS O ETNIA	TERMINO
Geólogos Internacionales	Silcrete
Estados Unidos	Duripan y Fragipan
México	
Náhuatl	Tepetate
Otomí	Xido
Tarasco	Sheri
Nicaragua	Talpetate
Antillas	Pan
Colombia	Duripan (antes Hardpan)
Ecuador	Cangahua
Perú	Hardpan
Chile	Cancagua, Moromoro Tosca
Japón	Kora, Masa

Los cementos más comunes que influyen en el endurecimiento son los carbonatos, sesquióxidos y sílice, solos o en combinación dan como resultado costras morfológicas bastante diferentes.

Cuando la cementación es por sílice, SiO_2 , reciben el nombre de duripanes (Soil Survey Staff, 1960 y 1967); también se les llama silcretas (Lamplugh, 1907) o duricostras (Woolnough, 1927); su color por lo regular es claro, blanco o gris y en menos frecuencia rojo o amarillo.

Cuando los cementantes son carbonatos de calcio, CaCO_3 , dan lugar a los petrocálcicos; también a los petrogípsicos si el mismo calcio se presenta en forma de sulfato de calcio, CaSO_4 (Soil Survey Staff, 1967), en ambos predomina el color blanco.

Cuando la cementación es por sesquióxidos Fe_2O_3 y Al_2O_3 forman lateritas (Buchanan, 1807); este nombre se cambió recientemente por plintitas (Soil Survey Staff, 1960 y 1967) ó petroplintitas (Sys, 1967) su color varía de muy claro hasta rojo intenso.

Cuando existe compactación fuerte y cementación escasa o nula se llaman fragipanes (Grossman y Carlisle, 1969; Flores, *et al.*, 1992).

D. Importancia.

La importancia del estudio de los tepetates cobra interés cuando las parcelas de los agricultores se encuentran enclavadas en este tipo de material de baja productividad, propiciando conflictos de tipo socio-económicos muy graves que los conducen al abandono de las actividades agropecuarias como principal fuente de ingresos y provocan la emigración a otras localidades.

Por ello es que surge la necesidad de conocer con mayor detalle el manejo racional de este tipo de material, por considerarse factible de recuperación mediante el estudio y empleo de prácticas adecuadas de recuperación y conservación de las mismas, llegando a convertirse en productivas (Sánchez, *et al.*, 1986).

La cementación de los horizontes del suelo constituye una forma grave de degradación del suelo que impide el desarrollo radical de las plantas, la presencia de capas cementadas favorece la erosión del suelo al impedir el paso del agua al subsuelo y propiciar el drenaje lateral interno y un mayor escurrimiento superficial con la consecuente disgregación y transporte de partículas minerales. (Flores, *et al.*, 1991).

A los tepetates se les han dado diversos usos ya sea con fines agropecuarios, forestales, ingeniería civil, artesanías y sobre todo en la construcción (Ruiz, 1986), en esta última en forma de bloques que son altamente resistentes a la meteorización e intemperismo, tal como se les puede observar en algunas casas particulares e iglesias antiguas, e incluso en construcciones modernas donde se alternan los tepetates blancos con los tepetates amarillos.

E. Características Físicas, Químicas y Mineralógicas.

a) Físicas.

Respecto al color se observa que el tepetate blanco es diferente del tepetate amarillo y rojo, tanto en color en seco como en húmedo. También se afirma que el tepetate amarillo y rojo son diferentes en cuanto a color en húmedo, pero no así en seco por lo que se dice que el tepetate rojo tiende al amarillo.

En lo que respecta a la granulometría se estima que el mayor porcentaje de arena corresponde al tepetate rojo (66%), enseguida el

tepetate amarillo (64%) y finalmente el tepetate blanco con un 59% de arena: (Pacheco y Estrada, 1986).

Su densidad aparente se encuentra entre los valores 1.1 a 1.4 g/cm³, la densidad real entre 2.4 y 2.8 g/cm³ (Etchevers, *et al.*, 1991). El espacio poroso en los tepetates es variable, fluctúa desde 20% hasta 60%.

Varios autores reportan los siguientes valores físicos y químicos encontrados en suelos tepetatosos.

—Cajuste y Cruz (1986), reportan los siguientes resultados: la textura predominante es arena migajosa, por lo tanto el contenido promedio de arcilla es bajo (4.5 a 5%), mientras que el de arena es alto, oscilando con un promedio de 75.5%.

—Sánchez *et al.*, (1986), en análisis físicos de los tepetates blanco y rojo se obtienen los siguientes resultados:

Tepetate	Método	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clasificación Textural
Blanco	Hidrómetro	54.96	31.54	13.40	Franco Arenoso
Blanco	Pipeta	55.32	31.28	13.30	Franco Arenoso
Blanco	Pipeta	65.32	25.28	9.40	Franco Arenoso
Rojo	Hidrómetro	55.32	30.28	14.40	Franco Arenoso
Rojo	Pipeta	58.60	25.90	15.60	Franco Arenoso
Rojo	Pipeta	62.25	22.30	15.54	Franco Arenoso

Color en seco	Color en húmedo
10 YR 7/2	10 YR 4/1
Gris claro	Gris oscuro
10 YR 6/6	5 YR 4/6
Amarillo castaño	Rojo amarillento

—Peña y Zebrowski (1991), reportan los siguientes resultados: se estudiaron 14 tipos de tepetates constituidos en cinco grupos (T3, T2 y T1 sin y con carbonatos de calcio).

Color, los tepetates de la serie T3 presentan colores intensos, variando de amarillos a pardos, los T2 fueron de colores claros, comprendido dentro del gris claro y blanco y los T1 variaron de pardos a amarillentos.

Textura, éstas fueron arenas francosas y francoarenosas, la estructura sobre los tepetates que no contienen carbonatos, consisten en depósitos consolidados (por procesos diferentes a la cementación química) y alterados (T3, T2) a tal grado que sólo han alcanzado a desarrollar subestructuras.

La densidad aparente de los tepetates con carbonatos fue de (1.43 a 1.55 g/cm³), sin carbonatos (1.16 a 1.35 g/cm³).

Densidad real, ésta se encuentra entre 2.4 a 2.8 g/cm³, humedad, en los tepetates sin carbonatos, la humedad varió de 9 a 12% (promedio 11%). Los tepetates con carbonatos

variaron de 5-11% (promedio 8%). Contenido de carbonatos, los resultados de laboratorio variaron de 1.4 a 14.2%.

- Prat y Quantin (1991), mencionan que el tepetate tiene características físicas e hídricas que corresponden a un material limoso masivo, endurecido, de densidad aparente 1 g/cm^3 . La porosidad 60% del volumen del material y la microporosidad 40% de la porosidad total.

Las curvas de retracción muestran que el tepetate es "metaestable", es decir que su estructura se mantiene idéntica desde el estado de saturación hasta alrededor de 20% de la humedad volumétrica, en donde se presenta una retracción brusca (± 5 del volumen total) que se interpretó como un aplastamiento del esqueleto.

b) Químicas.

Los análisis químicos revelan primeramente que los diferentes tipos de tepetates son químicamente similares, variando su composición global en términos estrechos. Además caracterizan a este material como derivado de materiales de composición básica.

Los tepetates presentan un porcentaje extremadamente bajo en materia orgánica y nitrógeno total (Sánchez, *et al.*, 1986).

En lo que se refiere a la reacción del suelo, pH sus grados de

acidez van de moderadamente ácido 5.1-6.5 a medianamente alcalino 7.4-8.5. La conductividad eléctrica es baja siendo en promedio de 0.4 mmhos/cm, en lo que respecta a los cationes intercambiables los valores que se presentan por lo regular son altos (Cajuste y Cruz, 1986).

Cabe señalar que los resultados de las determinaciones físicas y químicas de este tipo de suelos pueden variar de un tipo de tepetate a otro, esto de acuerdo a cada una de sus características ya sean climáticas, de relieve, cementación o compactación.

Estudios realizados por Sánchez *et al.* (1986), reportan los siguientes resultados, de dos tipos de tepetates: Tepetate rojo el pH es ligeramente alcalino (7-8), el porcentaje de nitrógeno total fue de 0.006-0.007, el % de materia orgánica 0.098-0.126, fósforo 2.92-3.63, potasio 1852-2340, calcio 8888-9346, magnesio 2436-2610 kg/ha.

El pH de los tepetates blancos es alcalino (8.5), el % de nitrógeno total es de 0.004-0.005, el % de materia orgánica es de 0.065-0.068, el fósforo es de 1.64-1.182, potasio 878-940, calcio 8050-9246 y magnesio 1826-1932 kg/ha.

Cajuste y Cruz (1986), reportan los valores químicos siguientes de algunos tepetates: el pH en la relación 1:2 es ligeramente alcalino 7.5, la conductividad eléctrica promedio 0.4 mmhos/cm, el % de materia orgánica 0.21, fósforo aprovechable 1.5 ppm, potasio 250-1200 ppm, calcio 3271 ppm, magnesio 1239 ppm y el CaCO_3 0.92%.

c) Mineralógicas.

Los diferentes tipos de tepetates están constituidos por los mismos minerales primarios, lo que denota un mismo origen. Los minerales más abundantes son: el cuarzo, feldespatos, piroxenos, anfíboles, plagioclasas, ferromagnesianos, cristobalita y calcita (Valdés, 1970).

En análisis mineralógicos de tepetates (blanco y rojo) realizados por Trueba (1979) encontró contenidos de hornblenda y feldespatos, lo que sugiere la presencia de aluminio, silicatos, anhídridos de potasio y calcio como agentes cementantes.

Rey (1979) reporta para el tepetate los siguientes minerales: cuarzo, feldespatos, microclina y ortoclase alterada, como cementantes está el CaCO_3 pero no en forma de calcita sino de caliche, clasificándolo como toba andesítica alterada.

En el análisis de rayos X el mismo autor reportó la presencia de cuarzo, feldespatos, cristobalita, illita y material amorfo. El tepetate rojo presenta vidrio volcánico, cuarzo y feldespatos (anortoclase, ortoclase y andesina) como cementantes minerales arcillosos clasificándolos como toba andesítica alterada. Los análisis de rayos X de la fracción mineral fina (2 micras) reportan cuarzo, feldespatos, (plagioclase y ortoclase) cristobalita, illita y material amorfo.

d) Degradación.

La erosión en el planeta es un fenómeno que a través del tiempo

disminuye la capa fértil del suelo, trayendo como consecuencia la pérdida gradual de los rendimientos en los cultivos, limitando drásticamente las posibilidades de un mayor desarrollo agrícola, ganadero y forestal.

La erosión del suelo es el resultado más evidente del uso irracional de este recurso. En ocasiones la erosión se produce por la necesidad de explotar la tierra ya agotada durante generaciones o por el uso de monocultivo, talas inmoderadas, quemas, técnicas inapropiadas y otros.

Estudios realizados en áreas afectadas por el afloramiento de tepetates de origen volcánico, han comprobado que se aporta alrededor de 16 toneladas de sólidos año/ha, material que se convierte en azolve de presas y canales. Por ello surge la necesidad de conocer con mayor detalle el manejo racional de este tipo de material, por considerarse factible su recuperación mediante el estudio y empleo de prácticas adecuadas de recuperación y conservación, que a futuro puede ser reincorporado a la producción.

III. OBJETIVOS.

Para la realización del presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- 1. Caracterizar morfológicamente cuatro perfiles tipo, representativo de los suelos de la zona de estudio.**
- 2. Analizar morfogenéticamente los perfiles estudiados para detectar su nivel de desarrollo evolutivo.**
- 3. Determinar las principales propiedades físicas y químicas de los mismos.**
- 4. Clasificar taxonómicamente a los suelos estudiados.**
- 5. Identificar taxonómicamente las principales especies vegetales que existen en el área.**
- 6. Analizar la relación suelo-vegetación en los grupos de vegetación existentes.**

IV. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

1. Localización

El estado de Morelos se encuentra situado en la parte sur y central de la República Mexicana, entre los paralelos $18^{\circ} 22' 08''$ y $19^{\circ} 07' 10''$ de latitud norte y entre los meridianos $98^{\circ} 37' 08''$ y $99^{\circ} 30' 09''$ de longitud oeste al meridiano de Greenwich.

La zona de estudio está ubicada al suroeste del municipio de Tetela del Volcán y al noréste del municipio de Ocuituco, entre los paralelos $18^{\circ} 51' 32''$ y $18^{\circ} 54' 42''$ de latitud norte y entre los meridianos $98^{\circ} 41' 13''$ y $98^{\circ} 46' 52''$ de longitud oeste, con una altitud entre los 1930 y 2130 m.s.n.m. Comprende una extensión de 60 km². (Figura 4).

El municipio de Tetela del Volcán tiene una superficie territorial de 98.518 km², superficie que representa el 1.99% del total del estado de Morelos. En el área de estudio este municipio ocupa el 90% de la superficie. El municipio de Ocuituco tiene una área de 80.710 km², cifra que representa el 1.63% del total del estado de Morelos. En el área de estudio este municipio ocupa el 10%.

2. Fisiografía

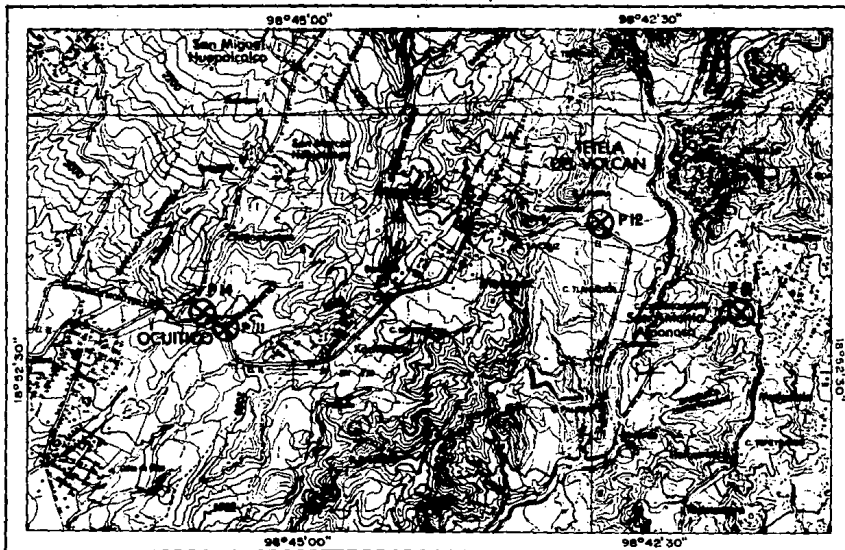
Los límites del estado de Morelos se encuentran dentro de dos

Figura 3 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO



Escala Aprox. 1:1000 000

Figura 4 UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO



Escala Aprox. 1:50 000

⊗ = PERFIL DE SUELOS

Fuente: S.P.P. 1985.

provincias fisiográficas: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur. (S.P.P., 1981).

La provincia Eje Neovolcánico se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, depositados en diversos episodios volcánicos que se originaron a mediados del terciario. Está integrada por grandes sierras volcánicas, conos dispersos y amplios estrato-volcanes y depósitos de arena y cenizas dispersas en extensas planicies.

La provincia Eje Neovolcánico comprende dos Subprovincias: la de Lagos y Volcanes de Anáhuac y la del Sur de Puebla. (Figura 5), (S.P.P., 1981).

Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac.

La parte norte y este del estado de Morelos quedan comprendidas en esta subprovincia que cubre una área de 2,204,132 km², de los cuales 98,510 corresponden al municipio de Tetela del Volcán.

Esta subprovincia la conforman la Sierra Volcánica del Ajusco (Axochco) que va del límite sur de la Sierra de las Cruces hasta extenderse al oriente, cerca del volcán Popocatepetl.

Figura 5 PROVINCIAS Y SUBPROVINCIAS DEL ESTADO DE MORELOS



—— Límite de Provincias
..... Límite de Subprovincias

Fuente: S. P. P. 1981

Escala Aprox. 1:500000

3. Geología

El área de estudio se localiza en la Provincia Eje Neovolcánico que cubre la mayor parte del estado de Morelos, desde el norte al suroeste.

En el estado de Morelos existen afloramientos de rocas ígneas recientes y sedimentarias del cretácico inferior, litológicamente clasificadas como calizas, areniscas, lutitas y conglomerados.

Las rocas volcánicas son las más jóvenes y las más abundantes en el estado. Las estructuras geológicas más notables son las constituidas por los aparatos volcánicos y espesos derrames de lava. Los rellenos de los valles están formados por depósitos aluviales del cuaternario. Además existe un gran número de conos cineríticos y que sobresalen del grueso paquete de lavas.

En los municipios de Tetela del Volcán y Ocuilco predominan rocas ígneas extrusivas como el basalto, toba y brecha volcánica, que datan del período cuaternario.

En el área de estudio predominan depósitos clásticos de material volcánico, derrames lávicos que forman el macizo del volcán Popocatepetl así como Lahares o derrames de lodo.

4. Hidrología

Todo el estado de Morelos queda comprendido en la región hidrológica "RIO BALSAS" (No. 18) con una superficie de 4,958.22

km². Sus ríos más importantes son el río Grande de Amacuzac, Tetecala o Chalma, Tembembe, Yautepec, Tetlama, Xochitepec, Cuautla, Jantetelco y el Nexapa.

Las lagunas principales son: Tequesquitengo, Coatetelco y el Rodeo. El estado cuenta además con numerosos manantiales de aguas termales, como Agua Hedionda en Cuautla y la Fundición en Tehuixtla, (S.P.P., 1981).

En los municipios de Tetela del Volcán y Ocuituco, por encontrarse en la vertiente meridional del Popocatepetl, los escurrimientos que provienen de este volcán van formando el río Jantetelco ó Amatzinac que tiene un curso de 35 kilómetros aproximadamente, al sur se llama río Tenango, lleva un caudal permanente todo el año y su cuenca hidrológica abarca todo el municipio, además de una serie de arroyos de caudal solamente en épocas de lluvia. (Secretaría de Gobernación, 1988).

5. Edafología

En el estado de Morelos existen una gran diversidad de suelos, siendo los más abundantes los Feozem, Regosoles, Luvisoles, Andosoles, Rendzina y Vertisoles. (S.P.P., 1981).

Los suelos que predominan en el municipio de Tetela del Volcán corresponden a climas semicálidos y templados subhúmedos, presentan un origen predominante residual y volcánico. En la zona de estudio

predominan los suelos Andosoles y Luvisoles.

Los Andosoles son suelos que se encuentran en áreas donde hubo actividad volcánica reciente, se caracterizan por tener una capa superficial de color negro o muy oscuro, en ocasiones su color es claro, cada subunidad tiene sus propias características específicas, el húmico es rico en materia orgánica, pero es muy ácido y muy pobre en nutrientes, es de textura media.

Luvisoles son suelos que poseen un alto contenido de arcillas en el horizonte B, y que han sufrido un intemperismo moderado, contienen importantes cantidades de bases. Los Luvisoles corresponden a suelos empedecidos templados, los cuales desarrollan un horizonte argílico.

6. Clima

La caracterización climática se realizó por medio del sistema de clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García (1988).

Los climas principales que se presentan en el estado de Morelos son: Cálido que rige en las zonas bajas de los ríos Amacuzac y Nexapa; semicálidos, en una franja que va de este a oeste situada en la región norte, en la zona de transición entre la sierra y los valles; el templado o mesotérmico que se distribuye en la zona norte y en las partes altas de los valles de Cuernavaca y de Cuautla y semifríos que rigen en pequeñas áreas en el extremo norte, concentrándose en las partes altas de la sierra, como son la Cordillera Neovolcánica y la Sierra Nevada o Transversal.

La zona de estudio se caracteriza por presentar un clima Cb (m) (w) ig templado húmedo, el más húmedo de los templados con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de cinco.

La precipitación media anual oscila entre los 1200-1800 mm y la temperatura media anual entre 14 y 20°C.

La mayor incidencia pluvial se presenta en julio con un intervalo entre 330-380 mm y la menor se registra en febrero y diciembre con un valor menor de 10 mm.

Los meses más cálidos son, marzo, abril, mayo y junio con una temperatura entre 15 y 19°C, diciembre es el mes más frío con una temperatura que varía de los 10-15°C, (S.P.P., 1981). (Tabla 1).

Para la obtención de los datos se consideró la estación meteorológica de Tetela del Volcán, estado de Morelos. (Figura 6).

7. Vegetación

En el estado de Morelos la vegetación no es muy diversa ya que gran parte de su territorio está ocupado actualmente por la agricultura, en el municipio de Tetela del Volcán la vegetación predominante está integrada por: bosque de oyamel, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de pino, vegetación secundaria, agricultura de riego, agricultura de temporal y selva baja caducifolia. (S.P.P., 1981; Rzedowski, 1978).

Tabla 1

**TEMPERATURA Y PRECIPITACION MEDIA MENSUALES DE LA ESTACION
METEOROLOGICA DE TETELA DEL VOLCAN, ESTADO DE MORELOS**

**Coordenadas: 18° 54' Latitud norte
98° 45' Longitud oeste
Altura sobre el nivel del mar: 2200 m**

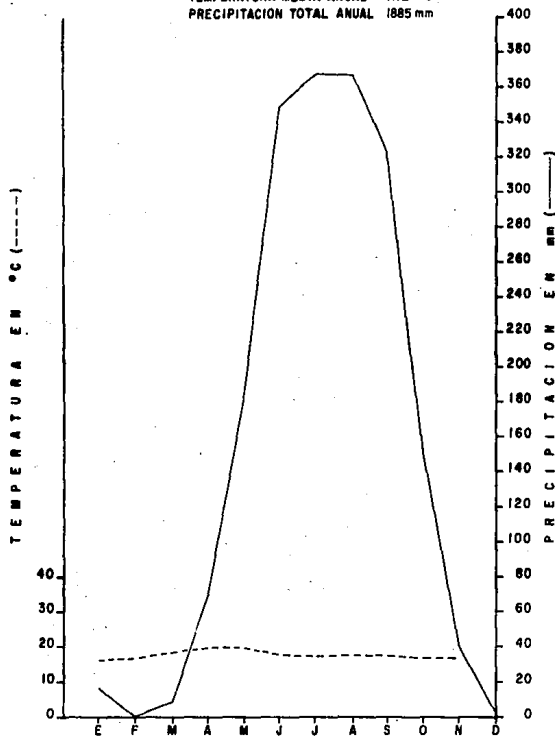
**Datos de temperatura durante 07 años
Datos de precipitación durante 15 años**

Mes	Temperatura	Precipitación
Enero	15.9°C	18.1 mm
Febrero	16.3	1.3
Marzo	18.0	9.3
Abril	19.4	70.5
Mayo	19.8	185.3
Junio	17.7	349.7
Julio	17.1	368.5
Agosto	17.3	367.6
Septiembre	17.1	322.3
Octubre	16.8	149.8
Noviembre	16.3	40.2
Diciembre	15.6	2.6
Anual	17.2	1885.2
P/T	10.91	% P. Inv. 1.5 Oscil. 4.5

TIPO DE CLIMA Cb (m) (w) ig

Figura 6 VARIACION MENSUAL DE TEMPERATURA Y PRECIPITACION DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE TETELA DEL VOLCAN, MORELOS.

PERIODO DE OBSERVACION: T 7 AÑOS, P 15 AÑOS
 TEMPERATURA MEDIA ANUAL 17.2 °C
 PRECIPITACION TOTAL ANUAL 1885 mm



La vegetación nativa en la zona de estudio la conforman bosques de encino, pino y vegetación secundaria. También existen huertas de árboles frutales introducidos por el hombre: como son el aguacate, durazno, ciruela, higo, chabacano, pera y manzana, así como productos agrícolas como el maíz, frijol y jitomate.

8. Uso del Suelo

El estado de Morelos cuenta con excelentes posibilidades de uso agrícola de la tierra en más de la mitad de su territorio, ya sea en forma mecanizada o con tracción animal y manual, el sistema de gran llano con lomeríos, que abarca casi todo el centro y sur de la Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac, no presenta ninguna limitante para llevar a cabo actividades agrícolas con elevados índices de producción.

Del total de la superficie estatal el 60% son tierras con vocación agrícola: el 3.5% de uso pecuario; el 10% forestal y el 26% restante se destina a otros usos.

La agricultura de riego se localiza en los sistemas de lomeríos suaves, pequeño llano aislado y gran llano aislado, el agua para riego es suministrada por pozos y arroyos. Los principales cultivos que se dan son: caña de azúcar, maíz, frijol, tomate, jitomate, lechuga y arroz.

La agricultura de temporal, se da bajo climas semicálidos subhúmedos con lluvias en verano, presentando buenos rendimientos en las cosechas, la fertilidad y profundidad de los suelos varían, por lo que

en algunas zonas se reportan más bajos rendimientos que en otras. Los cultivos son anuales, semiperennes y perennes, consisten principalmente en: maíz, frijol, tomate de cáscara, jitomate y otros.

En la zona de estudio, el principal uso del suelo es agrícola (S.P.P., 1981). Se considera un 85% de suelo dedicado a la agricultura de tracción animal continua y un 15% a la agricultura mecanizada continua.

V. METODOLOGIA

1. Gabinete

A. Descripción y caracterización de los suelos.

La metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo se basó en la empleada actualmente por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. También se siguió aquella del Soil Survey Staff (1973).

B. Comparación con otros estudios.

Se comparó esta investigación con otros estudios y clasificaciones, anteriormente realizadas, evaluando en cada una la calidad, nivel de trabajo y los resultados obtenidos.

C. Análisis morfogénético.

Se hizo un análisis de la morfología de los perfiles, particularmente de sus horizontes, espesor, presencia de las capas cementadas y compactadas así como del origen y modo de formación de los mismos.

D. Clasificación Taxonómica.

Se ubicaron taxonómicamente a estos suelos mediante el sistema FAO-UNESCO (1989) y Soil Survey Staff (1990).

E. Relación suelo-vegetación.

Se hizo un análisis por grupos de vegetación en relación a los

suelos donde se desarrollan, considerando principalmente la actitud humana.

F. Teledetección.

Se utilizaron fotografías aéreas en blanco y negro a una escala de 1:75 000. La fecha de vuelo fue diciembre de 1992 y su cubrimiento en la zona comprende las líneas y fotografías siguientes: línea L-167 E 14-5, fotografías No. 02, 03, 04, y línea L-168 E 14-5 y fotografías No. 02, 03 y 04.

2. Campo

El trabajo de campo se llevó a cabo de acuerdo a las siguientes etapas:

- A. Localización por medio de las fotografías aéreas de puntos de muestreos y verificación.**
- B. Recorrido preliminar de la zona.**
- C. Planeación del tiempo.**
- D. Se obtuvieron los puntos de verificación y posteriormente se decidieron los puntos de muestreo de perfiles.**
- E. Se muestrearon los perfiles de acuerdo a los horizontes clasificados en el campo, obteniendo un total de 15 m**

correspondientes a cuatro perfiles.

- F. Se establecieron diferentes observaciones sobre las características morfológicas y genéticas de estos suelos.
- G. Se recolectaron especímenes de la vegetación nativa e introducida como también de los cultivos de la zona de estudio.

3. Laboratorio

Las determinaciones físicas y químicas de las muestras de los suelos recolectadas en campo se realizaron en el departamento de Edafología del Instituto de Geología de la U.N.A.M. previamente secadas al aire, molidas y pasadas por un tamíz de 2 mm de diámetro.

A. Determinaciones físicas.

Se determinó el color en seco y en húmedo por comparación de las tablas Munsell, (1975). Densidad aparente por el método del terrón (Black, 1965). Densidad real se analizó por el método del picnómetro. Porosidad se determinó mediante la relación calculada por la densidad real y la densidad aparente. Textura por el método de Bouyoucus, (1963).

B. Determinaciones químicas.

La actividad de los iones hidrógeno se determinó en una suspensión suelo-agua a una relación de 1: 2.5, utilizando un

potenciómetro Corning modelo 10. Bases intercambiables se determinaron en el extracto obtenido por percolación con acetato de amonio 1 N pH 7 cuantificando el Ca^{++} y Mg^{++} por titulación con EDTA (Jackson, 1970). Na^+ y K^+ , se analizaron por flamometría, en un flamómetro Corning modelo 400. Capacidad de Intercambio Catiónico Total (C.I.C.T.), se determinó por centrifugación saturando con acetato de sodio 5.N (Black, 1965). Materia orgánica se analizó por el método de Walkley y Black, (1947). Fósforo asimilable se cuantificó por el método de Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945).

4. Identificación de los ejemplares de herbario

Los ejemplares de herbario fueron identificados en el Laboratorio de Plantas Vasculares de la Facultad de Ciencias de la U.N.A.M. por los biólogos Claudia Gallardo Hernández y Lucio Lozada P.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

1. Caracterización morfológica de los perfiles

Perfil No. 11

Se describió en una topografía de lomerío a 4.5 km antes de Tetela del Volcán, a una altitud de 2000 m.s.n.m. Con un clima templado subhúmedo (García, 1988), erosión moderada, uso actual del suelo dedicado principalmente a la agricultura de temporal, bosque de encino-pino y árboles frutales. (Figura 7).

Horizonte	Profundidad (cm)	Características Morfológicas
AB	0-32	Separación gradual, plana; color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 5/4 pardo claro; textura franco arcillosa; estructura migajosa muy fina, débil; porosidad: poroso fino, abundante; consistencia en seco, blanda, en húmedo muy friable; drenaje interno drenado; raíces medias abundantes.
B1t	32-62	Separación gradual, plana; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillento oscuro; textura franco arcillosa; estructura migajosa muy fina, débil; porosidad: poroso fino, abundante; consistencia en seco blanda, en húmedo muy friable; drenaje interno drenado; raíces medias abundantes.

Horizonte	Profundidad (cm)	Características Morfológicas
B2t	62-93	Separación gradual, plana; color en seco 10YR 6/4 pardo amarillento claro, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillento oscuro; textura franco arcillosa; estructura migajosa muy fina, débil; porosidad: poroso fino, moderada; consistencia en seco ligeramente dura, en húmedo friable; drenaje interno drenado; raíces medias, frecuentes.
Bx	93-144	Separación gradual, abrupta, irregular; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arcillo arenosa; estructura masiva, gruesa, moderada; porosidad: poroso fino, escasa; consistencia en seco ligeramente dura, en húmedo muy friable; grietas y fisuras, agrietado ancho; drenaje interno drenado; raíces medias escasas.
BC	144-210	Separación abrupta, irregular; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arcillo arenosa; estructura migajosa fina, moderada; porosidad: poroso fino, moderado; consistencia en seco dura; en húmedo firme; drenaje interno drenado; raíces medias abundantes.



Figura 7. Fotografía del perfil 11 donde se muestra en la parte media del fragipán, de contorno y configuración irregular.

Perfil No. 12

Se localiza a 2 km de Tetela del Volcán a un costado de la carretera con rumbo a Tlacotepec, en una topografía denominada de lomerío, de colinas redondeadas, a una altitud de 2130 m.s.n.m. Con un clima templado subhúmedo y una precipitación aproximada de 1885.2 mm (García, 1988), la erosión es moderada, uso principal del suelo es agrícola, árboles frutales y de bosque encino-pino. (Figura 8).

Horizonte	Profundidad (cm)	Características Morfológicas
A11	0-28	Separación difusa, plana; color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arenosa; estructura migajosa fina, débil; porosidad: poroso fino, abundante; consistencia en seco muy friable; en húmedo blanda; grietas y fisuras, finamente fisurado; drenaje interno, drenado; raíces finas, abundantes.
A12	24-84	Separación difusa, plana; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento oscuro; textura franco arcillosa; estructura migajosa, fina, débil; porosidad: poroso fino, abundante; consistencia en seco, ligeramente dura, en húmedo friable; grietas y fisuras, finamente fisurado ancho; drenaje drenado; raíces, finas, frecuentes.

Horizonte	Profundidad (cm)	Características Morfológicas
AB	84-142	Separación difusa, plana; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arcillosa; estructura bloques subangulares, media, moderada; porosidad: poroso fino, moderada; consistencia en seco dura, en húmedo firme; drenaje moderadamente drenado; raíces finas, frecuentes.
Cqm	142-160	Separación difusa, plana; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arcillo arenosa; estructura masiva, muy fina, débil; porosidad: poroso fino, escasa; consistencia en seco, muy dura, en húmedo muy firme.

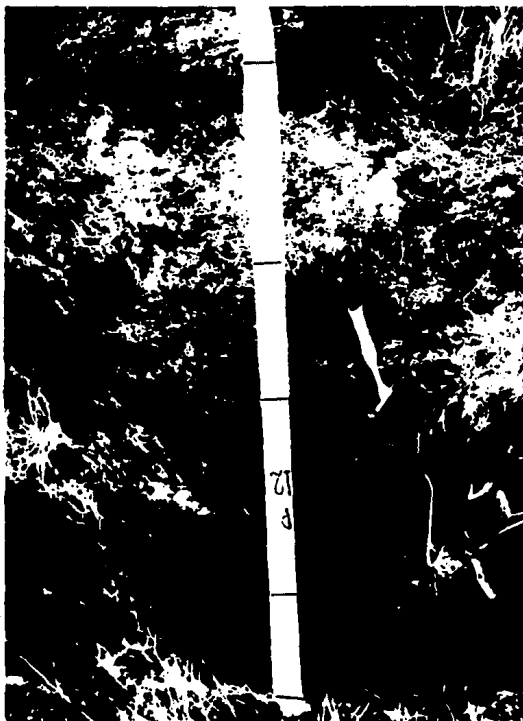


Figura 8. Fotografía del perfil 12. A partir del mango del martillo se inicia la presencia del tepetate.

Perfil No. 13

Se encuentra a 9 km de Tetela del Volcán con dirección a Tlacotepec, predominando las geoformas de lomeríos, a una altitud de 1930 m.s.n.m. Con clima templado subhúmedo, erosión fuerte, predominando rocas ígneas extrusivas del cuaternario, el uso actual del suelo está dedicado principalmente a la agricultura de temporal, árboles frutales, pastizal inducido y bosque de encino-pino. (Figura 9).

Horizonte	Profundidad (cm)	Características Morfológicas
A	0-24	Separación abrupta, plana; color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arenosa; estructura migajosa, fina, débil; porosidad: poroso fino, abundante; consistencia en seco dura, en húmedo muy firme; grietas y fisuras, finamente fisurado, ancho, drenaje interno, drenado; raíces, finas.
Cqm	24+	Separación abrupta, plana; color en seco 10YR 5/4 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arcillo arenosa; estructura masiva, muy fina, débil; porosidad: poroso fino, escaso; consistencia en seco dura, en húmedo muy duro; grietas y fisuras, fisurado ancho.



Figura 9. Fotografía del perfil 13. Obsérvese el espesor del solum y el afloramiento del duripán. En el sitio se manifestó una erosión severa.

Perfil No. 14

Este perfil se localiza a 5.5 km antes de Tetela del Volcán, a un costado de la carretera Ocuituco-Tetela del Volcán, sobre una geoforma de lomerío, a una altitud de 2010 m.s.n.m. Con un clima templado subhúmedo, erosión moderada, uso del suelo dedicado a la agricultura, pastoreo, bosque de encino-pino y árboles frutales. (Figura 10).

Horizonte	Profundidad (cm)	Características Morfológicas
A	0-35	Separación difusa, ondulada; color en seco 10YR 5/3 pardo, en húmedo 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro; textura franco arcillo arenoso; estructura migajosa, fina, moderada; porosidad: poroso fino, abundante; consistencia en seco ligeramente dura, en húmedo friable; grietas y fisuras, finamente fisurado, ancho; drenado interno, muy drenado; raíces, finas, abundantes.
B21t	35-82	Separación difusa, plana; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arcillosa; estructura migajosa, fina, moderada; porosidad: poroso fino, moderada; consistencia en seco dura, en húmedo firme; drenaje interno, drenado; raíces finas, frecuentes.

Horizonte	Profundidad (cm)	Características Morfológicas
B22t	82-108	Separación difusa, plana; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/3 pardo oscuro; textura franco arcillosa; estructura bloques subangulares, media, moderada; porosidad: poroso fino, escaso; consistencia en seco muy dura, en húmedo muy firme; drenaje interno, drenado; raíces finas, escasas.
BC	108-240	Separación difusa; color en seco 10YR 6/6 pardo amarillento, en húmedo 10YR 4/4 pardo amarillento oscuro; textura franco arcillosa; estructura bloques subangulares, fina, moderado; porosidad: poroso fino, escaso; consistencia en seco muy dura, en húmedo muy firme; drenaje interno, drenado; raíces finas, escasas.



Figura 10. Fotografía del perfil 14. En estos suelos no existe tepetate. Nótese lo homogéneo del perfil y en la parte central los horizontes de iluviación.

2. Análisis morfogenético

El perfil 12 (Figura 8) presenta horizontes A-Cqm. El horizonte A presenta tres subhorizontes, observándose en el AB la formación incipiente de un horizonte de iluviación. Subyace al horizonte A el Cqm, un horizonte cementado por sílice, mejor conocido por duripán (Soil Survey Staff, 1990). Este duripán se constituyó a partir de tobas andesíticas que preexistieron, materiales que se consolidaron y cementaron desde su depósito, pero, que posteriormente, han recibido más aportes silícicos de piroclastos más recientes (Fries, 1965; Flores, et al., 1992). Los suelos se formaron a partir de dichos materiales cementados y continúan su evolución bajo el régimen climático prevaleciente.

El perfil 13, como se observa en la Figura 9, manifiesta un alto grado de perturbación humana, a tal grado que el horizonte A ha quedado reducido a sólo 24 cm de espesor, a diferencia de 142 cm del horizonte A del perfil 12. Es indudable que aquí se presentan consecuencias de una erosión severa que el hombre ha provocado. En ciertas áreas cercanas al sitio donde se estudió este perfil, se encuentra el duripán expuesto, aflorando en la superficie. De la misma forma que en el perfil 12, este duripán se constituyó a partir de los mismos materiales ígneos ya señalados y siguiendo los procesos indicados.

El perfil 11 (Figura 7) muestra homogeneidad en la textura, con porcentajes de arcilla de 36 a 38% en los tres horizontes superficiales y de 30 a 31% en los profundos. El horizonte superficial AB, presenta

mucha afinidad con el B. Dentro de éste, a la profundidad de 93-144, se encuentra un horizonte Bx, es decir un horizonte B con fragipán. Es conveniente hacer notar que no se trata de un fragipán típico, con cierto nivel de dureza y fragilidad a la vez (Soil Survey Staff, *op. cit.*). Este fragipán es de un color más claro que el resto de los horizontes. Tiene un grado incipiente de dureza, pero es fácilmente deleznable, mucho más frágil que los reportados para el noreste del estado de Morelos, pero en altitudes menores, por Flores y colaboradores, (1992).

Se considera que este horizonte se ha formado por efecto de compactación y lixiviación causadas por periglaciares, además por la acumulación de cementante silícico derivado del vidrio volcánico y materiales amorfos superficiales. Debe recordarse que el área de estudio se encuentra en el flanco sur del volcán Popocatepetl.

El perfil 14 (Figura 10), presenta dos horizontes de acumulación que subyacen al horizonte A y sobreyacen al horizonte de transición (BC). Los porcentajes de arcilla en dichos horizontes de lixiviación son de 36 a 40%, mientras que en el horizonte aluvial sólo se registró 23% y en el BC 32%. Este perfil no presenta horizonte endurecido, sin embargo, forma parte de la variedad morfológica y genética de suelos existentes en el área de estudio.

Por otra parte, no se descarta que el hombre al deforestar los suelos y mediante una explotación irracional, contribuya a la formación de horizontes endurecidos, tepetates, en estos suelos.

3. Análisis de las propiedades físicas y químicas.

A. Propiedades físicas.

En las tablas 2 a 5 se presentan las propiedades físicas determinadas en los perfiles estudiados.

El color en seco es muy homogéneo, como corresponde a este grupo taxonómico de suelos. Varió de pardo 10YR 5/3, pardo amarillento claro, 10YR 6/4 y amarillo pardusco, 10YR 6/6. El color dominante fue amarillo pardusco, 10YR 6/6.

El color en húmedo fluctuó de pardo grisáceo oscuro, 10YR 4/2, pardo oscuro, 10YR 4/3, pardo amarillento oscuro, 10YR 4/4 y pardo amarillento 10YR 5/4.

El color en húmedo dominante fue pardo oscuro, 10YR 4/3.

La densidad aparente fluctuó de 0.91 a 1.7 g/cm³, siendo el valor dominante de 1.1 g/cm³. También en suelos de origen volcánico, Aguilera (1964, 1989) reportó valores de densidad aparente de 0.86 y de 0.74 a 1.73 g/cm³. Más específicamente Hidalgo (1986) encontró valores entre 0.72 y 1.22 g/cc en Andosoles de la Sierra Nevada (Distrito Federal, Estados de México y Morelos).

Se ha seleccionado el límite de 0.9 g/cm³ de densidad aparente como una de las propiedades diagnósticas en suelos de origen volcánico, en los cuales dominan materiales amorfos en el complejo de intercambio

(Soil Survey Staff, 1990). La densidad aparente de los duripanes de los perfiles 12 y 13 fueron de 1.5 y 1.7 g/cm³ respectivamente, característica también diagnóstica para los duripanes, ya que se han reportado con densidades aparentes altas (Nimlos 1989, Flores, *et al.*, 1992).

Los valores de densidad real variaron de 1.94 a 2.49 g/cm³ dominando el intervalo de 2.10 a 2.36 g/cm³. Lo obtenido en este trabajo coincide con lo reportado por otros autores en suelos de origen volcánico (Alvarez, 1982 y Aguilera 1989).

La porosidad total coincide con los porcentajes determinados por los autores ya citados, observándose que los valores más altos se obtienen en los horizontes superficiales y los más bajos en los profundos. Los duripanes característicamente muestran una reducción en la porosidad total, lo cual es debido a la obstrucción de los poros por el cementante silícico proveniente de la alteración del vidio volcánico y compuestos amorfos (Flores, *et al.*, 1992).

Es común señalar para Andosoles texturas medias a ligeras (Vallejo, 1968; Gama, 1985; Aguilera, 1989; Valera, 1993). Para este estudio no fue la excepción, ya que para los Andosoles se determinaron predominantemente texturas franco arenosas en los horizontes superficiales, franco arcillosas y franco arcillo arenosas en los profundos. Este último tipo textural se detectó también en los duripanes. Los Luvisoles registraron texturas franco arcillosas y franco arcillo arenosas en toda la profundidad del perfil. (Tablas 2, 3, 4 y 5).

Tabla 2. Principales propiedades físicas del perfil 11

PERFIL
11

PROPIEDADES FISICAS

Hz	Profundidad (cm)	C O L O R		D.A. g./cm ³	D.R. g./cm ³	POROSIDAD TOTAL	T E X T U R A		
		S E C O	H U M E D O				% ARENA	% LIMO	% ARCILLA
AB	0-32	10 YR 6/4 Pardo amarillento claro	10 YR 5/4 Pardo amarillento	.94	1.96	52.05	36	26	38
							Franco arcillosa		
B _{1t}	32-62	10 YR 6/6 Amarillo parduzco	10 YR 4/4 Amarillo oscuro	1.96	2.36	49.58	30	32	38
							Franco arcillosa		
B _{2t}	62-93	10 YR 6/4 Pardo amarillento claro	10 YR 4/4 Pardo amarillento oscuro	.91	2.27	59.92	34	30	36
							Franco arcillosa		
B _x	93-144	10 YR 6/6 Amarillo parduzco	10 YR 4/3 Pardo oscuro	1.02	1.94	47.43	50	19	31
							Franco arcillo arenosa		
BC	144-210	10 YR 6/6 Amarillo parduzco	10 YR 4/3 Pardo oscuro	1.07	2.05	47.81	52	16	30
							Franco arcillo arenosa		

Tabla 3. Principales propiedades físicas del perfil 12

PERFIL
12

PROPIEDADES FISICAS

Hz	Profundidad (cm)	C O L O R		D.A. g./cm ³	D.R. g./cm ³	POROSIDAD TOTAL	T E X T U R A		
		S E C O	H U M E D O				% ARENA	% LIMO	% ARCILLA
A ₁₁	0-28	10 YR 5/4	10 YR 4/3	1.4	2.36	40.68	55	30	15
		Pardo amarillento	Pardo oscuro				Franco arenosa		
A ₁₂	28-84	10 YR 6/6	10 YR 4/4	1.3	2.49	47.79	33	28	39
		Amarillo parduzco	Pardo amarillento oscuro				Franco arcillosa		
AB	84-142	10 YR 6/6	10 YR 4/3	1.4	2.10	33.33	35	25	40
		Amarillo parduzco	Pardo oscuro				Franco arcillosa		
Cqm	142-180	10 YR 6/6	10 YR 4/3	1.5	2.40	37.50	53	25	22
		Amarillo parduzco	Pardo oscuro				Franco arcilla arenosa		

Tabla 4. Principales propiedades físicas del perfil 13

PROPIEDADES FÍSICAS

Hz	Profundidad (cm)	C O L O R		D.A. g./cm ³	D.R. g./cm ³	POROSIDAD TOTAL	T E X T U R A		
		S E C O	H U M E D O				% ARENA	% LIMO	% ARCILLA
A	0-24	10 YR 5/4 Pardo amarillento	10 YR 4/3 Pardo oscuro	1.1	2.17	48.30	86	28	16
							Frases arcillosas		
Cqm	24 +	10 YR 5/4 Pardo amarillento	10 YR 4/3 Pardo oscuro	1.7	2.26	24.77	63	20	27
							Frases arcillo arcillosas		

Tabla 5. Principales propiedades físicas del perfil 14

PERFIL
14

PROPIEDADES FÍSICAS

Hz	Profundidad (cm)	C O L O R		D.A. g./cm ³	O.R. g./cm ³	POROSIDAD TOTAL	T E X T U R A		
		S E C O	H U M E D O				% ARENA	% LIMO	% ARCILLA
A	0-35	10 YR 5/3 Pardo	10 YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro	1.1	2.48	55.82	58	18	23
B _{21t}	35-82	10 YR 6/6 Amarillo parduzco	10 YR 4/3 Pardo oscuro	1.1	2.18	48.54	25	35	40
B _{22t}	82-108	10 YR 6/6 Amarillo parduzco	10 YR 4/3 Pardo oscuro	1.3	2.13	38.87	38	28	38
BC	108-240	10 YR 6/6 Amarillo parduzco	10 YR 4/4 Pardo amarillento oscuro	1.1	2.02	46.54	38	29	32

B. Propiedades Químicas.

En los cationes intercambiables, particularmente la relación $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} / \text{K}^+$, mostró los índices que se señalan en las tablas 6, 7, 8 y 9. Tales índices muestran las diferencias o niveles óptimos de los cationes en la solución del suelo.

En el perfil 11 se detectaron deficiencias de Ca^{++} y Mg^{++} en los dos horizontes superficiales y en el horizonte más profundo. En los horizontes intermedios la deficiencia fue de K^+ . Para el perfil 12 en todos los horizontes se manifestó deficiencia de Ca^{++} y Mg^{++} . Las deficiencias en el perfil 13 fueron de K^+ en el horizonte superficial y de Ca^{++} y Mg^{++} en el duripán. Por último, en el perfil 14 hubo deficiencias de Ca^{++} y Mg^{++} .

Tales deficiencias de bases intercambiables se deben fundamentalmente a la condición de textura media con insuficiente cantidad de arcilla y escasez de materia orgánica. Si además consideramos los altos niveles de precipitación pluvial, 1885 mm anuales, todo se favorece para que las bases se pierdan por lixiviación.

La capacidad de intercambio catiónico total, C.I.C.T., es de media a alta (Vázquez y Bautista, 1993) debido a que como ya se indicó, los porcentajes de arcilla son de medios a bajos.

En el mayor número de horizonte el pH es neutro y sólo en pocos horizontes es ligeramente ácido (Moreno, 1970).

Los niveles de materia orgánica fueron de pobres a medianamente pobres en los horizontes superficiales a extremadamente pobres en los profundos, principalmente en los duripanes. En una situación similar se encuentra el nitrógeno total, ya que manifestó de niveles medianamente pobre a pobre en los horizontes superficiales hasta extremadamente pobres en los profundos. Por su parte, el fósforo asimilable se encontró en niveles pobres en todos los horizontes.

Los porcentajes de carbono orgánico son muy bajos (Vázquez y Bautista, 1993). La relación carbono-nitrógeno alcanza valores medios y bajos, lo que indica liberación de nitrógeno mineral. El por ciento de saturación de bases mayor de 50 es considerado de medio a alto. En aquellos casos en donde es menor de 50 se acusa una pérdida notoria de bases.

Las propiedades químicas observadas en los perfiles estudiados están congruentes en general, con lo descrito por otros autores para suelos de origen volcánico. (Tablas 6, 7, 8 y 9).

4. Clasificación de los suelos

El perfil 11, con base en FAO-UNESCO (1989), se clasifica dentro de la Unidad Luvisols y de acuerdo a Soil Survey Staff (1990) está en el Gran Grupo Fragiudalf. Los perfiles 12 y 13, con base en el primer sistema de clasificación corresponden a la Unidad Andosols y con base en el segundo, al Gran Grupo Durudans. El perfil 14 se ubicó taxonómicamente en la Unidad Luvisols y dentro del Gran Grupo Hapludalfs, respectivamente.

Tabla 6. Principales propiedades químicas del perfil 11

PERFIL
11

PROPIEDADES QUIMICAS

Hz	Prof. (cm)	CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g)				C.I.C.T. meq/100g	SATU. BASES %	INDICE Ca+Mg K	pH	M.O. %	N %	C %	CN	P caim Kg/ha
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									
AB	0-32	6.5	5.5	1.34	2.43	19.5	80.8	4.93	7.1	0.68	0.04	0.39	9.7	1.9
B _{1t}	32-62	8.0	6.5	1.35	1.02	28.9	62.7	14.5	7.0	0.34	0.02	0.19	8.5	2.4
B _{2t}	62-83	7.0	5.5	2.03	0.25	28.8	54.8	50	8.8	0.13	0.01	0.07	7.0	1.2
B _s	83-144	4.0	8.0	1.34	0.18	29.1	46.3	75	8.4	0.13	0.01	0.07	7.0	2.8
BC	144-210	3.5	2.0	0.70	0.89	28.9	26.0	8.17	8.5	0.34	0.01	0.19	19.	4.4

Tabla 7. Principales propiedades químicas del perfil 12

PROPIEDADES QUÍMICAS

Hz	Prof. (cm)	CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g)				C.I.C.T. meq/100g	SATU. BASES %	INDICE Ca+Mg K	pH	M.O. %	N %	C %	C/N	P asim Kg/ha
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									
A ₁₁	0-28	5.5	8.0	.46	1.08	19.5	82.2	14.5	7.0	1.28	0.07	0.74	10.5	1.0
A ₁₂	28-84	5.5	4.0	.54	.55	17.3	60.5	17.3	7.1	.60	0.03	0.34	11.5	0.9
AB	84-142	8.5	6.5	.72	1.02	21.3	69.2	12.7	7.0	.40	0.02	0.23	11.5	0.9
Capn	142-160	7.5	11.5	.97	1.2	23.9	98.5	15.8	6.8	.13	.008	0.07	11.8	1.0

Tabla 8. Principales propiedades químicas del perfil 13

PROPIEDADES QUIMICAS

Hz	Prof. (cm)	CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g)				C.I.C.T. meq/100g	SATU. BASES %	INDICE $\frac{Ca+Mg}{K}$	pH	M.O. %	N %	C %	C/N	P aam Kg/ha
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									
A	0-24	5.0	5.0	.43	.17	18.2	58.2	58.8	6.8	1.75	0.08	1.01	11.2	1.0
Cam	24 +	5.0	5.0	.54	.42	18.2	59.8	23.8	6.5	.40	0.03	0.23	7.6	1.2

Tabla 9. Principales propiedades químicas del perfil 14

PERFIL
14

PROPIEDADES QUÍMICAS

Hz	Prof. (cm)	CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g)				C.I.C.T. meq/100g	SATU.	INDICE	pH	M.O. %	N %	C %	C/N	P asim Kg/ha
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺		BASES %	Ca+Mg K						
A	0-35	8.0	3.0	.64	.41	16.0	75.1	26.8	7.1	1.99	0.10	1.15	11.5	2.3
B _{21t}	35-82	12.5	8.0	.86	1.02	26.9	75.7	18.1	6.5	.82	0.05	0.47	9.4	1.5
B _{22t}	82-108	10.5	5.0	1.18	1.9	23.8	77.4	8.1	6.8	.34	0.02	0.19	9.5	1.8
BC	108-240	9.5	8.5	.94	1.8	26.0	79.7	10.0	6.7	.34	0.01	0.19	18.0	1.5

De acuerdo a la carta Edafológica del INEGI (S.P.P., 1983) la zona de estudio sólo presenta Andosoles y Cambisoles. Las propiedades físicas y químicas de los perfiles 11 y 14 permitieron ubicarlos como Luvisoles y los perfiles 12 y 13 como Andosoles.

5. Vegetación

Una vez identificadas las principales especies de plantas se agruparon en función de su hábito o porte vegetativo de la siguiente manera:

Estrato arbóreo

FAMILIA	GENERO	ESPECIE	NOMBRE COMUN
Convolvulaceae	<u>Ipomoea</u>	<u>Ipomoea muricoides</u>	Cazahuate
Ericaceae	<u>Arbutus</u>	<u>Arbutus xalapensis</u>	Madroño
Fagaceae	<u>Quercus</u>	<u>Quercus castanea</u>	Encino
Moraceae	<u>Ficus</u>	<u>Ficus carica</u>	Higuera
Pinaceae	<u>Pinus</u>	<u>Pinus leiophylla</u>	Pino
Rosaceae	<u>Prunus</u>	<u>Prunus armeniaca</u>	Chabacano
Rosaceae	<u>Prunus</u>	<u>Prunus domestica</u>	Ciruelo
Rosaceae	<u>Prunus</u>	<u>Prunus persica</u>	Durazno
Rosaceae	<u>Pyrus</u>	<u>Pyrus malus</u>	Manzano
Rosaceae	<u>Cydonia</u>	<u>Cydonia oblonga</u>	Membrillo
Rosaceae	<u>Pyrus</u>	<u>Pyrus communis</u>	Peral

Estrato arbustivo

FAMILIA	GENERO	ESPECIE	NOMBRE COMUN
Asteraceae	<u>Stevia</u>	<u>Stevia sp.</u>	Jarilla
Compositae	<u>Calea</u>	<u>Calea sp.</u>	
Compositae	<u>Eupatorium</u>	<u>Eupatorium collinum</u>	
Compositae	<u>Hymenostephium</u>	<u>Hymenostephium sp.</u>	
Compositae	<u>Verbesina</u>	<u>Verbesina virgata</u>	Romerito
Gramineae	<u>Rhynchelytrum</u>	<u>Rhynchelytrum roseum</u>	
Leguminosae	<u>Canavalia</u>	<u>Canavalia villosa</u>	Frijolillo
Leguminosae	<u>Dalea</u>	<u>Dalea lutea</u>	
Leguminosae	<u>Mimosa</u>	<u>Mimosa albida</u>	
Rosaceae	<u>Rubus</u>	<u>Rubus adenotrichus</u>	Zarzamora
Sapindaceae	<u>Dodonea</u>	<u>Dodonea viscosa</u>	Ocotillo

Estrato herbáceo

Compositae	<u>Bidens</u>	<u>Bidens odorata</u>	Rosilla
Compositae	<u>Dahlia</u>	<u>Dahlia sp.</u>	Dalia
Compositae	<u>Tagetes</u>	<u>Tagetes lunulata</u>	Jarilla
Compositae	<u>Tithonia</u>	<u>Tithonia tubiformis</u>	Achual
Caryophyllaceae	<u>Dianthus</u>	<u>Dianthus carvophyllus</u>	Clavel
Graminea	<u>Sporobolus</u>	<u>Sporobolus sp.</u>	Pasto
Graminea	<u>Zea</u>	<u>Zea mays</u>	Maz

FAMILIA	GENERO	ESPECIE	NOMBRE COMUN
Labiatae	<u>Salvia</u>	<u>Salvia polytachya</u>	Salvia
Labiatae	<u>Salvia</u>	<u>Salvia sp.</u>	
Labiatae	<u>Salvia</u>	<u>Salvia purpurea</u>	
Leguminosae	<u>Phaseolus</u>	<u>Phaseolus vulgaris</u>	Frijol
Malvaceae	<u>Anoda</u>	<u>Anoda cristata</u>	Amapolita dorada
Malvaceae	<u>Sida</u>	<u>Sida rhombifolia</u>	Malvisco
Scrophulariaceae	<u>Cestilleja</u>	<u>Cestilleja tenuiflora</u>	Cola de borrego
Scrophulariaceae	<u>Penstemon</u>	<u>Penstemon campanulatus</u>	Jarritos
Solanaceae	<u>Lycopersicon</u>	<u>Lycopersicon esculentum</u>	Jitomate
Solanaceae	<u>Physalis</u>	<u>Physalis peruviana</u>	Tomatillo
Solanaceae	<u>Physalis</u>	<u>Physalis oxycarpa</u>	Tomate de cáscara
Umbelliferae	<u>Eryngium</u>	<u>Eryngium monocephalum</u>	Hierba del sapo

6. Relación Suelo-Vegetación

Independientemente de la clasificación de uso del suelo que se mencionó al principio de este trabajo, para esta parte de los resultados se agrupó la vegetación en función del grado de alteración o manejo que el hombre le ha dado. Tales grupos de vegetación son los siguientes: a) Bosque de pino-encino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, b) Huerta de aguacatero, c) Huerta de frutales mixtos, d) Agricultura de temporal, e) Floricultura intensiva y f) Pastizal inducido.

a) Bosque de pino-encino con vegetación secundaria
arbustiva y herbácea

Dentro del área que comprende el estudio, la vegetación original arbórea se encuentra muy perturbada. Se observan árboles de pino y encino dispersos, con "claros" donde han extraído madera y actualmente se desarrolla vegetación secundaria arbustiva de las familias Compositae y Leguminosae y herbácea principalmente de la familia Gramineae. Fue notorio que había muy pocas plántulas de pino y de encino en los "claros" o cerca de los árboles. Lo anterior puede explicarse por el pastoreo extensivo que se practica en la zona y por la dominancia de arbustivas y herbáceas en dichos espacios abiertos, donde las plántulas de pino, principalmente, están en desventaja al competir con las angiospermas evolucionadas, no obstante sus escasos requerimientos nutricionales (Flores, 1966).

Los suelos donde se desarrolla este grupo de vegetación están representados por el perfil 14. Se observa que aunque esté alterada la vegetación arbórea, la arbustiva y herbácea contribuyen a mantener una cubierta vegetal continua que protege al suelo contra la erosión. Además las rizósferas de los tres estratos de vegetación, arbórea, arbustiva y herbácea, ocupan por zonas toda la profundidad del perfil. Contribuyen, por lo tanto, a la formación del suelo, mediante el aporte de materia orgánica, liberación de ácidos orgánicos, incremento de la porosidad y aireación, permiten la simbiosis con microorganismos, lo que significa mayor fijación de N_2 y disponibilidad de nitrógeno asimilable por las plantas, retención de humedad y otros que favorecen el intemperismo del perfil y la evolución del suelo (Duchaufour, 1984).

Todo lo anterior ha repercutido en un perfil bien desarrollado, que no presenta horizontes endurecidos y aunque no es un Luvisol típico, sí presenta procesos de pardificación que manifiestan diversos tonos de color pardo.

b) Huerta de aguacatero.

Las condiciones edáficas, climáticas y altitudinales de la zona de estudio son altamente favorables para el desarrollo del cultivo del aguacatero. Una proporción considerable de la superficie de dicha zona está cultivada con este frutal, principalmente de la variedad Hass. El porte de este pequeño árbol, la forma de la copa y la distancia entre plantas, 5 a 7 m, permiten "cerrar" prácticamente los espacios y por lo tanto proteger al suelo contra la erosión. Además debe de considerarse que en tales huertas comerciales e incluso huertos familiares se aplican fertilizantes y abonos orgánicos.

Tales condiciones ambientales en este grupo de vegetación y dichas formas de manejo contribuyen a favorecer la conservación y evolución del suelo. Estos suelos están representados tanto por el perfil 14 como el 12. En los suelos representados por el último perfil, si se cambia el uso del suelo, existe el riesgo de que éste se erosione por la presencia del tepetate. Al quitar la huerta y cultivar plantas de ciclo corto como maíz, se pierde la protección al suelo que el aguacate proporcionaba. Tal protección es contra el efecto de la lluvia, golpeteo, escorrentía, exposición al viento y lixiviación excesiva hacia la profundidad del perfil, movimiento de agua que al llegar al tepetate

produce drenaje lateral, con la consecuente desbasificación y pérdida de partículas minerales, lo cual conlleva a la erosión.

c) Huerta de frutales mixtos.

Es común en la zona de estudio el establecimiento de diversos frutales, ya sea a nivel de huerto familiar o de huerta comercial. Los principales frutales que se cultivan son: higo, durazno, pera, chabacano, ciruela, zarzamora y otros.

Estos huertos se encuentran en todos los suelos representados por los perfiles estudiados. Dado que dichos cultivos son perennes, el suelo siempre está cubierto, siendo beneficiado periódicamente con el aporte de abonos orgánicos. También es común la aplicación de fertilizantes químicos inorgánicos. Considerando que dichos frutales son arbustos o pequeños árboles, el laboreo es reducido, en algunos casos llegan a sembrarse cultivos de ciclo corto como maíz y frijol intercalados entre los frutales.

d) Agricultura de temporal.

Este grupo de vegetación está representada por los cultivos de ciclo corto como el maíz y frijol y en general cultivos de granos básicos y hortalizas. La zona de estudio se caracteriza por presentar geoformas de lomeríos y cañadas, de pendientes medias a fuertes. Con tales características, los suelos que se han incorporado a la agricultura están sujetos a fuertes problemas de erosión (Flores, 1986). En los suelos

representados por los perfiles 12 y 13, es decir con presencia de duripán, la incorporación a la actividad agrícola no solamente los expone a la erosión, sino al incremento del duripán. Es decir, el espesor del solum se reduce y el duripán se incrementa, hasta quedar, como en el perfil 13, 14 cm de suelo.

La actividad agrícola es sin duda, para la zona de estudio, la forma más efectiva de destruir el suelo, fundamentalmente por la falta de protección que favorece la erosión. Los altos niveles de precipitación propician escorrentías y formación de cárcavas con el consecuente arrastre de suelo y altos niveles de lixiviación de bases. Desgraciadamente la mayor superficie del área de estudio está dedicada a la agricultura de temporal

e) Floricultura intensiva.

Comprende este grupo de vegetación a los viveros para producción de plantas con flor o flor para corte. Tales viveros pueden ser a cielo abierto o con cubiertas de plástico, o bien en algunos casos, con estructura metálica y cristales. Asimismo, la siembra puede ser directa al suelo o en bote de plástico.

Nuevamente las condiciones ambientales, principalmente temperatura y humedad, propician el establecimiento de viveros en la zona de estudio. Generalmente en los viveros siempre se tiene "ocupado" el suelo, aunque sale planta, en corto tiempo es reemplazado

el lugar por otra. Asimismo, las prácticas de fertilización y abonamiento son comunes.

Los suelos con este grupo de vegetación generalmente son favorecidos en su manejo, que permite la explotación del recurso sin afectarlo.

f) Pastizal inducido.

Este tipo de pastizal es la consecuencia de cuando se corta la vegetación original y se propicia el desarrollo de diversas especies de gramíneas, de escaso porte y poco valor nutritivo. El perfil representativo de este grupo de vegetación es el 13 y representa una etapa muy avanzada de degradación del suelo. Originalmente estaba la vegetación de pino-encino con suelo profundo. Al cortar la vegetación arbórea e incorporar los suelos a la agricultura de temporal, se inicia la degradación de los suelos, la cual continúa hasta alcanzar los niveles observados en el área del perfil 13, donde actualmente sólo existe este pastizal y en partes totalmente erosionadas, ha desaparecido el suelo y sólo queda el tepetate.

VII. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

1. Se realizó la caracterización morfológica de cuatro perfiles tipo. Dichos perfiles son representativos de la zona de estudio. Dos de ellos presentan duripán (tepetate), uno tiene fragipán y el último no presenta horizontes endurecidos.
2. El análisis morfogenético permitió detectar dos perfiles bien desarrollados evolutivamente, con horizontes de acumulación y dos con horizontes A-Cqm (no evolucionado).
3. Mediante la determinación de las principales propiedades físicas y químicas fue posible detectar los materiales que dieron origen a estos suelos y los procesos de formación que están actuando. Asimismo, estimar el nivel de degradación.
4. Con el conocimiento de las propiedades físicas y químicas se clasificaron los suelos taxonómicamente. Dos perfiles se ubican en la Unidad Luvisols (FAO-UNESCO, 1989) y Grandes Grupos Fragiudalf y Hapludalfs (Soil Survey Staff, 1990). Los otros dos perfiles en la Unidad Andosols y Gran Grupo Durudans respectivamente.
5. El estudio de la vegetación permitió conocer las principales especies que existen en la zona y reunir las en grupos de vegetación dados por

las características ambientales, suelo y clima principalmente, y por la perturbación y el manejo que el hombre ha dado.

6. El análisis de la relación suelo-vegetación señaló la interdependencia de un recurso con el otro en cada grupo de vegetación establecido y cómo el hombre ha influido determinantemente en la degradación de dichos recursos.

VIII. LITERATURA CITADA

- ACEVES, G.M. 1971.** Suelos de Ando, Anuario de Geografía, Fac. de Filosofía y Letras, U.N.A.M. Año XI. pp. 195-201.
- AGUILERA, H.N. 1964.** Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soils in Mexico. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Centro de Enseñanza e Investigación. Inst. Interamericano de Ciencias y Agricultura de la O.E.A. Turrialba, Costa Rica. p. 12.
- AGUILERA, H.N. 1965.** Suelos de Ando. Génesis, morfología y clasificación. Serie de Investigación No. 6, E.N.A. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. p. 12.
- AGUILERA, H.N. 1989.** Tratado de Edafología de México. Tomo I. Ed. por la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de México. México, D.F. p. 222.
- ALVAREZ, V.H. 1982.** Efecto de los factores calidad, intensidad y calidad amortiguadora de fósforo en la evolución de fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Edo. de Michoacán. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. Tesis Doctoral.
- AVILA, H.M. 1963.** Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, Méx., con plantaciones forestales. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- BESOAIN, E. 1969.** Mineralogía de las arcillas de los suelos de cenizas volcánicas de América Latina. Centro de Enseñanza e Investigación, Inst. Interam. de Cienc. Agr. de la O.E.A. Turrialba, Costa Rica.
- BIRREL, K.S. 1964.** Some properties of volcanic ash. Soil report of

meeting on the clasification and correlation on soils from volcanic ash. World soils resource report No. 14, F.A.O. Rome.

BLACK, C.A. 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA, pp. 899-900.

BOUYOUCOS, G.J. 1963. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soil Sci.* 42:25-30.

BRAMBILA, M. 1940. The tepetate soils of Mexico. Proc. of The sixth pacific science congress. Univ. of California Press. Berkeley, Cal. 4:869.

BRAY, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:34-45.

BUCHANAN, F. 1807. A journey from Madras Throught the countries of Mysore, Canara and Malabar. Vol. 2:436-460. East India Co., London.

BOUL, S.W., HOLE, F.D. y McCRECKEN, R.J., 1981. Génesis y clasificación de suelos. Ed. Trillas. p. 417.

CAJUSTE, L.J. y CRUZ, D.J. 1986. Presencia de materiales amorfos en algunos tepetates de la zona de influencia, Chapingo. Primer Simposio Nacional sobre el uso y manejo de tepetates para el desarrollo rural. UACH. Dpto. de Suelos. Chapingo, México. pp. 70-77.

CERVANTES, B.J.F. 1983. Génesis, morfología y clasificación de los suelos de la cuenta de México. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias, U.N.A.M. p. 441.

DUCHAUFOR, Ph. 1984. Edafología: parte 1, Edafogénesis y

clasificación. Barcelona, Masson, S.A. p. 434.

ETCHEVERS, B.J.D., LOPEZ, R.R.M., ZEBROWSKI, C. y PEÑA, H.D. 1991. Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y Tlaxcala. Primer Simposio Internacional de Suelos volcánicos endurecidos. Terra. Vol. 10 número especial (1992). pp. 171-177. Montecillo, Estado de México.

FAO-UNESCO, 1989. Mapa Mundial de Suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

FIGUEROA, S.B. 1975. Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.

FITZPATRICK, E.A. 1984. Suelos, su formación, clasificación y distribución. CECSA. México. p. 430.

FLACH, K.W., NETTLETON, W.D., GILE, L.H. y CADY, J.G. 1969. Pedocementation: Induration by Silica, carbonates and sesquioxides in the quaternary. Soil Science, Vol. 107 No. 6:442-453.

FLORES, R.D. 1966. Síntomas por deficiencia mineral en pinus patula schl. et Cham. y pinus montezumae Lamb. Tesis Licenciatura, Fac. de Ciencias, U.N.A.M. p. 49.

FLORES, R.D. 1986. Breve análisis sobre la agricultura de temporal en México. Foro: Panorama de la Agricultura Mexicana, Reflexiones, Preguntas, Respuestas. Instituto de Geografía, U.N.A.M. pp. 85-93.

FLORES, R.D., ALCALA, M.R.J., GONZALEZ, V.A. y GAMA, C.J.E. 1991. Los tepetates. Revista de Geografía. Vol. III No. 4:37-42. México, D.F.

- FLORES, R.D., ALCALA, M.R.J., GONZALEZ, V.A. y GAMA, C.J.E. 1992 (1993). Suelos con fragipán de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo. El caso del noreste del estado de Morelos, México. *Revista del Inst. de Geología*. Vol. 10, No. 2. pp. 151-163, U.N.A.M. México, D.F.
- FRIES, C. Jr. 1965. Hoja Cuernavaca 14 Q-h (8). Carta Geológica, México: Inst. de Geología, U.N.A.M. Serie 1:100 000.
- GAMA, C.J.E. 1985. Taxonomía de suelos. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, U.N.A.M. México, D.F. p. 155.
- GARCIA, E.A. 1961. Estudio de los suelos tepetatosos y las posibilidades de recuperación agrícola. Tesis Licenciatura, E.N.A. Chapingo. México.
- GARCIA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana), Inst. de Geografía, U.N.A.M. México, D.F. p. 246.
- GARCIA, O.J. 1979. Estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas en el transecto de Ixhuatlán del Café a Amatlán de los Reyes, estado de Veracruz. Tesis Licenciatura, Fac. de Ciencias, U.N.A.M. México D.F.
- GROSSMAN, R.B., y CARLISLE, F.J. 1969. Fragipan soils of the eastern United States. *Advance of Agron.* 21:237-279.
- HERNANDEZ, X.E. 1987. Etnobotánica de Tlaxcala. Primer Simposio Nacional sobre el uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Dpto. de Suelos. Chapingo, México. pp. 1-8.
- HIDALGO, C.M.I. 1986. Determinación de la densidad aparente en suelos de Ando. *Terra* 4:3-9.

- JACKSON, M.L. 1970.** Análisis químico de suelos. Ed. Omega. Barcelona, España. p. 662.
- JOHNSON, G.E.L. 1970.** Morfogénesis y clasificación de algunos perfiles derivados de cenizas volcánicas del Pico de Orizaba, Puebla, Veracruz. Tesis profesional, Fac. de Ciencias, U.N.A.M.
- LAMPLUG, G.W. 1907.** The geology of the Zambezi Basin around the Batoks George (Rhodesia). Geol. Soc. London Quart.
- MORENO, D.R. 1970.** Cuadro de clasificaciones tentativas, Inst. Nac. de Invest. Agrics. Dpto. de Suelos. p. 5.
- MUNSELL.** Soil Color Chart, 1975. Edition Munsell Color Company, Inc. Maryland, U.S.A.
- NIMLOS, T.J. 1986.** La nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. Primer Simposio Nacional sobre el uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Dpto. de Suelos. Chapingo, México. pp. 10-16.
- NIMLOS, T.J. 1989.** The density and strength of Mexican tepetate (Duric materials). Soil Science. Vol. 147, No. 1:23-27.
- NIMLOS, T.J. y ORTIZ, S.C. 1987.** Tepetate: The rock mat. J. Soil Water Conserv. 42(2):83-86.
- OLEA, F.J. 1978.** Estudio Edáfico de suelos derivados de cenizas volcánicas y algunas series de los mismos, del transecto Poxtla Chauaxtla, estado de Veracruz. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, U.N.A.M. México, D.F.
- PACHECO, L.M.C. 1979.** Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del oriente del Valle de México. Tesis de Licenciatura. UACH. Chapingo, México.

- PACHECO, L.M.C. y ESTRADA, B.W. 1986. Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del Valle de México. Primer Simposio Nacional sobre el uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Chapingo, México. pp. 31-36.
- PEÑA, H.D. y ZEBROWSKI, C. 1991. Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Primer Simposio Internacional de suelos volcánicos endurecidos. Terra. Vol. 10 número especial (1992). pp. 151-155. Montecillo, Edo. de México.
- PRAT, Chy. y QUANTIN, P. 1991. Origen y génesis del tepetate, horizonte endurecido de suelos volcánicos de la región Centro-Pacífico de Nicaragua. Primer Simposio Internacional de suelos volcánicos endurecidos. Terra. Vol. 10 número especial (1992). pp. 267-282.
- REY, C.J.A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. p. 145.
- ROJAS, R.T. y SANCHEZ, W.T. 1985. Historia de la Agricultura en época prehispánica. Siglo XVI. Colección biblioteca del INAH, Inst. Nac. de Antrop. e Hist. México, D.F.
- RUIZ, F.J.F. 1986. Prólogo. Primer Simposio Nacional sobre el uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Dpto. de Suelos. p.v. Chapingo, México.
- RZEDOWSKI, J. 1978. La vegetación de México. Ed. Limusa, México, D.F. p. 432.
- SANCHEZ, J.M., RUIZ, F.J.F., CUAUTLE, F.E. 1986. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero. Primer Simposio Nacional sobre el uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Chapingo, México. pp. 50-67.

SECRETARIA DE GOBERNACION Y GOBIERNO DEL ESTADO DE MORELOS. 1988. Los municipios de Morelos. Colección Enciclopédica de los municipios de México.

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1981. Síntesis Geográfica del estado de Morelos. Inst. Nac. de Geog. e Inform. México, D.F.

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1983. Carta Edafológica Cautla E14 B51. Inst. Nac. de Geog. e Inform. México, D.F.

SOIL SURVEY STAFF. 1960. Soil Clasification. A Comprehensive Sistem, 7th Aproximation, U.S. Govt. Print. Office. Washington, D.C.

SOIL SURVEY STAFF. 1967. Suplement to Soil Clasification System. Soil Conservation Service. U.S.D.A.

SOIL SURVEY STAFF. 1973. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. U.S.D.A., S.C.S., Waschington. D.C.

SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to soil Taxonomy, S.M.S.S., Technical Monograph No. 19 fourth Ed. p. 422.

SYS, C. 1967. The concept of ferralitic and fersiallitic soils in Central Africa. Pedologie 17:284:325.

TRUEBA, C.A. 1979. Reincorporación de terrenos degradados a la producción. S.A.R.H. Dir. Gral. de Conserv. del suelo y agua. México, D.F.

TRUEBA, C.A. 1980. Tepetate and soil erosión in the valley of Mexico.

A paper to be submitted the journal of soil and Water Conservation.
p. 10.

- VALDEZ, M.L.A. 1970.** Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la cuenca de México. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. p. 190.
- VALERA, P.M.A. 1993.** Físicoquímica y mineralogía de Andosoles de la región de Teziutlan, estado de Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias (Edafología), Fac. de Ciencias, U.N.A.M. p. 295.
- VALLEJO, G.E. 1968.** Algunos estudios de los perfiles de suelos de Ando de la parte noroeste del Popocatepetl, estado de Morelos, México. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, U.N.A.M. México, D.F.
- VAZQUEZ, A.A. y BAUTISTA, A.N. 1993.** Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Univ. Autón. de Chapingo, Dpto. de Suelos. p. 29.
- WALKLEY, A.L. y BLACK, A. 1947.** Rapid determination of soils organic matter. Jour. Agric. Sci., 25:598-63-68.
- WILLIAMS, B.J. 1972.** Tepetate in Valley of Mexico. Annals of the assn. of Am. Geog. 62 (3):618-623.
- WOOLNOUGH, W.G. 1927.** The duricrust of Australia. Royal Soc. New South Wales J. and proc. 61:24-53.
- ZEBROWSKI, C. 1991.** Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. Primer Simposio Internacional de suelos endurecidos. Terra. Vol. 10 número especial (1992) pp. 7-3
Montecillo, Edo. de México.