



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESTUDIO EDAFOLÓGICO DE LA ZONA SUR
DE LA SIERRA DE GUADALUPE,
DISTRITO FEDERAL-EDO. DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTOR EN CIENCIAS (*BIOLOGÍA*)
P R E S E N T A :
GILBERTO VELA CORREA

DIRECTOR DE TESIS
DR. DAVID FLORES ROMÁN

MÉXICO, D. F.

junio, 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a todos mis seres queridos,
por ser lo más importante en mi vida,
ya que sin su apoyo no hubiera podido concluir esta meta*

*A mi mamá: **Lucila***

*Mis hermanos: **Martha, Alfonso y Juan Manuel***

*Mis sobrinos: **David Rafael y Lucila Arianna***

*Especialmente por todo su apoyo y cariño a: **Lulú***

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente a la Facultad de Ciencias, por darme la oportunidad de continuar y concluir los estudios de doctorado.

Al Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM, por las facilidades proporcionadas para el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. David Flores Román por su tiempo, amistad, apoyo, paciencia y excelente dirección para la realización de este trabajo.

En recuerdo al Maestro Hemérito Nicolás Aguilera Herrera[†], por haber tenido la fortuna de ser su alumno y por ser ejemplo de dedicación y profesionalismo de la investigación en suelos.

A los miembros del H. Jurado, integrado por: Dra. Norma Eugenia García Calderón, Dr. David Flores Román, Dr. Jorge E. Gama Castro, Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval, Dr. Fernando De León González, Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo y el Dr. Luis Silva Mora. Gracias a todos por sus valiosos comentarios y sobresalientes aportaciones.

A los Doctores Jorge López Blanco, Christina Siebe Grabach, Rosa I. Trejo Vázquez, Jorge E. Gama Castro y José López García, por formar parte del grupo de Sinodales durante el Examen Pre-doctoral.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por la beca otorgada para la realización de los estudios de doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado al proyecto Sep-*CONACYT* No. 26294-B. Edafogénesis y Alternativas de Rehabilitación y Conservación de la Zona Sur de la Sierra de Guadalupe, Distrito Federal-Edo. de México.

A la M. C. Margarita Reyes Salas y la M. C. Patricia Altuzar Coello, por las determinaciones y fotografías en el microscopio electrónico de barrido, así como por el análisis mineralógico mediante difracción de rayos X.

Al Ing. Héctor Alfredo Legorreta Cuevas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por las pruebas de resistencia a la compresión simple.

A todo el personal académico, técnico y administrativo, que facilitó mi desempeño en el Instituto de Geología de la UNAM.

A los compañeros *tepetatosos* del laboratorio de Fertilidad de Suelos Alma S. Velázquez Rodríguez, Silvia Martha Herrera Rodríguez, Elisa Pimentel, Humberto Núñez Cardona, Aleida García Cruz, Jessica I. Díaz Avelar, Tania Izquierdo Castro, Carla Muñiz Irigoyen, Judith Estrada Brena, Yoatzin Reygadas Langarica y Tania A. Vargas González.

Al personal de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) particularmente a la Dirección de Sierra de Guadalupe, por todas las facilidades brindadas para llevar a cabo el trabajo de campo, especialmente a los Ingenieros Aarón Mastache Mondragón, Carlos Mendoza y Manuel Machen.

A la Cofradía de los Oxisoles, conformada por el Ing. Rodolfo del Arenal Capetillo, el Dr. Víctor Malpica Cruz, la M. C. Lourdes Rodríguez Gamiño, la Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo, el Biol. Humberto Núñez Cardona, el Biol. Rene Alcalá Martínez y el Dr. David Flores Román, por todos aquellos momentos de esparcimiento y “cultura” compartidos, pero sobre todo por la amistad que existe entre sus cofrades y de la cual soy honrosamente integrante.

A los estudiantes y tesistas del Laboratorio de Edafología de la UAM-X. Lourdes Rodríguez Gamiño, Héctor Monsalvo Castillo, Cintia M. Leyva, Ofelia Beltrán Paz, Bruno Chávez Vergara, Alma García Cornejo, Blanca Vázquez Martínez, Alejandro Pérez García, Pedro Montes Cruz y Marina Ferreira.

A mis compañeros y amigos del Departamento El Hombre y su Ambiente de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco: Aurora Chimal, Nuri Trigo, José Arévalo, Áurea Gutiérrez, María Teresa Núñez, María de Jesús Ferrrara, Juan Manuel y Martha Chávez, Lidia Hernández, Jesús Sánchez, Gilberto Binqvist, Jordán Golubov, Iván Roldán, Francisco Romero, Alejandro Meléndez, Facundo Rivera, Javier Almeida, Samuel Marañón y David Martínez.

Al Prof. Jaime Díaz Morales, el Lic. Daniel Balanzario Díaz y el Arq. Luis Sánchez de Carmona, por su confianza y amistad.

Y por último a mis amigos y colegas de la Asociación Nacional de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Autónoma Metropolitana, Asociación Civil (ANIA), particularmente a: Eduardo Rosas Pérez, Lourdes Rodríguez Gamiño, Eduardo Cornejo y Antonio Dávila por ser los fundadores de este valioso proyecto.

INDICE

RESUMEN

<i>Capítulo 1. Introducción.</i>	1
<i>Capítulo 2. Revisión de literatura.</i>	5
<i>Capítulo 3. Objetivos.</i>	15
<i>Capítulo 4. Caracterización fisiográfica de la zona en estudio</i>	17
4.1. Ubicación.	17
4.2. Superficie y Límites.	18
4.3. Vías de Comunicación	20
4.4. Geología.	22
4.5. Litología.	23
4.6. Relieve.	24
4.7. Geomorfología.	24
4.8. Clima.	25
4.8.1. Temperatura.	26
4.8.2. Precipitación.	27
4.8.3. Granizadas y Nevadas	27
4.8.4. Vientos.	28
4.8.5. Heladas.	28
4.9. Suelos	29
4.10. Vegetación.	29
4.11. Fauna.	31
<i>Capítulo 5. Metodología.</i>	33
5.1. Revisión y Recopilación de Información.	33
5.2. Trabajo en Campo.	33
5.3. Trabajo en Laboratorio.	34
5.4. Análisis de Resultados.	35
<i>Capítulo 6. Resultados y Discusión.</i>	41
6.1. Perfil P-1a. Los Gachupines.	41
6.1.1. Características Morfológicas.	41
6.1.2. Propiedades Físicas del Suelo	43
6.1.3. Propiedades Químicas del Suelo	46
6.2. Perfil P-2. Vicente Guerrero.	47
6.2.1. Características Morfológicas.	47
6.2.2. Propiedades Físicas del Suelo	49
6.2.3. Propiedades Químicas del Suelo	53

6.3. Perfil 4a. Zacatenco.	54
6.3.1. Características Morfológicas.	54
6.3.2. Propiedades Físicas del Suelo	55
6.3.3. Propiedades Químicas del Suelo	59
6.4. Perfil 6. El Chiquihuite.	60
6.4.1. Características Morfológicas.	60
6.4.2. Propiedades Físicas del Suelo	62
6.4.3. Propiedades Químicas del Suelo	65
6.5. Perfil 7. El Panal.	66
6.5.1. Características Morfológicas.	66
6.5.2. Propiedades Físicas del Suelo	68
6.5.3. Propiedades Químicas del Suelo	71
6.6. Perfil 8. El Tenayo	72
6.6.1. Características Morfológicas.	72
6.6.2. Propiedades Físicas del Suelo	73
6.6.3. Propiedades Químicas del Suelo	75
6.7. Perfil 10. Las Caballerizas.	76
6.7.1. Características Morfológicas.	76
6.7.2. Propiedades Físicas del Suelo	79
6.7.3. Propiedades Químicas del Suelo	82
6.8. Perfil 15. El Fraile.	83
6.8.1. Características Morfológicas.	83
6.8.2. Propiedades Físicas del Suelo	85
6.8.3. Propiedades Químicas del Suelo	88
6.9. Perfil 16. Moctezuma.	89
6.9.1. Características Morfológicas.	89
6.9.2. Propiedades Físicas del Suelo	91
6.9.3. Propiedades Químicas del Suelo	95
6.10. Perfil 20. Tlalpexco.	96
6.10.1. Características Morfológicas.	96
6.10.2. Propiedades Físicas del Suelo	98
6.10.3. Propiedades Químicas del Suelo	101
6.11. Perfil 22. La Paloma.	102
6.11.1. Características Morfológicas.	102
6.11.2. Propiedades Físicas del Suelo	103
6.11.3. Propiedades Químicas del Suelo	107

6.12. Análisis de las Capas Endurecidas de los Suelos.	108
6.13. Propiedades Mineralógicas de los Suelos.	112
6.14. Intemperismo de los Suelos.	115
6.14.1. P-1. Los Gachupines.	115
6.14.2. P-2. Vicente Guerrero.	116
6.14.3. Perfil 4a. Zacatenco.	117
6.14.4. Perfil 10. Las Caballerizas.	118
6.14.5. Perfil 15. El Fraile	120
6.14.6. Perfil 16. Moctezuma	121
6.14.7. Perfil 20. Tlalpexco.	123
6.14.8. Perfil 22. La Paloma.	124
6.15. Génesis de los Suelos.	126
6.16. Clasificación y Distribución de Unidades de Suelos.	134
Capítulo 7. Conclusiones	137
Capítulo 8. Alternativas de Conservación de Suelos.	141
Capítulo 9. Literatura Citada.	143
ANEXO 1. Fotografías de la Sierra de Guadalupe	
ANEXO 2. Descripciones Morfológicas de Suelos	
ANEXO 3. Resultados de los Análisis de Suelos	

ESTUDIO EDAFOLÓGICO DE LA ZONA SUR DE LA SIERRA DE GUADALUPE, DISTRITO FEDERAL-EDO. DE MÉXICO

RESUMEN

El estudio de los suelos involucra el conocimiento de su morfología y de los factores y procesos que les dieron origen, igualmente es de vital importancia conocer su clasificación y su distribución cartográfica. En la actualidad el suelo se considera como un recurso natural fundamental para la humanidad, resultando obvios su importancia y el estudio del conocimiento científico que se desarrolle en él, ya que es necesario conocer más sobre este recurso, porque directa o indirectamente la mayoría de los otros recursos emanan o derivan de éste.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar los principales procesos de intemperismo edafogénico, que han influido en la formación de los suelos de la zona sur de la Sierra de Guadalupe a partir de 1) determinar las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos; 2) identificar los principales minerales formados y acumulados como resultado de los procesos de formación en los suelos; 3) plantear hipótesis, sobre los principales procesos pedogenéticos que se han presentado durante la formación de estos suelos; 4) conocer el estado de desarrollo en que se encuentran los suelos del área; 5) clasificar los suelos con base en Word Reference Base 1999; y 6) plantear alternativas, para la conservación y manejo de los suelos.

Los suelos de la Sierra, varían de someros a moderadamente profundos; con texturas finas; ligeramente alcalinos a neutros; presentan una baja capacidad de intercambio catiónico y un contenido de materia orgánica medio. Se consideran poco evolucionados ya que predominan los óxidos de silicio sobre los de Al_2O_3 y Fe_2O_3 . y su secuencia de formación es A/R y A/C aunque en algunos casos pueden llegar a presentarse horizontes Bt. Los minerales de la fracción fina fueron: esmectita, caolinita con un predominio de haloisita, la cual se considera producto de la hidrólisis del vidrio volcánico, mientras que las esmectitas se reportaron solo en los suelos donde las condiciones de drenaje no son eficientes y propiciaron la formación de haloisita a montmorillonita. Los suelos manifiestan procesos incipientes de formación *in situ* pero prevalecen los de origen *coluvial* debido a las fuertes pendientes y a los diferentes tipos de material parental que se encuentran en la Sierra, por lo que pueden encontrarse suelos sobre materiales piroclásticos con propiedades dúricas y frágicas, así como suelos sobre lecho rocoso formado por andesitas y basaltos. Resultando a su vez muy compleja su distribución espacial por la intercalación de dichos materiales, sin embargo predominan las asociaciones formadas por Leptosoles líticos + Phaeozems háplicos y Phaeozems háplicos + Leptosoles líticos.

ABSTRACT

The study of soils involves the knowledge of their morphological, as well as of the factors and processes that gave rise to soils; equally it is of vital importance to know classification and the cartographic distribution of these. At present soil is considered as a fundamental natural resource for the humanity, resulting obvious his importance and the study of the scientific knowledge that is developed in it, since all we need to know more on this resource, because direct or indirectly most of the others resources emanate or derive from it.

For the foregoing, the objective of this work was to determine the principal elements processes of edafic weathering, that they have influenced the training of soils of the south zone of the Sierra de Guadalupe as of 1) to determine the morphologies, physical and chemical properties of soils; 2) to identify the principal mineral that they have been formed and accumulated during the training processes in soils; 3) to outline hypothesis, on the principal processes pedogenetic that they have been presented during the training of these soils; 4) to know the development state in which are found soils in the area; 5) to classify soils based on Word Reference Base 1999; and 6) to outline alternative, for the conservation and management of soils.

The soils are shallow to moderately deep; with fine textures; they are of slightly alkaline to neutral; to present a decrease cationic exchange capacity and an middle organic matter content. They are considered little evolutionated soils, since prevail the SiO_2 oxides on those of Al_2O_3 and Fe_2O_3 . and generally their training sequence is A/R and A/C though in some instances they can to present a horizon Bt. The secondary minerals in the fine fraction were: esmectite, kaolinite and halloysite, prevailing this last, the one which is considered product of the weathering of the volcanic glass, while esmectitas were reported alone in soils where the drainage conditions are not efficient and sponsored the development of halloysite to montmorillonitic. The soils express training processes in situ but prevail those of coluvial origin due to the fort slopes and from the different types of material parental that are found in the Sierra, therefore they can be found soils on material piroclastic with duric and fragic properties, as well as soils on rocky bed formed by andesit and basalt. Result at the same time very complex its spatial distribution by be intercalated said material, though prevail the associations formed by Litic-leptosol + Haplic-phaeozems and Haplic-phaeozems + Litic-leptosol.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El estudio de los suelos involucra el conocimiento de su morfología, así como de los factores y procesos que les dieron origen, igualmente es de vital importancia conocer su clasificación y la distribución espacial de éstos (Buol *et al.*, 1981; Bockeim *et al.*, 2005). El recurso suelo reviste gran importancia, ya que de él derivan actividades humanas como la agricultura y la ganadería, el establecimiento de núcleos de población, de zonas industriales y otras actividades (Flores *et al.*, 1981). En la actualidad el suelo se considera como un recurso natural fundamental para la humanidad, resultando obvios su importancia y el estudio del conocimiento científico que se desarrolle en él, ya que todos necesitamos conocer más sobre este recurso, porque directa o indirectamente la mayoría de los otros recursos emanan o derivan de éste (Bridges y Van Baren, 1997).

El suelo, es un medio propicio para el crecimiento de las plantas y a su vez es considerado como un cuerpo natural independiente, en donde existe un intercambio continuo de información, materia y energía al estar compuesto por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que actúan en su superficie, ocupan su espacio y que a su vez se caracteriza por la presencia de capas llamadas horizontes que son distinguibles del material original (Soil Survey Staff, 1999; Bockeim *et al.*, 2005). Así la intemperización de los minerales primarios, la liberación de sus elementos y las posibles re combinaciones para formar nuevos constituyentes, se conoce como génesis de suelos e incluye los procesos que se producen durante o después del intemperismo relacionados con la morfología, arreglo y su redistribución en horizontes de los constituyentes del suelo (Birkeland, 1990; De Rondón y Elizalde, 1994).

Los suelos están inscritos en la zona de contacto de la atmósfera y la superficie de la corteza terrestre; en consecuencia, su desarrollo deriva de las interacciones entre éstas, en el tiempo y en el espacio (Malagón, 2003). Por lo que, la formación de los suelos inicia con el rompimiento del material parental y los procesos de intemperismo y pedogénesis son altamente interactivos. Tales

procesos no son fáciles de examinar ya que son mecanismos bastante complejos que incluyen tanto reacciones complicadas como redistribuciones relativamente simples de la materia, que afectan íntimamente al suelo en el que se producen (Buol *et al.*, 1981; Bockeim *et al.*, 2005).

Debido a que la formación del suelo es un proceso muy lento, que requiere miles y hasta millones de años y como eso supera con mucho la vida de cualquier humano, resulta imposible hacer afirmaciones categóricas acerca de las diversas etapas del desarrollo de los suelos. No todos los suelos se han desarrollado durante la misma longitud de tiempo, algunos horizontes se diferencian antes que otros, en especial aquellos de la superficie, que en unas cuantas décadas pueden formar depósitos no consolidados, mientras que los horizontes intermedios se diferencian con mayor lentitud, en especial cuando se requiere para ello de una cantidad considerable de traslocación o intemperización, necesiándose para algunos de 4,000 a 5,000 años ó periodos aún más largos (FitzPatrick, 1993; Jahn y Stahr, 1996; Kendrick y McFadden, 1996).

Lamentablemente, el desconocimiento, la falta de interés y de recursos económicos, han propiciado, que en algunas ocasiones se hayan ejecutado diversas acciones sin considerar los procesos de formación y las características físicas y químicas de los suelos, por lo que se han elaborado programas con datos generados hace más de 20 años, por lo que la información ya no es vigente y en muchos de los casos, no se ajusta a las necesidades actuales. Afortunadamente, hoy en día, los estudios de edafogénesis han cobrado mucha importancia, en virtud de que al suelo se le considera en los diversos programas de conservación de los recursos naturales, ya que se trata de un recurso no renovable, por lo que su degradación acarrea graves consecuencias económicas, sociales y ambientales (Vela y Flores, 2000).

Es importante hacer notar que la Sierra de Guadalupe, constituye el último reducto de extensión considerable de recursos naturales y áreas cubiertas de vegetación al norte de la Ciudad de México. La cual forma una barrera natural contra la contaminación y degradación del ambiente, ya que interrumpe áreas con usos urbanos, industriales, explotación de minerales y zonas deforestadas. Además

de que por sus características morfológicas, geológicas y ecológicas la convierten en una de las reservas bióticas más importantes del Valle de México.

El aumento demográfico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, principalmente debido a la migración campo-ciudad, ha traído como consecuencia varios problemas que afectan principalmente a las áreas agrícolas y boscosas que aún existen en el Distrito Federal. Actualmente se ha perdido el 99% del área lacustre, el 73% de los bosques y el 71% de los suelos se encuentran en avanzado proceso de degradación (Enciclopedia de México, 1985). Igualmente ha habido una disminución de los sistemas naturales que permiten la recreación al aire libre, la educación científica, la captación y purificación del agua, la generación del aire, la prevención de tolvaneras, el reciclamiento de nutrimentos y la reserva de la vida silvestre, reflejándose esto en una baja calidad de vida de los habitantes (DDF., 1988).

La Sierra de Guadalupe es un complejo de origen volcánico, que forma parte del Área de Conservación Ecológica de la Ciudad de México, la cual está sujeta a un gran deterioro, por el cambio de uso del suelo, debido a que los suelos forestales se han convertido en terrenos agrícolas y en el peor de los casos se han ocupado por asentamientos humanos irregulares, siendo éstos evidentes en la mayoría de sus laderas, que se encuentran casi totalmente urbanizadas. Lamentablemente, el desconocimiento, la falta de interés y de recursos económicos, con anterioridad han propiciado, que en algunas ocasiones se hayan ejecutado diversas acciones sin considerar los procesos de formación y las características físicas y químicas de los suelos donde varios de los programas que se han llevado a cabo, se elaboraron con datos generados hace más de 15 años, por lo que la información no es vigente y en muchos de los casos ya no se ajusta a las necesidades actuales (BID-BANOBRAS, 1992).

Se estima, que en los últimos años la Sierra de Guadalupe se ha deteriorado en forma acelerada como resultado del crecimiento de la mancha urbana y la inexistencia de un plan de manejo de los recursos naturales remanentes. El crecimiento de la mancha urbana se manifiesta por el surgimiento desordenado de los asentamientos humanos en las partes limítrofes, e incluso, en el interior del área, los cuales incluyen tanto asentamientos irregulares, como otros autorizados.

En conjunto, se propicia un crecimiento súbito de las demandas de servicios urbanos difíciles de satisfacer, por las restricciones que establece su ubicación geográfica y topográfica; vandalismo y delincuencia que daña a la población y la infraestructura urbana, así como la continuación de los intentos por invadir nuevas áreas para uso habitacional (ISA, 1999).

Es importante indicar que con la información generada en este trabajo y de otros estudios recientes, se puede ayudar en la elaboración de propuestas que permitan la restauración y conservación de esta zona que se encuentra altamente alterada, más aún si se trata de una de las escasas áreas verdes existentes al norte de la Ciudad de México (Vela y Flores, 2004a).

Capítulo 2

REVISIÓN DE LITERATURA

En la actualidad el suelo se considera como un recurso natural fundamental para la humanidad, resultando obvias su importancia y estudio científico que se desarrolle en él, ya que directa o indirectamente la mayoría de los otros recursos emanan o derivan éste, al igual que las actividades humanas como la agricultura y la ganadería, el establecimiento de núcleos de población, zonas industriales y otras (Flores *et al.*, 1991; Bridges y Van Baren, 1997).

Por otra parte, el suelo, es un medio propicio para el crecimiento de las plantas y a su vez es considerado como un cuerpo natural independiente, en donde existe un intercambio continuo de información, materia y energía al estar compuesto por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que actúan en su superficie, ocupan su espacio y que a su vez se caracteriza por la presencia de capas llamadas horizontes que son distinguibles del material original (Aguilera, 1969; Hardy, 1970; Ortíz y Cuanalo, 1981; Soil Survey Staff, 1999; Bockeim *et al.*, 2005). Por lo anterior, el estudio de los suelos involucra el conocimiento de su morfología, así como de los factores y procesos que les dieron origen, igualmente es de vital importancia conocer su clasificación y la distribución cartográfica de éstos (Buol *et al.*, 1981; Bockeim *et al.*, 2005).

El Soil Survey Staff (1999), define al suelo como *"el término colectivo de cuerpos naturales, formados a partir de materiales minerales y orgánicos, que cubren mucha de la superficie terrestre, que contienen materia viva y que pueden soportar vegetación en forma natural, y en algunos lugares han sido transformados por la actividad humana. El límite superior del suelo es el aire o agua poco profunda. Sus límites horizontales están donde cambia a aguas profundas o a áreas estériles de roca o hielo. El límite inferior que separa al suelo del no-suelo subyacente es el más difícil de definir. El suelo consiste en horizontes cercanos a la superficie terrestre, los cuales en contraste con el material rocoso subyacente, han sido alterados a través del tiempo, por las interacciones entre clima, relieve, materiales parentales y organismos vivientes. En los lugares donde contiene horizontes delgados cementados, que son impermeables a las raíces, el suelo se considera tan profundo como este horizonte cementado. Lo más común es que el suelo cambie en su límite inferior a roca dura o materiales terrestres desprovistos de animales, raíces o de señales de actividad biológica. De esta*

manera, el límite inferior del suelo es normalmente el límite de la actividad biológica, la cual en general coincide con la profundidad común de las raíces de las plantas perennes nativas. Aunque si la actividad biológica o los procesos pedogenéticos actuales se extienden a profundidades mayores de 200 cm, el límite inferior del suelo que se clasifica se establece a 200 cm".

El estudio de la intemperización de los minerales primarios, la liberación de sus elementos, así como las posibles re combinaciones para formar nuevos constituyentes, se conoce como génesis de suelos e incluye los procesos que se producen durante o después de la intemperización, relacionados con la morfología, arreglo y su redistribución en horizontes de los constituyentes del suelo (Birkeland, 1990; De Rondón y Elizalde, 1994).

Buol *et al.* (1981), señalaron que la edafogénesis, es aquella parte de la ciencia del suelo (algunas veces edafología, cuando se combina con la clasificación) que trata de los factores y procesos de formación del suelo. Incluye la descripción e interpretación de perfiles de suelo, los cuerpos y patrones de suelos en la superficie terrestre. Bockeim *et al.* (2005), consideran que un factor de formación de suelos es un agente, una fuerza, una condición, una relación o una combinación de ellos, que afecta, ha afectado o puede influir en un material original del suelo, con potencial para cambiarlo.

A principios de este siglo, los científicos rusos propusieron que la formación del suelo era resultado de la acción del clima y la materia viva sobre materiales parentales (rocas o fracciones de rocas), en un relieve dado y en un período de tiempo (Ortiz, 1987).

En realidad, las bases firmes de la génesis de suelos fueron sentadas por V.V. Dokuchaev, a fines del siglo XIX, quien desarrolló métodos científicos para el estudio de los suelos recalando la importancia de los factores ambientales y litológicos en la formación de los mismos (Fanning y Fanning, 1989). Las ideas de Dokuchaev fueron retomadas por numerosos científicos, alcanzando una amplia validez. A pesar de ello, en los Estados Unidos, dominó un análisis cimentado en la morfología de los suelos, destacando las características morfogenéticas como rasgos críticos en la formación de los suelos. De esta manera en este país se creó toda una escuela orientada a la morfología de suelos, la cual derivó en clasificaciones morfogenéticas que han alcanzado gran relevancia, pero que han soslayado la importancia de otros factores dentro de la génesis de los suelos.

Jenny (1941), consideró que los factores principales en la formación de los suelos eran la roca madre; clima; organismos; relieve y tiempo. Si se expresa

cualquiera de esas características por la letra S , entonces S es una función de esos 5 factores y se tendrá:

$$S = f(P, C, O, R, T)$$

Por lo que se considera que el suelo está en función del clima, organismos, relieve y material parental, todos actuando a un mismo tiempo (Bockeim *et al.* 2005). La génesis del suelo se efectúa en 4 etapas principales que son: 1) formación de materiales por meteorización y lixiviación de la roca madre; 2) descomposición de residuos vegetales; 3) incorporación de los productos de descomposición en el material mineral de origen; y 4) diferenciación del perfil del suelo en horizontes (Hardy, 1970). Estos factores formadores controlan el tipo y la intensidad de los procesos edafogénicos, al tiempo que gobiernan también los procesos geomorfológicos; de ahí que la evolución del paisaje esté relacionada íntimamente con el desarrollo de los suelos (Ortiz *et al.*, 2000).

Considerando lo anterior, el número de posibles sucesos pedogenéticos y las combinaciones entre ellos es enorme, por lo que éstas nunca se conocerán de modo completo, debido a que algunas características de los suelos son efímeras y otras son duraderas, ya que la pedogénesis es un proceso que depende de los factores ya mencionados (Simón *et al.*, 2000).

El rompimiento del material parental y la formación del suelo son procesos complejos de intemperismo y pedogénesis altamente interactivos y no tan fáciles de examinar (Darmony *et al.*, 2004).

Básicamente las rocas parentales de donde se originan los suelos, se clasifican en 3 grandes grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. La mayor parte de la superficie terrestre está formada por rocas ígneas que resultan del enfriamiento y solidificación de las masas fundidas de lava o magma. Si el enfriamiento ocurre en forma lenta y dentro de la corteza terrestre, se originan las rocas llamadas plutónicas o intrusivas; en estas condiciones la cristalización es lenta y se forman cristales grandes, lo que da por resultado una textura gruesa granular.

En el caso de que las rocas se solidifiquen sobre la corteza terrestre, el enfriamiento es rápido y resultan cristales muy pequeños; estas rocas se denominan extrusivas, efusivas o volcánicas. Las rocas hipabisales ocupan una posición intermedia entre las anteriores, ya que por formarse a una velocidad media presentan cristales grandes y pequeños (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Los minerales primarios que constituyen las rocas, incluyen solamente diez de importancia en la formación del suelo, que son: cuarzo SiO_2 , ortoclasa $\text{K(AlSi}_3\text{O}_8)$; plagioclasa (feldespato de sodio, calcio y labradorita); micas como la muscovita $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ y la biotita $\text{K(Mg,Fe)}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$; anfíboles como la hornblenda; augita $\text{Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)}_2\text{O}_6$ o piroxenos; olivino MgFeSiO_4 ; magnetita $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ y apatita $\text{Ca}_5(\text{F,Cl})(\text{PO}_4)_3$ (Wade y Mattox, 1976; Aguilera 1989 y Nieuwenhuys *et al.*, 2000).

La fracción mineral de los suelos procede de la transformación de la roca madre, que sufre un doble proceso: 1) la disgregación física-mecánica, sin modificación química de los minerales y 2) la alteración química, que provoca una transformación de los minerales primarios, dando origen a los minerales secundarios (principalmente arcillas), que en conjunto constituyen el complejo de alteración. El índice de alteración de un suelo permite conocer la proporción de minerales secundarios que constituyen el complejo de alteración, con relación al conjunto de los minerales (primarios y secundarios) que existen en el suelo: este índice es más elevado cuanto más evolucionado es el suelo (Duchaufour, 1984; Birkeland, 1997).

Desde un punto de vista objetivo, puede ser el clima el más influyente de los factores. En primer lugar determina la naturaleza del intemperismo que se produce. La temperatura y la precipitación ejercen profundas influencias en las tasas de los procesos químicos y físicos. Estos procesos son a su vez, los medios esenciales según los cuales el desarrollo del perfil se ha efectuado. Por consiguiente, si poseen la oportunidad necesaria, las influencias climáticas tienden a dominar en el cuadro de la formación del suelo. Los factores climáticos participan en el crecimiento y multiplicación de organismos, incluyendo plantas verdes (Hardy, 1970; Buckman, 1981; Birkeland, 1997).

La desintegración física y a la transformación química de la roca o material parental y del propio suelo se le conoce como intemperismo (Birkeland, 1997). El término alteración solo denota los cambios y transformaciones químicas y bioquímicas, tanto de la roca como de los minerales presentes en los diferentes horizontes del suelo, así como en la fracción orgánica de los mismos.

El clima es, en ocasiones, determinante de la intensidad y velocidad de las transformaciones de rocas y suelos, así como de las características de los productos resultantes (Buol, *et al.*, 1981; Birkeland, 1997). El intemperismo físico predomina en los lugares con climas secos, subpolares y polares, consiste en la ruptura y disgregación de las rocas y partículas minerales en partículas de menor tamaño

como son las arenas y limos gruesos. Los agentes más comunes que propician este tipo de intemperismo son los cambios bruscos de temperatura, la presión de las raíces de las plantas sobre las rocas, el congelamiento y expansión del agua en las fisuras y grietas de las rocas, la erosión y el crecimiento de cristales de sales depositadas en las rocas (Birkeland, 1997; Gama *et al.*, 1998).

El intemperismo químico es típico de lugares donde el clima es caliente húmedo y templado húmedo, incluye la disgregación y ruptura de rocas y minerales generada por la actividad química, principalmente debida a la presencia de agua y elementos atmosféricos. Este tipo de intemperismo produce nuevos componentes minerales. La actividad química (alteración) puede presentar dos aspectos el geoquímico y el edafoquímico.

El intemperismo geoquímico, está caracterizado por la alteración de los minerales primarios, que permiten la eliminación progresiva de cationes básicos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ y de la sílice, que es casi tan móvil como los anteriores. Mientras que los óxidos de hierro y aluminio se acumulan permaneciendo casi en su totalidad. En medios muy lixiviantes, la alteración es prácticamente total, mientras que en medios semiconfinados, con menor lixiviación (clima templado), la sílice y la alúmina se recombinan para formar arcillas.

El intemperismo geoquímico se manifiesta bajo dos circunstancias: 1). Sin presencia de suelo o “tiempo cero”, donde su acción es directa sobre el material o roca que al descomponerse formará, a través del tiempo suelo; y 2) Con presencia de suelo, donde se manifiesta en el subsuelo, principalmente en los horizontes C y R. Convencionalmente, se considera que la alteración geoquímica predomina después de los primeros metros de profundidad, o antes si existe una limitante lítica o paralítica. En este ámbito, las reacciones de oxidación y reducción son de mucha importancia. Sin embargo, la alteración geoquímica incluye también otras reacciones importantes como la hidratación, hidrólisis, disolución y carbonatación (Buol *et al.*, 1981; Gama *et al.*, 1998; Birkeland, 1997).

El intemperismo edafogénico, tiene lugar en el momento en que la alteración geoquímica, a través de sus reacciones, actúa sobre la roca o depósito inicial, constituyendo un “protosuelo” (material o roca intemperizada que se considera como un precursor del suelo). La alteración edafoquímica continúa con la desintegración y modificación química de los minerales primarios, hasta constituir minerales secundarios. Se caracteriza porque sólo se produce en el interior del suelo, principalmente en los horizontes A y B.

Es importante indicar que las reacciones químicas del suelo, en presencia de agua, duplican su intensidad. También es conveniente mencionar que ambos procesos, geoquímico y edafquímico, siguen actuando durante toda la evolución del suelo. En ocasiones, los procesos geoquímicos interactúan con los procesos edafquímicos y diagenéticos, resultando difícil establecer una división dinámica entre ellos.

La cubierta vegetativa actúa sobre una región dada como modificadora de las influencias climáticas (Brady, 1977). La vegetación actúa como una variable dependiente o independiente en los procesos de formación de los suelos. Como una variable independiente cuando contribuye con materia orgánica al suelo y al ciclo de los nutrientes. Ya que la disponibilidad de elementos liberados por la intemperización determina el ciclo de nutrientes y la economía del ecosistema. Después de que una formación vegetal se ha establecido y alcanzado su clímax, en equilibrio con los otros factores del ambiente, suministra continuamente residuos orgánicos tales como hojas, ramas, flores y frutos que al descomponerse son incorporados al material mineral del suelo, tomando así parte en las primeras etapas esenciales de la génesis del suelo (Hardy, 1970; Campos *et al.*, 2001).

Por otra parte, si se considera a la vegetación como una variable dependiente, el clima es el principal controlador de las formaciones vegetales principalmente por la precipitación y la temperatura. Las relaciones entre estos factores es tan estrecha, que en ausencia de datos meteorológicos reales, la presencia de clases específicas de vegetación puede servir como indicadora del clima. Las características particulares de la vegetación empleadas en el diagnóstico del clima son las que se aprecian en el perfil, o sea la fisonomía de la vegetación (Hardy, 1970).

El relieve se define generalmente como la configuración o conformación del terreno, de acuerdo con las elevaciones, las depresiones y otras desigualdades de la superficie del terreno y se manifiesta en diversas formas de tierras. Las maneras en que actúa en la formación del suelo son dos: en el control de la erosión geológica y en el control de las relaciones de agua en el suelo; por ejemplo, contenido de humedad del perfil y profundidad de la capa freática. La primera función es geológica y la segunda, hidrológica (Hardy, 1970).

Las propiedades del suelo relacionadas con el relieve son: la profundidad del suelo; grosor y contenido de materia orgánica del horizonte A; régimen de humedad; color del perfil; grado de diferenciación de los horizontes; reacción del suelo; contenido de sales solubles; clase y grado de desarrollo de los estratos

endurecidos; temperatura y carácter del material parental (Buol *et al.*, 1981; León, 1992).

El relieve tiene efectos indirectos sobre el clima y la hidrología. La altitud tiene una relación importante con la temperatura. Por cada 1000 m de altitud corresponde un decremento en la temperatura de aproximadamente 6°C. El efecto orográfico frecuentemente causa un incremento en la distribución de la precipitación, lo que origina una zonificación altitudinal de los suelos (Nieuwenhuysen *et al.*, 2000).

Las variaciones de aspecto y elevación influyen en la distribución de la energía, el agua pluvial, los nutrientes de las plantas. La manipulación del clima por el relieve se puede observar con facilidad en la vegetación de las laderas de cara norte y en las de cara sur. Por otra parte, el relieve antes de la formación del suelo y durante ella está relacionado con la naturaleza del material inicial de suelos (Buol *et al.*, 1981).

El relieve cambia con el tiempo. Por ende, la edad del suelo se determina en gran parte por la estabilidad de la superficie. La erosión del suelo se analiza frecuentemente con la inferencia de que es perjudicial por los efectos del acarreo (agua y viento) de materiales del suelo. El papel del relieve se puede considerar como un factor real para el desarrollo del suelo. Sin embargo, el papel exacto que desempeña es difícil de evaluar ya que funciona de manera diferente bajo varias situaciones ambientales (Buol *et al.*, 1981 y Birkeland, 1997).

La formación del suelo es un proceso muy lento que requiere miles y hasta millones de años y como eso supera con mucho la vida de cualquier humano, resulta imposible hacer afirmaciones categóricas acerca de las diversas etapas del desarrollo de los suelos (Nieuwenhuysen *et al.*, 2000). No todos los suelos se han desarrollado durante la misma longitud de tiempo, algunos horizontes se diferencian antes que otros, en especial aquellos de la superficie, que en unas cuantas décadas pueden formar depósitos no consolidados. Los horizontes intermedios se diferencian con mayor lentitud, en especial cuando se requiere para ello de una cantidad considerable de traslocación o intemperización, necesitándose para algunos de 4,000 a 5,000 años ó periodos aún más largos. El intenso intemperismo de la roca para formar un Ferralsol¹ puede requerir más de 1'000,000 de años, como el cambio de un Regosol eútrico a un Luvisol húmico (FitzPatrick, 1993; Alexandrovskiy, 2000).

¹ Ferralsols.- De la palabra latina *ferrum* = hierro y aluminio; connotativa de un elevado contenido de sesquióxidos.

El tiempo que los materiales han estado sometidos a las fuerzas de intemperismo juega un papel significativo en la formación de los suelos. Se puede considerar el tiempo, al igual que el espacio, como un continuo y, sin embargo, reconocer un tiempo "cero" para un suelo dado (Buol *et al.*, 1981; Shoji, *et al.* 1993; Alexandrovskiy, 2000). El tiempo considerado como un factor de formación de suelos es en realidad una variable independiente, ya que no está influenciado por ningún otro de los factores ambientales. El tiempo es difícil de evaluar con exactitud como un factor de formación de suelos (Nieuwenhuys *et al.*, 2000).

Jahn y Stahr, (1996), en su estudio sobre la evolución de las características de sitio en el tiempo, mencionaron que un volcán al momento puede arrojar una gran cantidad de materiales piroclásticos y cenizas de espesor variable, formando Regosoles que a su vez son fácilmente intemperizables debido a la gran cantidad de vidrio volcánico presente en este tipo de materiales, lo que aunado a las condiciones climáticas dan origen a los Andosoles. Este proceso se lleva a cabo durante un periodo de al menos 5,000 años. Si tomamos como base que la acumulación de la materia orgánica tiene su máximo durante su estadio como Andosol (>10 kg/m²). También hay un incremento en la formación de óxidos de hierro (Regosol>Andosol>Luvisol) el cual es limitado en su etapa como Andosol, pero es alto en la etapa de Luvisol.

La evolución de Andosoles con un elevado contenido de material cristalino fino hasta presentar iluviación de arcillas en regiones húmedas, puede darse en un rango de tiempo de 18,000 a 150,000 años (Torn *et al.*, 1997). Sin embargo en México que Andosoles ricos en alofanos, se aceleró el proceso de transformación a un integrado Andosol-Luvisol debido a las oscilaciones climáticas que se presentaron durante el Cuaternario, por lo que se estima que esta transformación puede darse en un periodo menor a 10,000 años (Sedov *et al.*, 2003).

Muchos de los pre-suelos formados al tiempo "cero", son Entisoles por definición de Soil Taxonomy (1999). La relación entre suelo y tiempo se puede analizar: 1). Investigando el estado de descomposición de las rocas; 2). Observando el estado de desarrollo de los perfiles del suelo; 3). Por estimación de la velocidad de formación por unidad de profundidad del suelo o de sus horizontes; 4). Determinando la edad geológica de las formas del terreno, relieve o superficie donde se forma el suelo y 5). Utilizando fechas absolutas, mediante el uso de carbón radiactivo (Hardy 1970; Shoji *et al.*, 1993).

Un proceso de formación de suelos es un complejo o una secuencia de sucesos que incluyen tanto reacciones complicadas como redistribuciones

relativamente simples de la materia, que afectan íntimamente al suelo en el que se producen. El número de posibles sucesos edafogénicos y las combinaciones e interacciones entre ellos es enorme aunque los principales son: eluviación e iluviación, lixiviación, enriquecimiento, erosión superficial, apilamiento, descalcificación, desalinización, salinización, edafoperturbación y melanización entre muchos otros (De Rondón y Elizalde, 1994).

Kendrick y McFadden (1996), indicaron que entre las características que tienden a cambiar con el tiempo en los suelos más desarrollados son la rubificación, la profundidad del suelo, la presencia de horizontes argílicos y el contenido de óxidos de hierro. El desarrollo de horizontes del perfil cuyas características y dimensiones difieren en los suelos de origen y edad diferentes depende de la acción de 4 procesos especiales que son: 1) adiciones; 2) substracciones o remociones; 3) transferencias o redistribuciones y 4) transformaciones.

En Europa, la ciencia del suelo recibió un gran impulso a raíz de la Segunda Guerra Mundial, por la necesidad de producir más alimentos. Así, cada país, destacando Francia, Inglaterra y Alemania, propuso sus propias clasificaciones, con un carácter eminentemente localista. Por fortuna estas clasificaciones y estudios fueron seguidos por investigaciones más sólidas, emergiendo nuevas corrientes en la Edafología. Entre los conceptos más notables se encuentran los desarrollados en Alemania por Luig y Kübierna, en Francia por Duchaufour, en Bélgica por Duval y en Inglaterra por FitzPatrick.

En la actualidad, los estudios de edafogénesis han cobrado mucha importancia, en virtud de que al suelo se le considere de manera más apropiada en los diversos programas de conservación y manejo de los recursos naturales, ya que se trata de un recurso no renovable, por lo que su degradación acarrea graves consecuencias económicas, sociales y ambientales. Situación que con anterioridad ha propiciado, que en algunas ocasiones se hayan ejecutado diversas acciones sin considerar los procesos de formación y las características físicas y químicas de los suelos.

Tal es el caso de la Sierra de Guadalupe, donde varios de los programas que se han llevado a cabo se elaboraron con datos generados hace más de 30 años, por lo que la información no es vigente y en muchos de los casos ya no se ajusta a las necesidades actuales. Lamentablemente la Sierra sufre el impacto de incendios, destrucción de la vegetación original, así como la extracción de piedra y tierra. Además de que una de las principales causas del deterioro de la zona, es el cambio

de uso del suelo, ya que siendo suelos forestales se han convertido en terrenos agrícolas. Otra situación que se presenta es el establecimiento de asentamientos humanos irregulares, siendo evidentes en las laderas del parque, que han sido ocupadas por la población aledaña a ellas (Gobierno del Edo. de México, 2001; Vela y Flores, 2004).

Capítulo 3

OBJETIVOS

3.1. Objetivo General.

- Determinar las características y propiedades de los suelos, así como los principales procesos de intemperismo edafogénico que han influido en su formación, desarrollo y distribución en la zona sur de la Sierra de Guadalupe.

3.2. Objetivos Específicos:

- 1) Determinar las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos;
- 2) Identificar los minerales que se han formado y acumulado durante los procesos de formación en los suelos;
- 3) Plantear hipótesis, sobre los principales procesos pedogenéticos que se han presentado durante la formación de estos suelos;
- 4) Conocer el estado de desarrollo en que se encuentran los suelos del área;
- 5) Clasificar los suelos de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo; y
- 6) Plantear alternativas, para la conservación y manejo de los suelos.

Capítulo 4

CARACTERIZACIÓN FISIOGRAFICA DE LA ZONA EN ESTUDIO

4.1. Ubicación. La Sierra de Guadalupe, constituye un complejo volcánico con una altitud máxima de 3,050 msnm mientras que la base de sus laderas se encuentra a los 2,250 msnm, localizándose en el interior de la Cuenca de México, formando una especie de centróide. Se localiza al norte de la Ciudad de México, en los paralelos 19°37' y 19°29' de latitud Norte y los meridianos 99°12' y 99°02' al Oeste de Greenwich en los límites entre el Distrito Federal y el Estado de México (Figura 4.1).

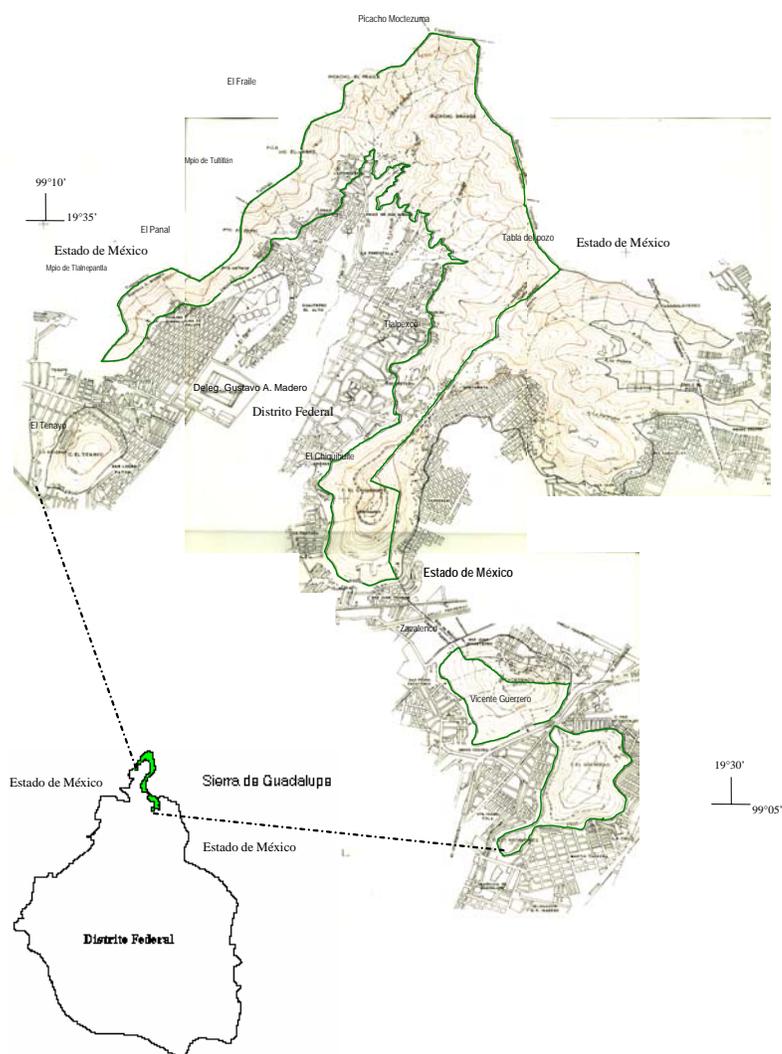


Figura 4.1. Localización de la Zona en Estudio

4.2. Superficie y Límites. La superficie de la Sierra que pertenece al Distrito Federal son 1,305.28 ha y al Estado de México 7,326.36 ha. Para el desarrollo de esta investigación, se consideró tomar como límite inferior la cota de los 2,300 msnm o en algunos zonas el límite físico es el creado por la construcción del “muro ecológico” que separa la zona urbana del Parque Nacional El Tepeyac y el cerro El Tenayo.

Mientras que en la parte central de la Sierra la conocida como Cuauhtepac, se tomó como límite inferior la cota de los 2,400 msnm que es generalmente el límite con el área urbana, aunque en algunas áreas esta ya sobrepasa la altitud de esta cota. Es conveniente destacar que no todo el Suelo de conservación está delimitado con el “muro ecológico”, ya que existen partes donde este no se ha construido aún, particularmente en el área del Estado de México (Figura 4.2).

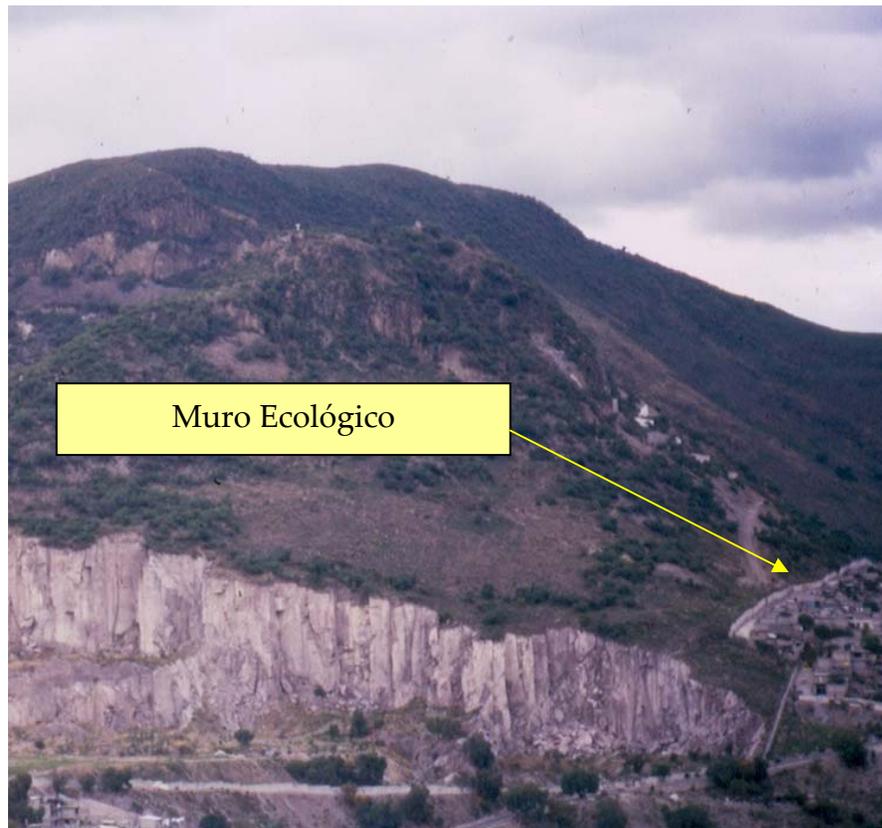


Figura 4.2. El muro ecológico en la Colonia Lucas Patoni

El límite superior de la zona en estudio está formado por el parteaguas de las siguientes elevaciones: Puerto "El Panal", Puerto "El Metate", Picacho Tlacomulco, Moctezuma el Jaral, el Fraile y Grande; los cerros Tlalayotes y Cuanahuatpec; al este limita con el área urbana de San Pedro Xalostoc y Piedra Grande en el

Municipio de Ecatepec y al oeste con las colonias la Soledad, San Lucas Patoni y el cerro "El Tenayo" en el Municipio de Tlalnepantla, Estado de México.

La superficie urbanizada que se encuentra dentro de la zona en estudio abarca una área de 367.48 ha. Mientras que la zona sujeta a conservación ecológica en el Distrito Federal son 1,428.85 ha y por parte del Estado de México 933.69 ha que en conjunto suman 2,362.64 ha. En la Tabla 4.1. Se presenta la superficie por entidad federativa.

Tabla 4.1. Superficie de la zona en estudio

Entidad Federativa	Categoría de Uso de Suelo	Superficie (ha)
Distrito Federal	Suelo de Conservación	1,165.44
	Parque Nacional El Tepeyac	263.41
	Zona Urbana	120.20
	S U M A	1,549.05
Estado de México	Parque Estatal	933.69
	Zona Urbana	247.28
	S U M A	1,180.97
T O T A L		2,730.02

Por lo que la superficie en estudio corresponde el 92% a un uso forestal y el 8% a suelo urbano, de estas 2,364.64 ha son forestales. La superficie total de estudio son 2,730.02 ha de las cuales el 57% corresponden a la delegación Gustavo A. Madero en el Distrito Federal y el 43% restante a los municipios de Tlalnepantla y Ecatepec de Morelos en el Estado de México, como lo muestra la Figura 4.3.

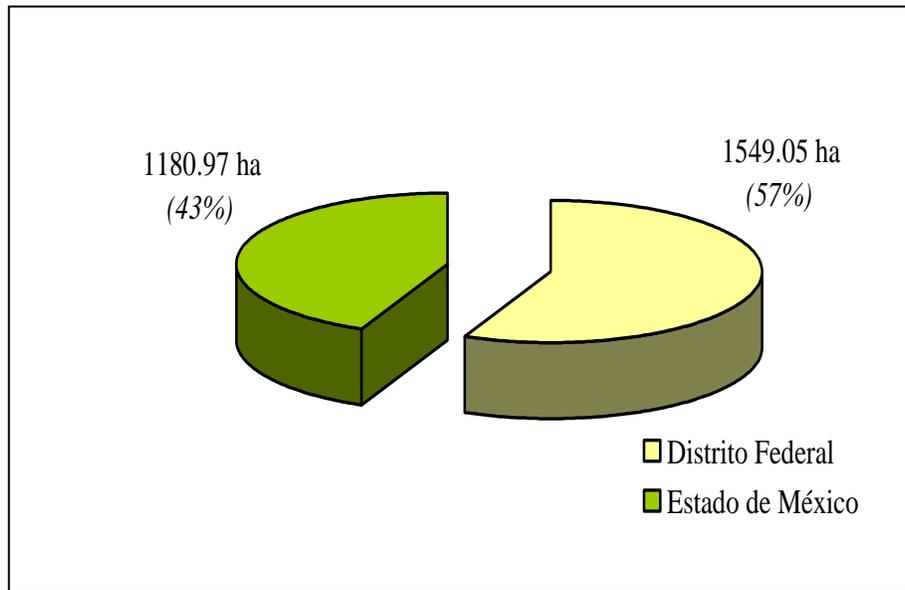


Figura 4.3. Superficie de estudio por entidad federativa

4.3. Vías de Comunicación. Las principales vías de comunicación son: la avenida Insurgentes Norte en su entronque con la avenida Acueducto de Guadalupe, rumbo al Parque Nacional El Tepeyac. Para la zona de Puerto Metate, al oeste de la sierra, se puede acceder por la colonia Compositores Mexicanos, específicamente por la calle Blanca Estela Pavón, donde inicia un camino de terracería en buen estado que atraviesa por su parte más alta la zona en estudio.

Los cerros Vicente Guerrero y Gachupines tienen su principal acceso por la Av. Insurgentes Norte continuando por la Av. Acueducto Oriente y posteriormente subir por la Av. de las Torres. El cerro Zacatenco su principal vía de acceso es por la Av. Insurgentes Norte y Av. Acueducto Poniente. El cerro del Chiquihuite su principal vía de acceso es por la Av. Insurgentes Norte, continuando por la Av. Acueducto Poniente, Av. Guadalupe y Av. La Presa en el Estado de México.

Hacia el interior de la zona decretada como Suelo de Conservación, es a partir de la construcción de un muro de concreto de 2.50 m de altura que limita el área urbana de la zona de conservación y que los habitantes de la zona conocen como el **Muro Ecológico**. Además, se cerraron varios de los accesos que se tenían a la Sierra, quedando actualmente 46 puertas de entrada, de las cuales 32 se encuentran en lo que es propiamente la Sierra, 5 en el cerro del Chiquihuite, 7 en los cerros Vicente Guerrero y Gachupines y 2 en el cerro de Zacatenco (Figura 4.4). Dentro del área existen gran cantidad de caminos y veredas que son transitables casi todo el año y a veces durante la temporada de lluvias (ISA, 1999).

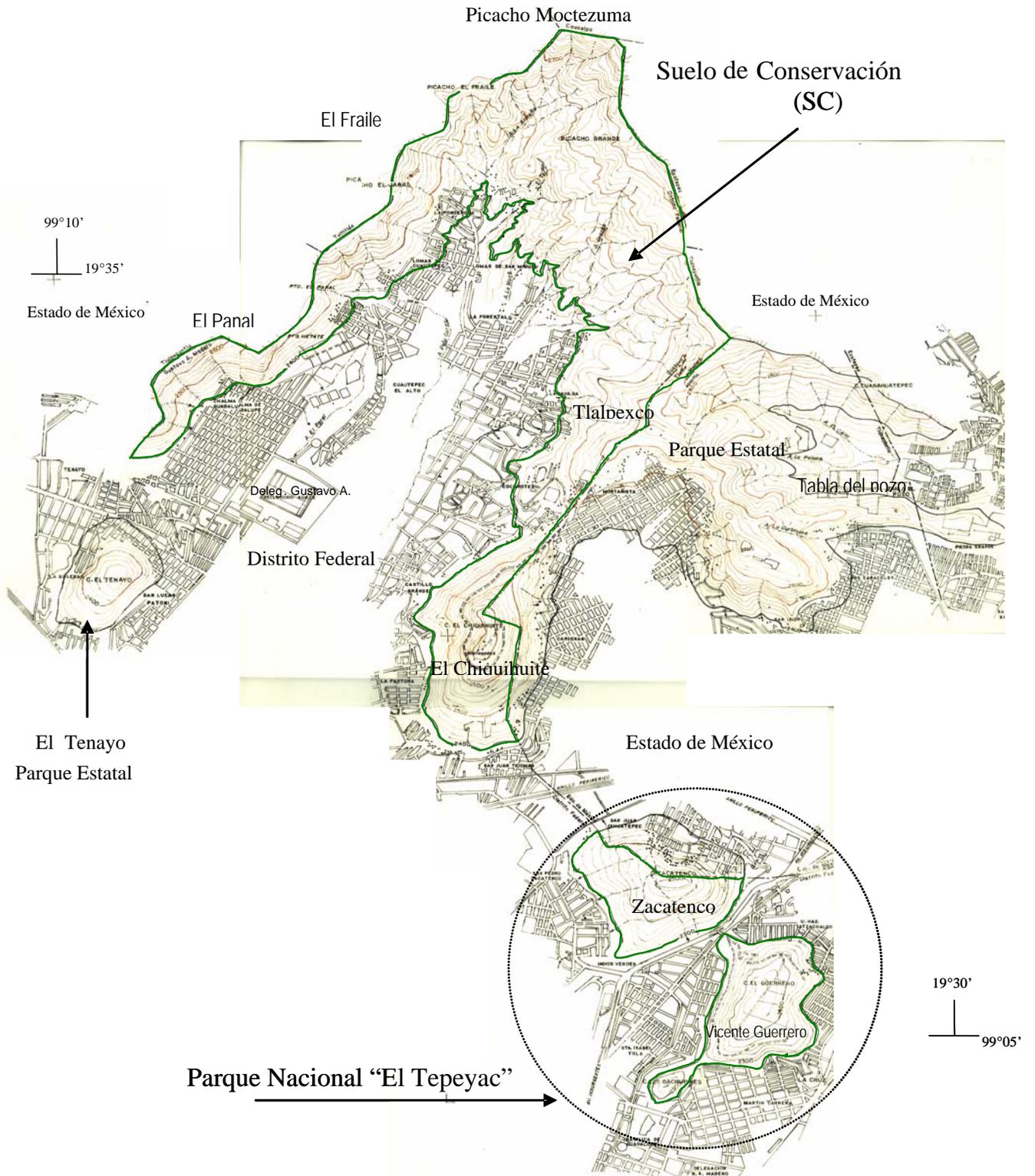


Figura 4.4. Categorización de la Sierra de Guadalupe

4.4. Geología. La Cuenca de México es una altiplanicie lacustre a 2,240 msnm rodeada de montañas. Mooser (1977), propuso una actividad en siete fases que formaron la cuenca, las cuales se describen a continuación.

En la *primera* de fines del Cretácico al Eoceno, se plegaron los sedimentos que constituyen la base. En la *segunda fase* en el Oligoceno medio, surgen los primeros complejos volcánicos al norte de la cuenca, con lavas de composición intermedia y ácida con abundantes tobas e ignimbritas. La *tercera fase* corresponde al Oligoceno tardío, cuando surgen las estructuras dacíticas como el Peñón de los Baños, los cerros Tigre y Zacatenco, este último hace 16 millones de años. La *cuarta fase* fue en el Mioceno y se originó el complejo principal de la Sierra de Guadalupe, que se caracteriza por lavas intermedias y ácidas. Se formaron grandes domos dacíticos, como los cerros Tenayo, Chiquihuite y Tepeyac, entre otros. La *quinta fase* se inicia a fines del Mioceno y es cuando se forman las sierras mayores, las cuales fijan los límites de la cuenca al poniente y al oriente; a estas pertenecen las Sierras de Las Cruces, Río Frío y Nevada, constituidas por lavas andesíticas y dacíticas con estructura porfirítica. Este vulcanismo domina en el Terciario tardío y perdura hasta el Cuaternario.

La Sierra de Guadalupe se formó esencialmente de dos tipos de actividad volcánica. Una donde los procesos explosivos fueron de gran intensidad y representan las etapas iniciales de los edificios mayores, los cuales culminaron con procesos extrusivos. El otro tipo de derrames de lava (procesos efusivos) son escasos y de corta extensión.

Los volcanes principales de la Sierra de Guadalupe son de tipo compuesto, originados por poderosas erupciones explosivas, que culminaron con la actividad extrusiva y efusiva. Ejemplo de ello son los volcanes Vicente Guerrero, Zacatenco, Jaral, María Auxiliadora, Los Díaz, Tres Padres y Moctezuma; otras elevaciones menores se formaron casi exclusivamente por la actividad extrusiva, y es el caso de los domos volcánicos que están en la periferia de la sierra (Gordo, Chiquihuite, Tenayo y Tepeyac).

Lozano (1968), reportó los fechamientos de dos rocas de la sierra en Barrientos y en la Fosa de Cuauhtepac del orden de 14-15 millones de años, correspondiente al Mioceno, determinados por K-Ar. En el mapa geológico de la Cuenca de México, Mosser en 1975 le atribuye una edad del Mioceno temprano.

Posteriormente Mosser *et al.*, (1990) con base en un conocimiento mejor del subsuelo de la cuenca, la consideran del Plioceno en su mayor parte, especificando una edad Oligocénico-Miocénica para la zona de Barrientos y Pliocénica al oriente

de ésta. Con base en los mismos autores, siguió la formación de la Caldera de Cuauhtepac (Plioceno temprano) y posteriormente, la fosa del mismo nombre. Asociados a ésta, los volcanes compuestos y domos volcánicos de la periferia meridional: Tepeyac, Guerrero y Chiquihuite. En el núcleo de la sierra, se aprecia un mayor grado de fractura, intemperismo avanzado, hidrotermalismo, presencia de diques con orientación casi E-W , escarpes de falla, una mayor concentración de corrientes fluviales y anomalías morfométricas (Lugo y Salinas, 1996).

La Sierra de Guadalupe antiguamente estaba rodeada en su base por el Lago de Texcoco, sepultando el piedemonte, por lo que actualmente sólo pueden observarse las laderas montañosas de la sierra, la planicie lacustre y sólo en algunas áreas un piedemonte estrecho.

4.5. Litología. La Sierra de Guadalupe se une al occidente con la Sierra de Las Cruces y de Monte Alto a través de algunas elevaciones. Entre estas hay diferencias petrológicas que hacen referencia a que la Sierra de Las Cruces y Monte Alto se encuentran constituidas por andesitas y traqueandesitas hasta los límites con la Sierra de Guadalupe, particularmente en la zona de Barrientos, donde predominan las andesitas de hornblenda; mientras que más al oriente, en lo que es propiamente la Sierra de Guadalupe, dominan las dacitas y andesitas. Estas andesitas se caracterizan por tener un alto contenido de sílice, frecuentemente con feldespatos (Ordoñez, 1985).

Campa (1965), reporta que las rocas que conforman la Sierra son principalmente andesitas, y en cantidades menores riolitas y dacitas. Por su parte Lozano (1968), considera que predominan las andesitas, lo que incluye brechas, porfidos y vitrófidos. Básicamente, en su mayor parte predominan las lavas, por la actividad volcánica de tipo dómico, que se caracteriza por estar acompañada de fuertes explosiones y nubes ardientes que producen estructuras homogéneas masivas de lava y por la acción de los procesos denudativos que han removido los materiales menos resistentes del tipo de los piroclastos.

Lugo y Salinas, (1996) reportan diversos materiales no consolidados de origen lahárico y de flujo piroclástico; detritus de lava intemperizada; cenizas; arenas; pómez; brecha; arena y ceniza; pómez con arena y ceniza; conglomerado y depósitos de ladera. Las lavas, representan en general, la culminación de la actividad volcánica, donde los materiales como pómez, ceniza y arena volcánica, corresponden a las etapas iniciales de las erupciones, observándose los mayores grosores en las grandes canteras.

4.6. Relieve. El relieve es muy importante en la distribución y formación de los suelos, ya que controla muchas de sus características tipogenéticas (color, espesor, contenido de materia orgánica, etc), además de ser responsable de las variaciones de los meso y microclimas, por el efecto altitudinal o de pendiente. El efecto de la pendiente sobre los suelos provoca una variabilidad en las propiedades, la cual ha recibido el nombre de catena o toposecuencia. La catena condiciona que los suelos fueron formados a lo largo de una colina. La Sierra de Guadalupe, presenta un desnivel general de 300 a 400 metros sobre el nivel de la planicie de la Cuenca. A partir del cerro Picacho con un rumbo general norte-sur y que continúa por numerosos picos y cerros hasta llegar al cerro Chiquihuite con 2,740 msnm. Al sureste del Chiquihuite, separada por un valle, se encuentra la pequeña cordillera llamada del Tepeyac, formada por cuatro cerros que son: Santa Isabel o Zacatenco, Gachupines, Vicente Guerrero y el Tepeyac (SIGSA, 1986). La Tabla 4.2 muestra la altitud de las principales elevaciones de la Sierra.

Tabla 4.2. Principales elevaciones de la Sierra

Elevación	Altura (msnm)
Picacho Moctezuma	2,900
Chiquihuite	2,740
Tlalayotes	2,720
Picacho Grande	2,700
El Jaral	2,700
El Fraile	2,660
Picacho Tlacomulco	2,620
Santa Isabel ó Zacatenco	2,500
Tenayo	2,480
Vicente Guerrero	2,440
Gachupines	2,340

4.7. Geomorfología. El relieve se eleva a partir de la cota 2,240 hasta los 2,900 msnm que alcanza el núcleo de la sierra. La disección se manifiesta por barrancos, circos de erosión y valles. Algunos considerablemente anchos en forma de herraduras, como la fosa de Cuauhtepac con una dirección al noreste (Lozano, 1968; Lugo y Salinas, 1996).

El límite de la planicie lacustre se localiza entre los 2,240 y 2,250 msnm de ahí hasta la base de las laderas volcánicas se extiende una planicie inclinada de 1 a

6°, en toda la margen de la sierra el piedemonte generalmente hasta los 2,240 msnm y tiene una anchura que varía de algunos cientos de metros hasta los 2 kilómetros. La red fluvial está controlada esencialmente por las grietas en las rocas, fenómeno favorecido por la casi total ausencia de una capa superficial gruesa de material no consolidado. (Lugo y Salinas, 1996; Fraustro, 1999).

El vulcanismo como proceso fundamental, originó algunos estratovolcanes, como los cerros Guerrero, Zacatenco, Moctezuma, El Jaral, María Auxiliadora y la Cruz, de dimensiones considerables en la zona estudiada, construidos por derrames de lava andesítica y piroclastos. Los domos volcánicos se formaron alineados sobre las antiguas fracturas por las que ascendió el magma. Con esto están relacionadas las fallas que han sido cartografiadas por diversos autores.

Durante el Plioceno, los procesos volcánicos extrusivos fueron los dominantes en la Sierra de Guadalupe. Los domos principales representan la actividad volcánica de tipo central que fue dominante y con éstos se alinean domos menores, parte del mismo proceso, pero de menor intensidad. Ambos domos están, en su mayoría unidos por crestas de lava que constituyen las divisorias de aguas.

Las laderas convexas son las mejor conservadas y bien expuestas en la periferia de la sierra. Los domos volcánicos, por su forma y constitución homogénea de lavas muy compactas, son muy resistentes a la erosión y a diferencia de otras estructuras geológicas, pueden permanecer algunos millones de años, mientras que las laderas cóncavas son la forma dominante en la Sierra de Guadalupe, y representan la modificación de las convexas por una prolongada etapa de intemperismo, y erosión por procesos de ladera y fluviales, que han removido un volumen considerable de material rocoso (Lugo y Salinas, 1996).

El piedemonte es la superficie de inclinación menor de 8°, que constituye la base de la sierra, casi en su totalidad de material volcánico. Se formó por derrames de lava y materiales de caída, como pómez y piroclastos. En menor proporción hay depósitos exógenos: de ladera, fluviales e incluso lacustres en su porción inferior.

La erosión en la Sierra de Guadalupe ha sido fundamentalmente vertical y es más intensa a lo largo de fracturas, fallas y contactos litológicos, lo que fundamentalmente se aprecia en la fosa de Cuauhtepac (Lugo y Salinas, 1996; Fraustro, 1999).

4.8. Clima. El clima con base en la clasificación de Köeppen modificada por E. García (1988) corresponde a Cb (w₀)(w)(i')g a que significa "Templado subhúmedo con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación menor al 5%,

isotermal con una marcha de la temperatura tipo ganges”. Es importante mencionar que la cercanía a la Ciudad de México, está provocando algunas alteraciones como son: la elevación de las temperaturas medias, por los altos niveles de contaminación (Lugo y Salinas, 1996). La temperatura media anual es de 15°C y la precipitación promedio anual es de 584 mm anuales.

Hay 3 factores importantes que condicionan el clima de la Sierra de Guadalupe: 1) la continentalidad, originada por la lejanía de las masas oceánicas y por el aislamiento que todo el altiplano tiene por las sierras que la limitan; 2) su latitud de 19°33' que corresponde a un clima tropical y 3) la altitud general, provoca un clima templado, pero la altura relativa no es lo suficientemente significativa para favorecer variaciones de precipitación o temperaturas importantes (Lugo y Salinas, 1996).

Los datos de las condiciones climáticas del lugar, fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas en Cuautepec, Barrio Bajo y la estación Gran Canal operadas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

4.8.1. Temperatura. La temperatura es uno de los factores que más influye en las pérdidas del agua ya sea a través de la evaporación y/o evapotranspiración vegetal. La temperatura media anual oscila entre los 12 y 16°C., mientras que las temperaturas máximas promedio anuales fluctúan entre los 20 y 26°C presentado mayor incidencia entre los meses de abril o mayo. Las temperaturas mínimas promedio anuales varían de 2 a 10°C., con una presencia marcada durante pleno invierno (enero-febrero).

La oscilación térmica entre los valores extremos promedios fluctúa alrededor de los 24°C., mientras que para las temperaturas medias mensuales, tan solo es de 5.5°, en promedio anual, lo que se considera como poca oscilación. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas registradas en la zona, varían de 32 a 37°C durante la temporada más cálida entre abril o mayo y de -1.0 a 11.5°C que se llegan a observar entre enero y febrero respectivamente.

La distribución de estos valores dentro de la Sierra de Guadalupe va de la cota de los 2,300 hasta los 2,750 msnm aproximadamente, mientras que por arriba de esta última altura, los valores promedios descienden gradualmente. Por lo tanto en las partes más altas de la Sierra (arriba de la cota 2,800) se considera que los valores extrapolados presentan los siguientes niveles: la temperatura media anual oscila entre los 8 y 12°C., las temperaturas máximas promedio fluctúan entre los 16

y 20°C mientras que las mínimas promedio varían entre -2 y 6°C. La distribución temporal guarda el mismo comportamiento en las partes elevadas que en las partes bajas de la Sierra de Guadalupe.

4.8.2. Precipitación. Las lluvias en la Sierra de Guadalupe, son básicamente ciclónicas y se presentan durante el verano y en menor proporción se asocian con nortes durante el invierno. Las características propias de las lluvias en cuanto a su volumen precipitado, oscilan entre los 600 y 700 mm anuales. En cuanto a la distribución espacial es ligeramente inferior en la vertiente oriental de la Sierra (600 mm), mientras que en la porción poniente la isoyeta registra un valor de 700 mm. Se observa que llueve más durante los meses de mayo a octubre, aunque el valor máximo se manifiesta entre julio y agosto, la estación seca se presenta entre noviembre y abril.

La marcha anual de las precipitaciones observa una estación lluviosa definida entre los meses de mayo a octubre durante la cual se precipita aproximadamente un 75% de la lluvia media anual, el valor máximo generalmente ocurre entre julio y agosto. En menor porcentaje existe la presencia de precipitación convectiva, la cual se forma cuando el aire húmedo ascendente se satura y se condensa al enfriarse, originando intensas lluvias en el mismo periodo.

La estación seca corresponde al periodo de noviembre-abril, con los meses mínimos de lluvia en diciembre y/o febrero, cuyo porcentaje de lluvia invernal es del 5 al 10% del total anual, como se puede observar en el climograma de la estación Cuauhtepac, Barrio Bajo en el Distrito Federal (Figura 4.5) el cual fue elaborado con la información generada durante 39 años del periodo comprendido de 1956 a 1995 de acuerdo con el INEGI (1995).

Con respecto al promedio de lluvia máxima en 24 horas, los valores observados se encuentran entre 40 y 60 mm los cuales corresponden aproximadamente a un 8% de la lluvia media anual, dicha lámina de agua puede esperarse cada 4 años aproximadamente. Finalmente, el número de días con lluvias apreciables muestra valores que fluctúan de 70 a 100 días/año.

4.8.3. Granizadas y Nevadas. Estos fenómenos hidrometeorológicos llegan a tener una frecuencia muy baja. Para las granizadas su incidencia es de 1 a 10 días al año y se presentan básicamente durante la temporada de mayor humedad atmosférica, que es de mayo a octubre. Con respecto a las nevadas, es un fenómeno que presenta poca ocurrencia en esta zona del país, dentro de la Sierra

de Guadalupe no se ha observado este elemento meteorológico durante los últimos 30 años.

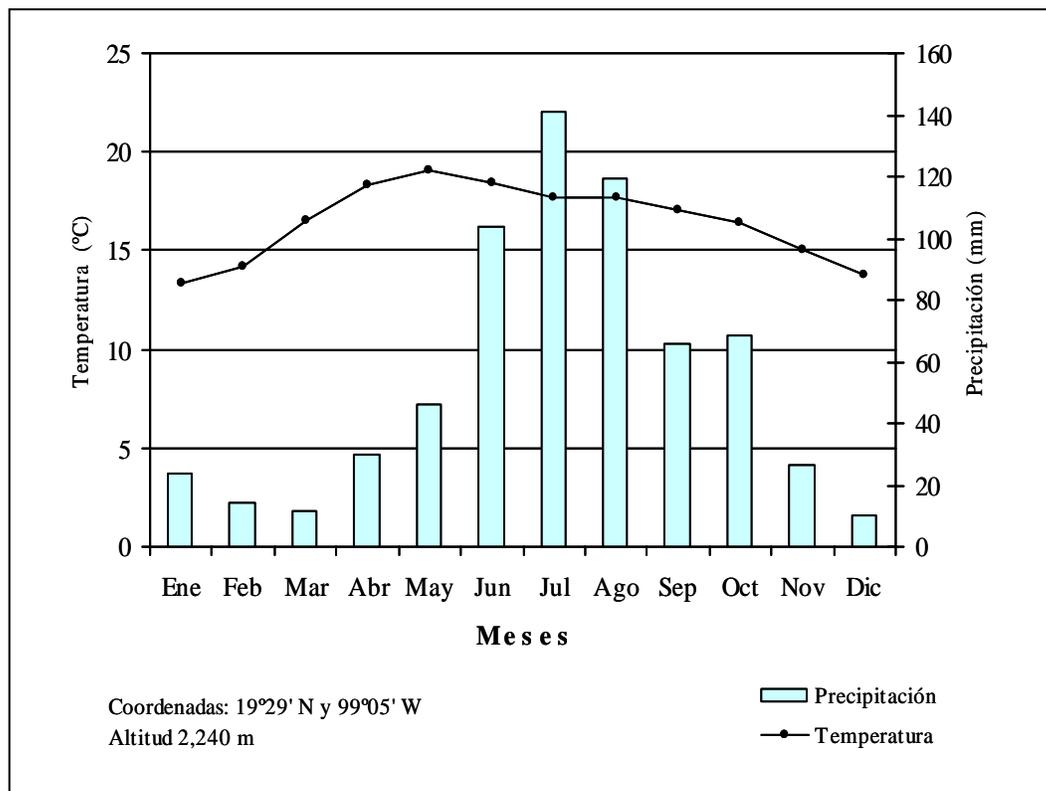


Figura 4.5. Climograma de la Estación Cuauhtepac, Barrio Bajo, D. F.

4.8.4. Vientos. La Sierra de Guadalupe hace variar la trayectoria de los vientos fríos del norte, cuyo efecto sería provocar una temperatura inclemente y seca en la Cuenca de México; el costado meridional de la sierra no sufre impacto directo de esas corrientes, que atenuadas o desviadas por ella misma, hacen descender notablemente la temperatura durante los meses de octubre y noviembre.

Los vientos dominantes provienen del norte-noroeste y los de mayor fuerza que son de extrema sequedad son los del noroeste (Lugo y Salinas, 1996). La velocidad de los vientos del norte en el verano es de 5m/seg y los provenientes del noroeste en el invierno es de 3m/seg. (DDF., 1996). En la época de lluvias, al encontrarse las masas de aire caliente y húmedo del valle con las corrientes frías del norte, se forman nubes sobre la Sierra de Guadalupe, que al condensarse, causan precipitaciones en la Cuenca de México (INEGI, 1995).

4.8.5. Heladas. En promedio se registran entre 80 a 100 heladas entre las cotas de los 2,300 a los 2,750 msnm, arriba de esta cota se pueden llegar a

presentar de 100 a 120 días al año. Generalmente la primera helada se presenta durante el mes de septiembre y las últimas pueden presentarse en abril. La mayor incidencia de días con helada se presenta entre los meses de noviembre a febrero (FySPSA, 1997).

4.9. Suelos. Los suelos de la Sierra de Guadalupe, como la mayoría de los suelos desarrollados sobre rocas eruptivas en un clima templado seco, por lo general son poco profundos y contienen muchos restos de rocas originales. El INEGI (1982), reporta para la Sierra las siguientes asociaciones de suelos: Leptosoles + Phaeozem háplicos. En la parte central de la Sierra los Phaeozem háplicos presentan una fase dúrica, con dirección hacia el sur, la cual queda comprendida de la cota 2,300 a la 2,450 msnm.

En general los Leptosoles se caracterizan por ser suelos someros, muy pedregosos, con una profundidad menor de 10 cm y en muchos casos, son el resultado de la erosión antrópica. En la Sierra de Guadalupe, es común encontrar estas unidades de suelos en las zonas altas de las laderas de los domos volcánicos. Los Phaeozem háplicos, se consideran como suelos fértiles, con buena cantidad de materia orgánica, generalmente son de color oscuro y se encuentran en los piedemontes de las laderas (SARH, 1987).

Los suelos de la Sierra, son poco profundos y contienen muchos restos de las rocas originales. Por otra parte, debido a que en la época prehispánica hubo tala en la zona, se favoreció la pérdida original del suelo por erosión (Lugo y Salinas, 1996).

4.10. Vegetación. El crecimiento urbano ha generado un grave deterioro sobre tres de los componentes principales del equilibrio ambiental del área: el suelo, la vegetación y el agua. A lo anterior se suma particularmente la carencia de recarga de los mantos acuíferos. Específicamente en las porciones altas de los piedemontes, la carencia de vegetación natural en las áreas cuyos suelos son vulnerables a los procesos de escurrimiento laminar y concentrado ha generado erosión hídrica que se ha manifestado por la presencia de erosión acelerada de suelos agrícolas y formación de cárcavas (Lugo y Salinas, 1996).

Actualmente la vegetación de la Sierra de Guadalupe, está caracterizada principalmente por una comunidad arbórea basada en reforestaciones, con eucalipto *Eucalyptus* sp; casuarina *Casuarina equisetifolia* L.; cedro blanco *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl.; ciprés panteonero *Cupressus sempervirens*

L. y diversas especies de pinos, entre las que se encuentran el *Pinus cembroides* Zucc., *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schuldt & Cham. y *P. radiata* D. Don. (Bopp, 1955; Rzedowski y Rzedowski, 1979; Vela *et al.*, 2004).

En la Sierra el *Schinus molle* L. o pirul es muy frecuente, tanto así que se le puede considerar como una especie subdominante en algunas zonas, particularmente se encuentra formando parte de algunas cercas de piedra y/o linderos de parcelas agrícolas, al igual que el maguey pulquero *Agave atrovirens* Karv. (Bopp, 1955).

La vegetación nativa del parque ha desaparecido casi en su totalidad pero aún existen algunos ejemplares de encinos como *Quercus rugosa* Née. y *Q. deserticola* Trel.; palo dulce o palo cuate *Eysenhardtia polystachya* Sarg.; cuajilote amarillo *Bursera cuneata* (Schltdl.) Engl.; palo de muerto *Ipomoea murucoides* Roem., mezquite *Prosopis juliflora*; tabaquillo *Nicotiana glaucum* Grab., huizache *Acacia farnesiana* Willd.; sangregado o torote *Jatropha spathulata* Müll Arg., tepozancillo *Buddleia verticilada* HBK.; yerba del negro *Gaudichaudia cynanchoides* Humb., chilillo *Poligonum glabrum*; biznaga *Mammillaria rhodantha* Link & Otto, *Mammillaria strobiliformis* Scheer.; nopales como *Opuntia streptacantha* Lemaire., *O. tomentosa* CD. y *O. ficus indica* Linn., Izote o yuca *Yucca filifera* Chabaud. y membrillo cimarrón *Cotoneaster* sp (Bopp, 1955; Vargas, 1982; Gobierno del Estado de México, 2001).

En la Sierra, las mayores superficies están ocupadas por pastizales inducidos, matorrales y áreas con bosquetes plantados, teniendo menos cobertura los bosques naturales de encino y las nopaleras, fenómeno indicador de que las formaciones de vegetación primaria se han reducido sensiblemente dando lugar a asociaciones vegetales derivadas de las perturbaciones y la introducción de especies exóticas, mediante plantaciones forestales con fines de restauración y conservación (ISA, 1999; Vela y Flores., 2004).

Las plantaciones de maíz han influido mucho en el cambio fisonómico de la sierra, al igual que el pastoreo excesivo, ya que ha exterminado plantas o facilitado el crecimiento de otras, particularmente de las gramíneas, mismas que se han establecido en pequeñas planicies o pendientes poco pronunciadas, donde cubren el suelo totalmente. Un ejemplo de estas lo integran el *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Bouteloua bromioides* Lag., *Muhlenbergia elata* Vasey., *M. alamosae* Vasey., *Hilaria cenchroides* Lag., *Chloris elegans* HBK., *Triodia atenacea*, *Hordem vulgare* L. y *Avena fatua* L. (Bopp, 1955; Díaz, 1976).

4.11. Fauna. La fauna de la Sierra de Guadalupe, es reducida, debido a la transformación y pérdida de su hábitat por la afectación que ha sufrido la cubierta vegetal y al cambio de uso de suelo forestal por agrícola primero y urbano posteriormente, así como a la frecuencia de incendios, sobrepastoreo y cacería furtiva. Es importante hacer notar que los hábitats de algunas especies han sido más afectados que de otras, tal es el caso de los anfibios que debido a la falta de vegetación arbórea, se ha reducido la capacidad de retención de humedad en algunas áreas, afectando el volumen y periodicidad de los arroyos existentes en la Sierra.

Algunas de las especies de anfibios existentes en la zona son: *Hyla eximia*, rana verde; *Hyla arenicolor*, rana gris; *Tomodactylus grandis*, rana silvadora; *Spea hammondi*, sapo excavador y la *Rana tlaloci*, esta última en peligro de extinción. En las zonas pedregosas, con pastizales o de matorrales se encuentran las siguientes especies de reptiles: *Barisia imbricata imbricata*, escorpión; *Phrynosoma orbiculare*, camaleón; *Sceloporus torcuatus* y *S. grammicus*, lagartija de collar y de barda respectivamente, *Thamnophis scalaris*, culebra; *Salvadora bairdi*, culebra rayada; *Pituophis deppei deppei*, cincuate; *Crotalus triseriatus* *Aquiles*, víbora fina; *Crotalus molossus nigrescens*, cascabel de cola negra y *Sistrurus ravus*, hocico de puerco. Estas dos últimas bajo el estatus de protección especial (Rzedowski y Rzedowski, 1979; Méndez *et al.*, 1992).

Los mamíferos, se restringen a miembros chicos que se refugian en las zonas de matorral y pequeños bosquetes, encontrándose las siguientes especies: *Didelphis virginiana*, tlacoache; *Sylvilagus floridanus*, conejo castellano; *Scirurus aureogaster*, ardilla; *Pappogeoynys tylorhiinus*, tuza; *Liomys irratus hallen*, ratón y *Mephitis macroura*, zorrillo (Reyes y Halffter, 1976; Gobierno del Edo. de México, 2001).

El grupo de las aves es el de mayor presencia en la zona, probablemente por su movilidad sea el mejor adaptado a las condiciones de la sierra. Además, muchas de éstas son migratorias, que han encontrado en las especies vegetales introducidas nuevos hábitat que les ha permitido subsistir. Algunos ejemplos de aves son: *Cyrtonyx montezumae*, codorniz; *Buteo jamaicensis*, aguililla colirrufa; *Parabuteo uncinctus*, aguililla rojinegra; *Geococcyx californianus*, correcaminos; *Falco sparverius*, halcón cernícalo; *Zenaida macroura*, paloma huilota; *Otus asio*, tecolotito; *Tyto alba*, lechuza; *Cynanthus latirostris*, colibrí; *Thyromanes bewickii*, saltapared; y *Spizella atrogularia*, gorrión, entre otras (Reyes y Halffter, 1976; Gobierno del Edo. de México, 2001).

Capítulo 5

METODOLOGÍA

5.1. Trabajo de Gabinete. Se realizó la recopilación, revisión y análisis de información documental, además en la adquisición de cartas urbanas a escala 1:20,000 editadas por Sistemas de Información Geográfica, S. A. (SIGSA) en 1986 y las cartas temáticas elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en escala 1:50,000 y se adquirieron las fotografías aéreas a escala 1:37,000 del vuelo realizado por el INEGI durante 1994.

Por otra parte, se consultaron los trabajos e investigaciones realizadas sobre el área en estudio, libros técnicos, publicaciones periódicas y colecciones especializadas. Se elaboró el plano topográfico base a escala 1:20,000 donde se delimitó con apoyo de las fotografías aéreas el área en estudio, posteriormente a partir de un muestreo dirigido, se ubicaron los sitios de muestreo de suelos, procurando que cada sitio elegido fuese representativo de un área en común, apoyándose con diversos recorridos por el área.

En total se trabajaron 24 perfiles de suelos en la parte sur de la Sierra de Guadalupe (Figura 5.1), pero para el desarrollo de esta investigación únicamente se tomaron en cuenta los resultados de 11 de ellos, considerados como los más representativos de la Sierra, por sus propiedades morfológicas, físicas y químicas (Figura 5.2). Estos perfiles, corresponden a los siguientes sitios: **P-1a Los Gachupines, P-2 Vicente Guerrero y P-4a Zacatenco** en la zona considerada como Parque Nacional El Tepeyac, mientras que para el Suelo de Conservación (SC) los perfiles modales fueron el **P-6 El Chiquihuite, P-7 El Panal, P-10 Las Caballerizas, P-15 El Fraile, P-16 Picacho Moctezuma y P-20 Tlalpexco** y para la zona considerada como Parque Estatal se eligieron los perfiles **P-8 El Tenayo y P-22 La Paloma**.

5.2. Trabajo en Campo. La descripción de los perfiles y toma de muestras de suelos se realizó por horizontes con base en Schoeneberger *et al*, (2000) y la designación de los horizontes de acuerdo con Soil Survey Staff, (1999). La descripción morfológica de los perfiles incluyó la formación de costras, presencia de piedras, profundidad de los horizontes, transición entre capas; humedad, color en seco y húmedo, estructura; textura al tacto, consistencia en seco y húmedo, adhesividad y plasticidad, estratos endurecidos, cutanes; nódulos,

porosidad, permeabilidad, raíces, fauna, drenaje del perfil, clase y grado de erosión. Los 11 perfiles que se describieron, tuvieron dimensiones aproximadas de 2 m de largo, por 1 m de ancho y 2 m de profundidad o hasta encontrar la roca. Cada perfil se limpió con la ayuda de un cuchillo, se le colocó un estadal, el número correspondiente y se tomó la fotografía respectiva. Una vez concluida la descripción morfológica se tomaron 2 Kg de suelo de cada horizonte y se colocaron en bolsas de plástico, debidamente etiquetadas, para su posterior análisis en laboratorio. También se tomó la fotografía de cada perfil y una panorámica del sitio como referencia.

5.3. Trabajo en Laboratorio. Durante el trabajo de laboratorio a cada una de las 73 muestras de suelo, se le determinaron las siguientes propiedades físicas: Color, por comparación con las tablas Munsell (1994); densidad aparente y densidad real con base a Soil Survey Staff (1984); la textura y la granulometría se determinó mediante el método de la pipeta propuesto por Day (1965), para explicar el modo y medio de transporte de las partículas se estudió la esfericidad y redondez de las mismas, a partir de la escala propuesta por Powers (1953); la resistencia a la compresión simple confinada de las capas endurecidas, se realizó en núcleos labrados sujetos a peso incrementante en un marco de carga (Head, 1984).

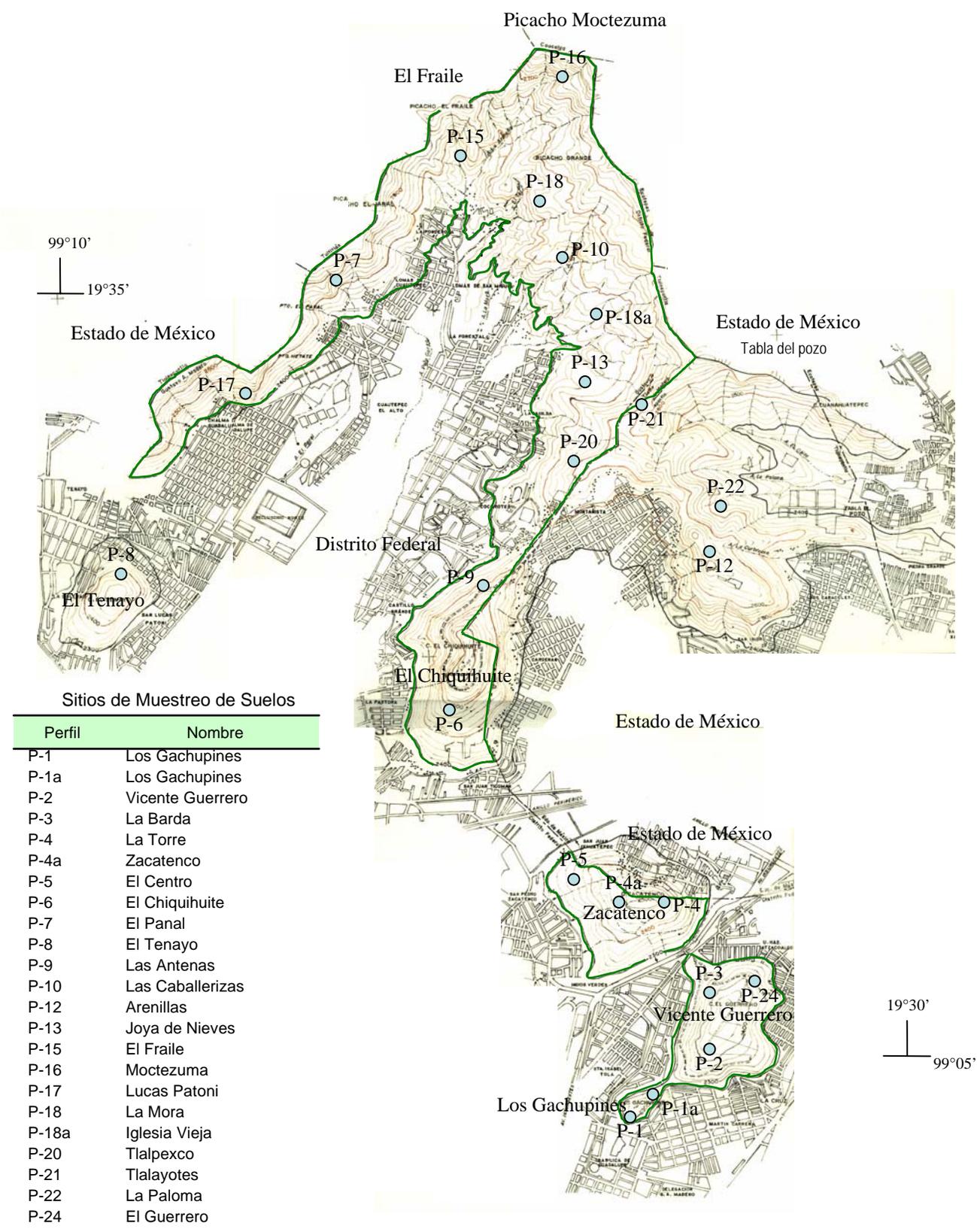
Entre las propiedades químicas se determinó el pH relación 1:2.5 en H₂O por medio del pHmetro Cornig 220 con electrodo de vidrio; la materia orgánica (MO) por el método de combustión en húmedo propuesto por Walkley y Black (1947); la capacidad de intercambio catiónico (CIC) por saturación con acetato de amonio; cationes intercambiables de Ca²⁺ y Mg²⁺ por Jackson, (1964); Na⁺ y K⁺ intercambiables mediante flamometría; para los óxidos libres, se prepararon fusiones de acuerdo con Merha y Jackson (1960) y cuantificándose por medio de absorción atómica; los óxidos totales mediante Verbeek *et al.* (1982) para la determinación de las pérdidas y ganancias de óxidos totales entre el material parental y los horizontes intemperizados, se aplicó la constante de Al₂O₃ propuesta por Krauskopf, (1979). La identificación del cementante se realizó mediante la inmersión de fragmentos de tepetate en KOH al 30% con base en Soil Survey Staff (1999).

La observación micromorfológica de los horizontes endurecidos, se realizó en el microscopio electrónico de barrido JEOL JMS-35c y su análisis químico fue hecho con un equipo de energía dispersiva de rayos X, marca Tracor (microsonda). El estudio mineralógico se obtuvo mediante difracción de rayos X en un

difractómetro Phillips PW 1130/96 con radiación de cobre K α , monocromador de grafito, filtro de Vanadio y condiciones de excitación de 30 KV-20mA, aplicando pretratamientos a las muestras con saturación de potasio y calentamiento a 350° y 550°C realizando posteriormente la evidencia de confirmación.

5.4. Análisis de Resultados. El análisis e interpretación de los resultados que se obtuvieron a partir del trabajo en laboratorio se relacionaron con la información recabada en campo y la obtenida durante la fase de recopilación e integración de la bibliografía que se han realizado en la zona. La clasificación taxonómica se realizó con base en la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, propuesta por la FAO, ISRIC y SICS (1999) y la Claves para la taxonomía de suelos del Soil Survey Staff (1999).

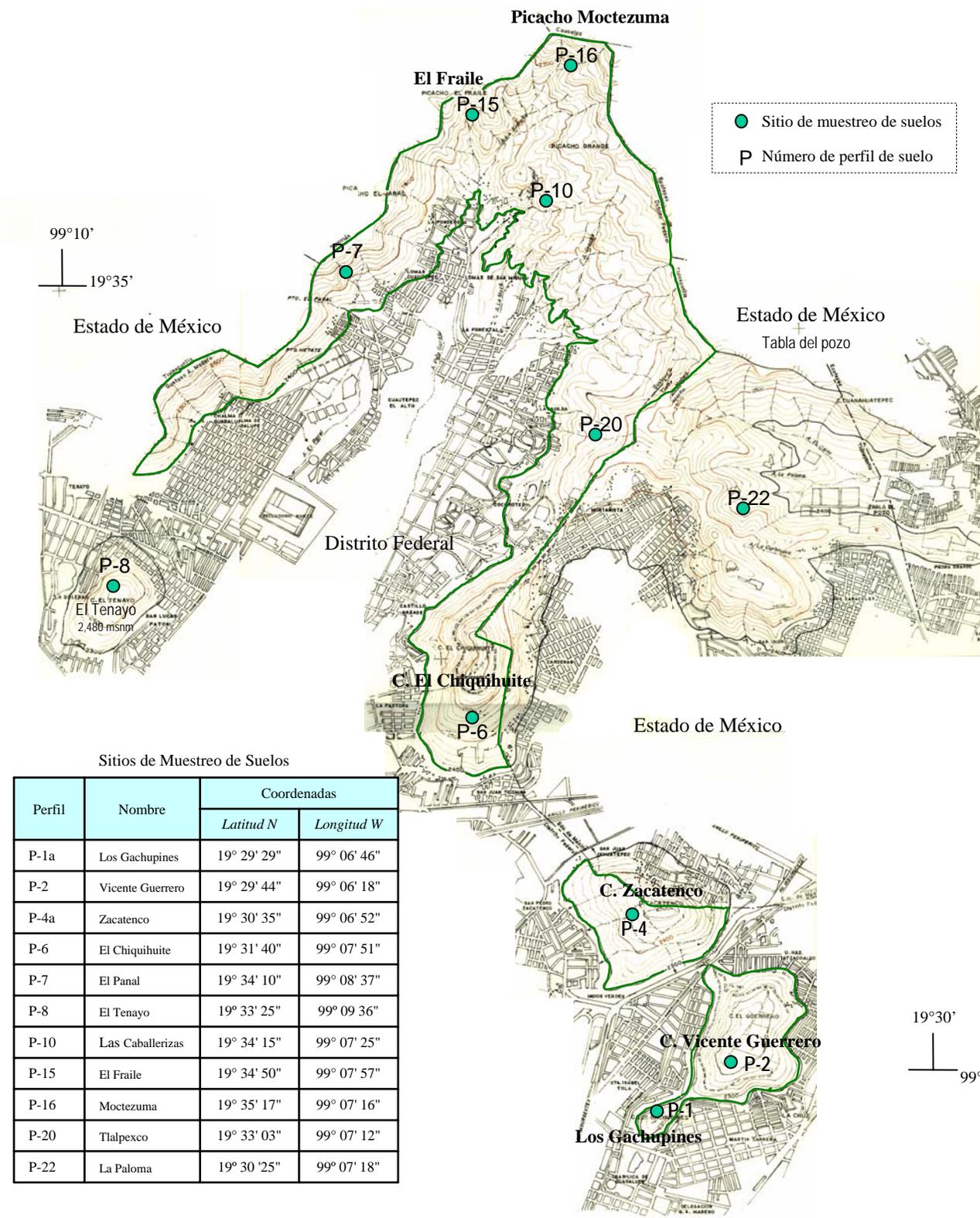
La distribución espacial de cada unidad de suelos se realizó con trabajo de fotointepretación, recorridos en campo y la verificación de límites entre unidades con apoyo de una barrena tipo “Americano”. Por último se realizó un informe escrito de todas las actividades que se desarrollaron a lo largo de este proyecto, el cual incluye los resultados, conclusiones y plano de unidades de suelo.



Sitios de Muestreo de Suelos

Perfil	Nombre
P-1	Los Gachupines
P-1a	Los Gachupines
P-2	Vicente Guerrero
P-3	La Barda
P-4	La Torre
P-4a	Zacatenco
P-5	El Centro
P-6	El Chiquihuite
P-7	El Panal
P-8	El Tenayo
P-9	Las Antenas
P-10	Las Caballerizas
P-12	Arenillas
P-13	Joya de Nieves
P-15	El Fraile
P-16	Moctezuma
P-17	Lucas Patoni
P-18	La Mora
P-18a	Iglesia Vieja
P-20	Tlalpexco
P-21	Tlalayotes
P-22	La Paloma
P-24	El Guerrero

Figura 5.1. Sitios de muestreo de suelos



Sitios de Muestreo de Suelos

Perfil	Nombre	Coordenadas	
		Latitud N	Longitud W
P-1a	Los Gachupines	19° 29' 29"	99° 06' 46"
P-2	Vicente Guerrero	19° 29' 44"	99° 06' 18"
P-4a	Zacatenco	19° 30' 35"	99° 06' 52"
P-6	El Chiquihuite	19° 31' 40"	99° 07' 51"
P-7	El Panal	19° 34' 10"	99° 08' 37"
P-8	El Tenayo	19° 33' 25"	99° 09' 36"
P-10	Las Caballerizas	19° 34' 15"	99° 07' 25"
P-15	El Fraile	19° 34' 50"	99° 07' 57"
P-16	Moctezuma	19° 35' 17"	99° 07' 16"
P-20	Tlalpexco	19° 33' 03"	99° 07' 12"
P-22	La Paloma	19° 30' 25"	99° 07' 18"

Figura 5.2. Perfiles representativos de suelos

Capítulo 6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. PERFIL 1A. LOS GACHUPINES.

6.1.1. Características Morfológicas. Se encuentra en el piedemonte norte del cerro "Los Gachupines", en los 19°29'29" de latitud norte y 99°06'46" de longitud oeste, con una altitud de 2,280 msnm, aproximadamente a 30 metros del llamado "muro ecológico", que es una barda de 2.50 m de alto que delimita la zona urbana del Suelo de Conservación (SC). La vegetación del lugar está compuesta por *Eucalyptus* spp y *Schinus molle* L., así como diversas gramíneas predominando *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Hordeum vulgare* L. y *Avena fatua* L. El material parental esta formado por lavas de andesita, presentándose afloramientos en la parte sur del cerro, la profundidad del suelo fue de 36 cm hasta el contacto lítico.

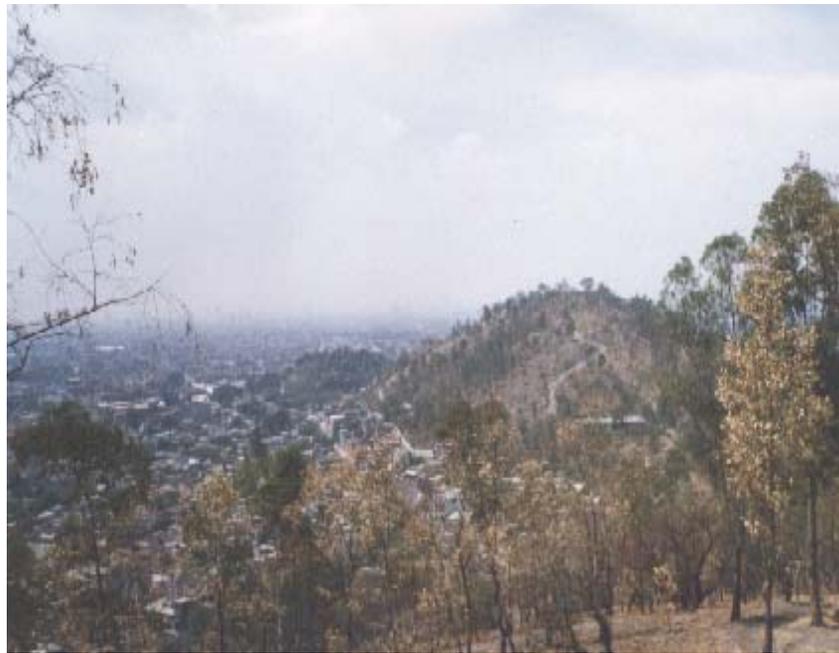


Figura 6.1. Panorámica del cerro Los Gachupines

Es importante mencionar que parte del cerro Los Gachupines presentaba daños por incendio, especialmente en la parte norte, aunque la zona afectada únicamente incluía pastizales. En este sitio se encuentra un campo para jugar fútbol y durante Semana Santa se realiza el Viacrucis en este lugar, además en la cima del cerro se encuentra una capilla con la imagen de la Virgen de Guadalupe,

por lo que esta zona está expuesta a un gran impacto por la cantidad de visitantes que recibe los fines de semana y días festivos.

En este sitio el perfil que se describió, presentaba 2 horizontes (Figura 6.2), el primero de ellos, A11 tiene 5 cm de espesor a partir de la superficie; su color es pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco y gris muy oscuro (10YR 2/1) en húmedo; este color se atribuye en parte al origen del material parental y a su vez por la presencia de pastizales que aportan cantidades importantes de ácidos húmicos, derivados de la descomposición de la materia orgánica (Shoji *et al.*, 1993). Presentó una separación gradual con el horizonte A12; su consistencia es suelta en seco y friable en húmedo, con menos de 1% de piedras de tamaño pequeño; su textura es franco-arcillo-limosa; la estructura es granular, débilmente desarrollada; con abundantes raíces de tamaño fino. Este sitio se encuentra reforestado con *Eucalyptus* sp. el cual presenta daños por incendios, por lo que la vegetación que se establece con mayor facilidad son las gramíneas principalmente *Cynodon dactylon* (L.) Pers., que es a su vez muy agresivo y tolerante a las condiciones climáticas que se presentan en la zona, además de ser muy resistente a los incendios, ya que se renueva rápidamente.

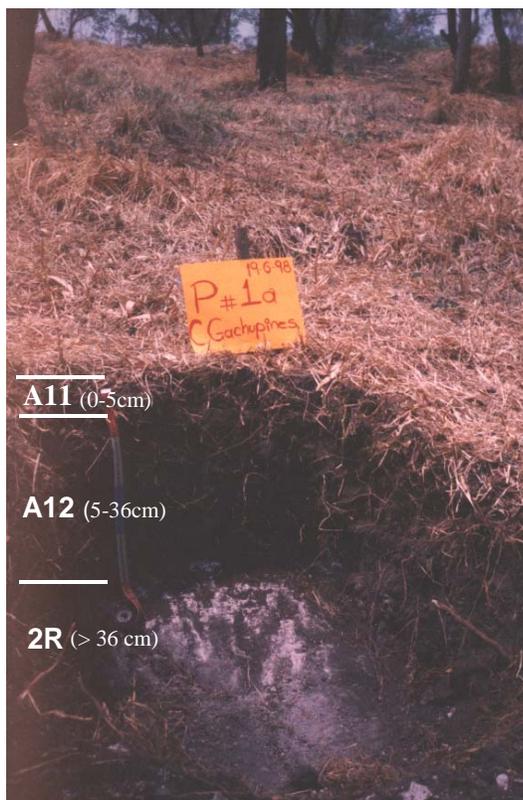


Figura 6.2. Fotografía del P-1a Los Gachupines

El horizonte A12 tiene una profundidad de 5 a 36 cm; su color es gris muy oscuro (10YR 3/1) en seco y gris muy oscuro (10YR 2/1) en húmedo; presenta una separación abrupta de forma horizontal con el lecho rocoso, formado por andesitas, es ligeramente adhesivo; su textura es franco-arcillo-limosa; es pedregoso con fragmentos de roca, entre 5 a 10 cm de diámetro; tiene una estructura granular, débilmente desarrollada; con abundantes raíces de tamaño fino. A partir de los 36 cm de profundidad se encuentra el lecho rocoso 2R que está formado por andesita, poco alterada.

6.1.2. Propiedades Físicas de los Suelos. El suelo se considera somero, ya que presenta una profundidad máxima de 36 cm al contacto lítico. El horizonte A se dividió en dos partes de acuerdo a su proceso de humificación y color, por lo que la densidad aparente del horizonte A11 fue de 0.82 Mg/m³ misma que se incrementó ligeramente en el A12 a 1.05 Mg/m³ al presentar materiales menos intemperizados como fragmentos de rocas provenientes de la alteración superficial del lecho rocoso (Figura 6.3).

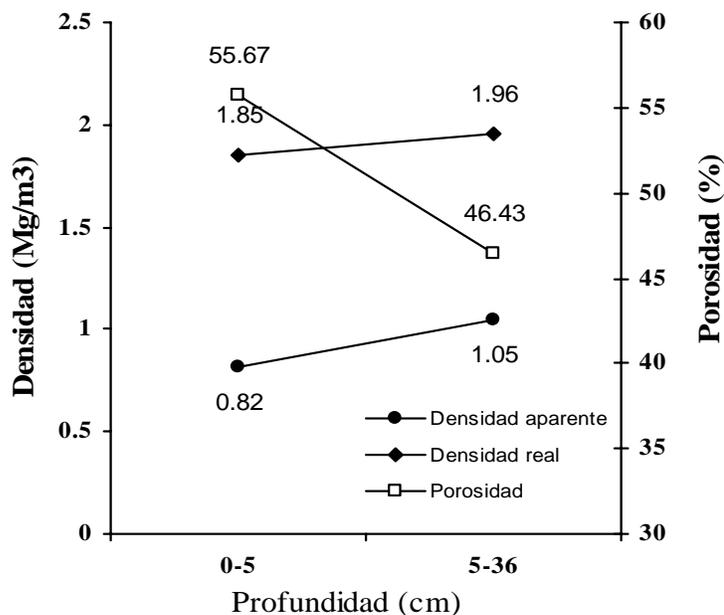


Figura 6.3. Densidad y porosidad del P1a Los Gachupines

Por lo mismo, la densidad real presentó un comportamiento similar a la densidad aparente, ya que ésta se incrementó con la profundidad de 1.85 Mg/m³ en el A11 a 1.96 Mg/m³ en el A12. Por otra parte, el porcentaje de porosidad fue de 55.67% en el A11 presentando un decremento en el A12 como consecuencia en la

disminución de materiales de origen orgánico y a la presencia de materiales menos intemperizados y más compactos. Es conveniente mencionar, que estos valores se consideran adecuados para suelos de origen volcánico, siendo similares a los reportados por Acevedo *et al.* (2003) en un área cercana a la zona en estudio.

En ambos horizontes predominan las texturas franco-arcillo-limosas, aunque es conveniente resaltar que en estos horizontes por la cantidad de materia orgánica que aporta la vegetación del sitio, favorece el que las densidades sean menores a la unidad. Se presenta un ligero incremento de arenas en el A12 que se atribuyen, a que los materiales están menos intemperizados, reflejándose en una mayor cantidad de arenas y limos (Figura 6.4). Este suelo se considera de escaso desarrollo, al presentar una secuencia de formación AR, debido a que es de origen coluvial, ya que el material edáfico ha sido transportado y depositado en el piedemonte. Situación que se refleja en el hecho de que la roca madre no esta alterada y los suelos son más someros a mayor elevación y en la cima predominan los afloramientos rocosos.

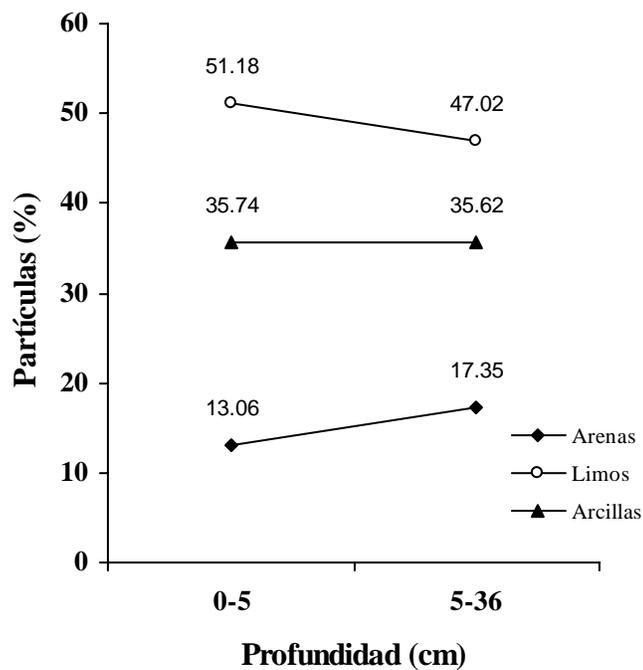


Figura 6.4. Distribución de las partículas del P-1a Los Gachupines

Predominan los limos y las arcillas en los horizontes A11 y A12, particularmente los limos gruesos y medios (Tabla 6.1). La cantidad de arcillas también se consideran importantes ya que es mayor al 35% en ambos horizontes,

las que se atribuyen en parte a un incipiente proceso de formación *residual* debido al intemperismo de minerales como los feldespatos y plagioclasas.

Tabla 6.1. Distribución granulométrica de las partículas del P-1a

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A11	0-5	1.7	2.8	1.0	6.1	1.4	13.0	31.1	13.8	6.3	51.2	35.8
A12	5-36	2.9	3.0	0.5	10.2	0.7	17.3	35.3	8.0	3.7	47.0	35.7
2R	>36	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] Partículas menores que 0.002 mm

Aunque se ha considerado que el mayor aporte en el desarrollo de estos suelos consiste en el arrastre de materiales provenientes de las partes más altas de la Sierra, mismos que por efecto de la gravedad y el transporte por lluvias, se han depositado en las partes más bajas como el piedemonte del cerro Los Gachupines (Figura 6.5). Por otra parte, el lecho rocoso presentaba poca alteración, por lo que se considera que en este suelo los horizontes superficiales A11 y A12 no se formaron a partir del horizonte R, sino más bien son producto de procesos *coluviales*.

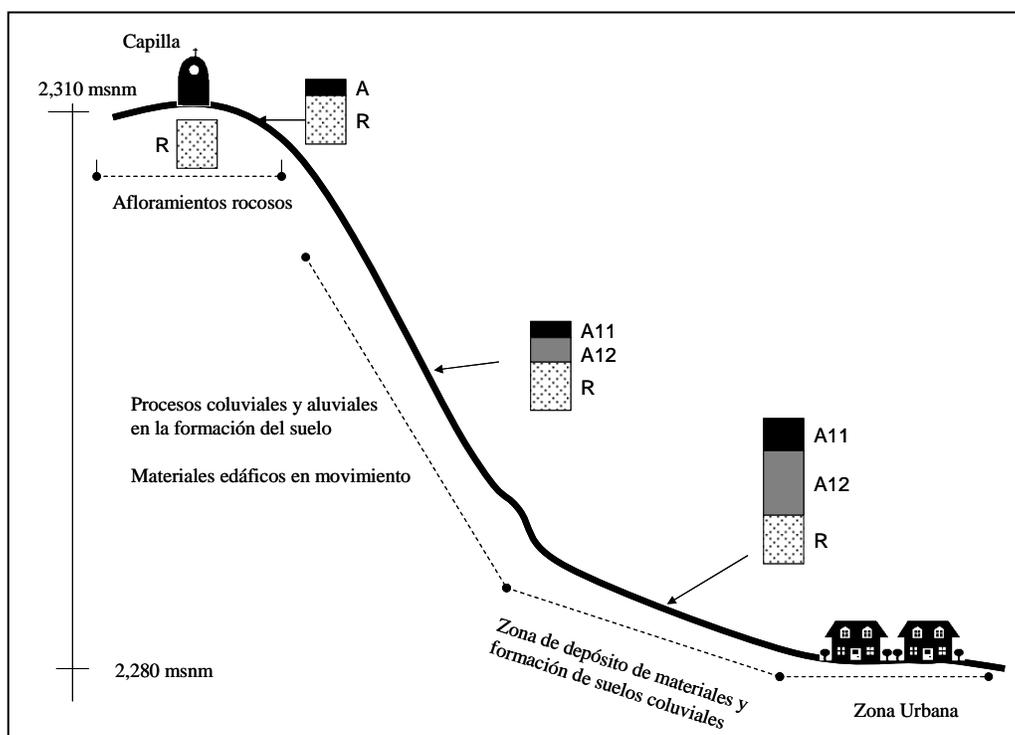


Figura 6.5. Distribución suelos en el cerro Los Gachupines

Este sitio se encuentra en uno de los cerros con menor elevación, el cual presenta un desnivel máximo de 25 metros con respecto a la planicie lacustre. Como referencia, en su parte más elevada se encuentra construida una capilla y el sitio se caracteriza por la presencia de afloramientos rocosos y por suelos donde el espesor generalmente es menor de 5 cm al contacto lítico. Asimismo, se estima que la distancia que recorren las partículas del suelo no es muy grande y que dadas las condiciones climáticas que se presentan en la Sierra, las cuales se consideran no muy agresivas, favorecen el predominio de las formas angulares en las partículas de limos y arenas.

En general, dominan las partículas arcillosas en los horizontes superficiales, las que son producto del intemperismo de los minerales primarios y del arrastre provocado por agentes como la lluvia y la gravedad, mismos que han propiciado su depósito en las partes más bajas de la ladera, particularmente en el piedemonte donde a su vez dominan los limos de tamaño grueso, medio y las arenas finas. La parte más estable de las laderas, corresponde a las zonas planas pero éstas ya se encuentran completamente urbanizadas.

Las formas que dominan en la fracción mineral son las angulares y muy angulares en más de un 50%. Además, las partículas observadas en el microcopio óptico, presentaron una esfericidad muy baja (70%), atribuible en parte al escaso arrastre a que han estado sujetas. Los resultados de la esfericidad y redondez se presentan en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Esfericidad y redondez de las partículas del suelo del P-1a

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-5	A11	50	50				30	70
5-36	A12	50	50				25	75
>36	2R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado.

6.1.3. Propiedades Químicas del Suelo. El pH tiende a la neutralidad en ambos horizontes (Tabla 6.3), aunque es ligeramente más básico en el horizonte A12, debido a la precipitación y acumulación de bases provenientes del horizonte superior. El contenido de materia orgánica de acuerdo con Fassbender y Bornemisza (1987), se considera como medio en el A11 y pobre en el A12 ya que existe un aporte de hojarasca de *Eucalyptus* spp y *Schinus molle* L., así como de las diversas gramíneas que se encuentran en el lugar, por lo que se ve beneficiado el

horizonte A11. Igualmente el contenido de carbono orgánico es pobre en ambos horizontes. Esta condición se debe al tipo de material orgánico que aporta la vegetación del lugar que se descompone rápidamente. Lo anterior se refleja en la capacidad de intercambio cationico la cual a pesar de ser alta en ambos horizontes, varía el contenido de materia orgánica, por lo que se atribuye más al tipo y cantidad de arcillas ya que estas son mayores al 35%.

El complejo de saturación del suelo está dominado principalmente por iones de Ca^{2+} lo cual se relaciona con el pH y la escasa precipitación que se presenta en la zona. Es conveniente indicar que sobre el lecho rocoso es común encontrar una ligera capa de color blanco formada por carbonatos la cual efervece al contacto con el HCl y que se considera se ha formado por el lavado de bases proveniente de los horizontes superiores pero al no ser tan intensas las lluvias se secan y se acumulan formando en algunos sitios costras.

Tabla 6.3. Propiedades químicas del suelo del P-1a

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)			
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
A11	0-5	6.9	4.25	2.47	39.88	30.10	18.70	1.73	2.92
A12	5-36	7.3	2.14	1.24	33.63	34.30	20.30	2.10	0.73
2R	>36	---	---	---	---	---	---	---	---

Hz = Horizonte; pH en agua; MO = Materia orgánica; C = Carbono orgánico; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico

6.2. PERFIL 2. VICENTE GUERRERO.

6.2.1. Características Morfológicas. Geográficamente se encuentra en los 19°29'44" de latitud Norte y 99°06'18" de longitud Oeste, en la cima del cerro Vicente Guerrero a una altitud de 2,450 msnm. Es una zona plana con una pendiente <3%, donde se practica agricultura de temporal en pequeñas terrazas de forma irregular que se trabajan con tracción animal y donde se cultiva principalmente maíz. Los linderos de las parcelas están formados por plantas de *Agave atrovirens* Karv., *Schinus molle* L. y *Eucalyptus* spp. (Figura 6.6). Este sitio, presenta pedregocidad superficial, con piedras menores de 30 cm de diámetro de naturaleza basáltico-andesítica.

En este sitio el horizonte Ap tiene una profundidad de 20 cm, su color es 5YR 4/1 gris oscuro en seco y 10YR 2/1 negro en húmedo; presenta una transición a la siguiente capa gradual de forma horizontal; su consistencia es ligeramente dura

en seco y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; su estructura es en bloques subangulares débilmente desarrollados; es ligeramente pedregoso, predominando las piedras pequeñas de forma subangular; se observó la presencia de miriápodos; este horizonte se encontraba bien drenado.



Figura 6.6. Parcela agrícola en el Parque Nacional El Tepeyac

El horizonte 2A se presenta a una profundidad de 20 a 35 cm (Figura 6.7), con un color gris oscuro (10YR 4/1) en seco y gris muy oscuro (5YR 3/1) en húmedo; tiene una separación abrupta de forma ondulada con la siguiente capa; es ligeramente húmedo; con una consistencia dura en seco y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; la estructura es en bloques subangulares, débilmente desarrollados; su textura es franco-limosa; el suelo es ligeramente pedregoso, con presencia de piedras de tamaño medio de forma angular y subangular; su permeabilidad es moderada; presenta pocas raíces de tamaño fino; se observó la presencia de miriápodos; este horizonte se encontraba bien drenado.

El horizonte 2Bt se encuentra entre los 35 a 48cm de profundidad; su color es pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; la transición con el horizonte 3BC es de abrupta forma ondulada; se encontraba húmedo; su consistencia es blanda en seco y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; su estructura es en bloques subangulares, débilmente desarrollados; la textura es arcillo-limosa; es ligeramente pedregoso, con piedras de tamaño pequeño de forma subangular; su permeabilidad se

considera moderada; presenta pocas raíces, principalmente finas (< 1 mm de diámetro) y delgadas (1 a 3 mm de diámetro).



Figura 6.7. Fotografía del P-2 Vicente Guerrero

En cuanto al horizonte 3BC se encontró entre 48 y 55 cm de profundidad; su coloración es rojo pálido (2.5YR 6/2) en seco y pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; su consistencia es blanda en seco y muy firme en húmedo; ligeramente adhesivo y ligeramente plástico y su textura es arcillosa. A partir de los 55 cm se encuentra una capa de material endurecido, conocida a nivel local como tepetate. El color de esta capa es gris rosáceo (7.5YR 4/3) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/3) en húmedo, en campo a esta capa se le designó como un horizonte 4Cqm y su textura es migajón-arcillo-arenosa.

6.2.2. Propiedades Físicas del Suelo. El suelo de este sitio se considera moderadamente profundo al presentar una profundidad máxima de 55 cm al contacto lítico, formado por tobas. Su densidad aparente oscila entre 1.08 Mg/m³ del horizonte Ap hasta 1.05 en el BC donde se presentan los materiales más alterados, posteriormente se eleva a 1.69 Mg/m³ en el Cqm que se caracteriza por estar menos alterado (Figura 6.8). Igualmente la densidad real presenta un incremento con la profundidad de 1.69 Mg/m³ en el Ap hasta 2.06 Mg/m³ donde se encuentran los materiales tobaceos menos alterados.

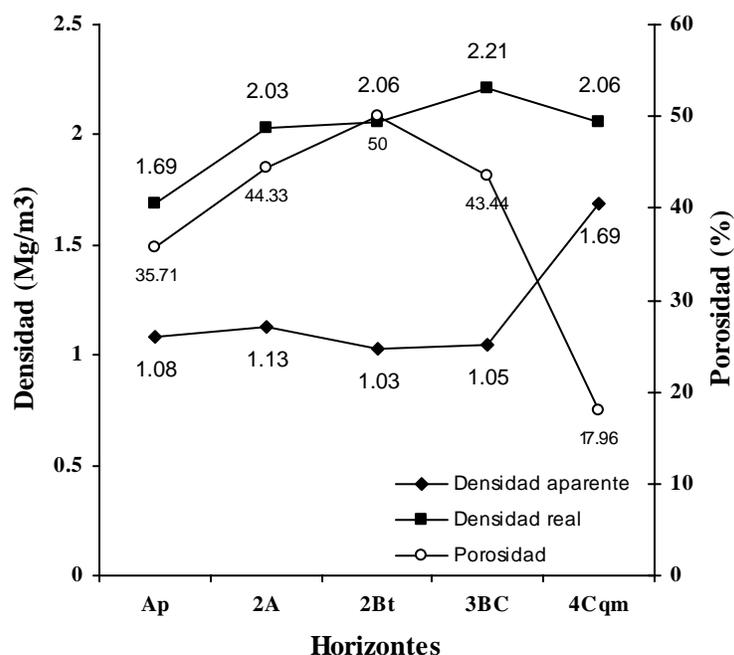


Figura 6.8. Densidad y porosidad del P-2 Vicente Guerrero

La porosidad en el horizonte Ap es de 35.71%, la cual se incrementa ligeramente con la profundidad en los horizontes 2A, 2Bt y 3BC y donde se encuentran materiales con mayor grado de alteración, predominando las arcillas, las cuales disminuyen drásticamente en casi la mitad en el horizonte 4Cqm por la presencia de materiales más compactos. En la Figura 6.9. el horizonte Ap tiene una textura franco-arcillosa, mientras que en el A12 es franco-limosa.

En el horizonte Bt se presentó un incremento de arcillas, por lo que su textura es arcillo-limosa y arcillosa para el BC, en ambos horizontes predominan las arcillas, las cuales debido a un proceso de iluviación en los horizontes superiores y que por efecto de las lluvias y la gravedad han enriquecido estos horizontes. Por otra parte el horizonte 4Cqm tiene una textura franco-arcillo-arenosa, que se considera característica de materiales menos intemperizados.

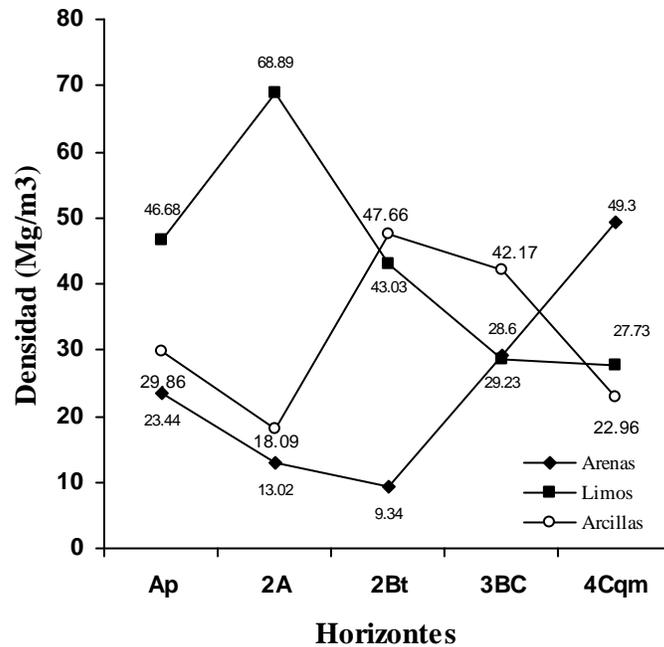


Figura 6.9. Distribución de las partículas del P-2 Vicente Guerrero

Los resultados del análisis granulométrico se presentan en la Tabla 6.4. Predominan las arenas de tamaño fino y grueso, así como los limos gruesos en los horizontes superficiales, esto se atribuye al constante movimiento que sufren los prismas del suelo por parte del arado en las labores de barbecho, ya que estos terrenos se dedican al cultivo de maíz. (Figura 6.10).

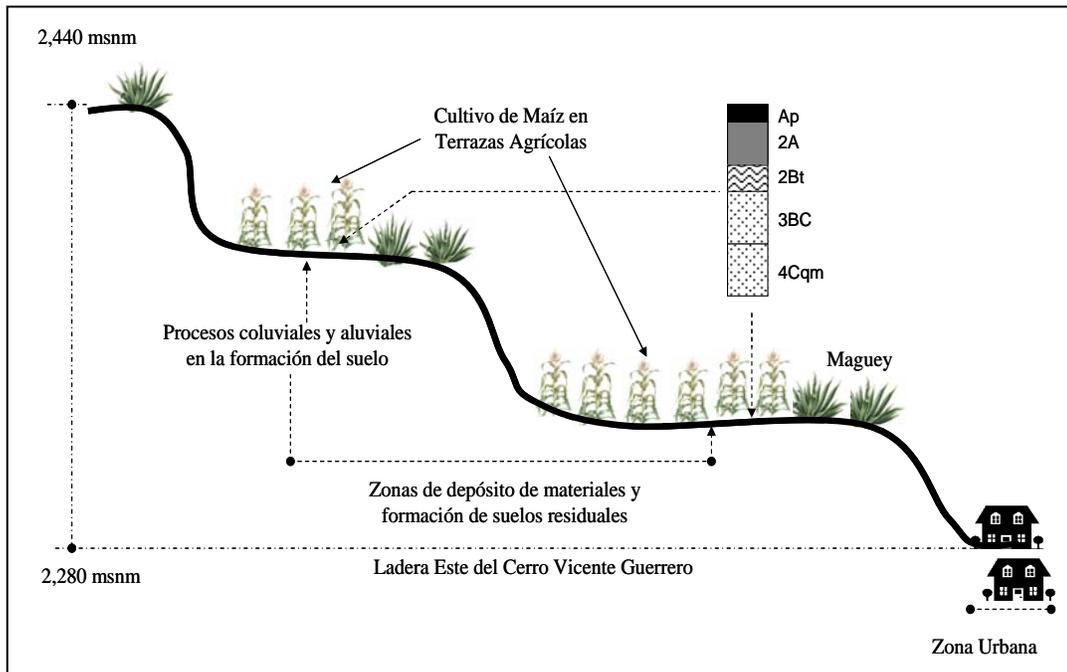


Figura 6.10. Suelos agrícolas en el cerro Vicente Guerrero

Las arenas gruesas y medias están presentes en el horizonte 3BC, mientras que los limos gruesos se encuentran distribuidos en los horizontes superficiales. Las arcillas se encuentran básicamente en los horizontes 2Bt y 3BC donde el porcentaje de éstas es mayor al doble con relación a los horizontes supra y subyacentes. Estas arcillas se han formado a partir del intemperismo de los minerales primarios existentes en los horizontes superficiales.

La fracción mineral está integrada en este suelo de la siguiente forma: las arenas gruesas y finas se encuentran en los horizontes Ap, 3BC y 4Cqm, mientras que en los horizontes 2Bt y 3BC hay una mayor presencia de arcillas (>40%); los limos gruesos están distribuidos en todos los horizontes de este suelo.

Tabla 6.4. Distribución granulométrica de las partículas del suelo del P-2

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
Ap	0-20	1.9	9.6	3.8	7.9	0.2	23.4	29.3	14.0	3.4	46.7	29.9
2A	20-35	1.8	4.1	2.0	3.2	1.9	13.0	25.8	18.2	24.9	68.9	18.1
2Bt	35-48	1.1	2.9	0.3	4.2	0.8	9.3	23.8	16.0	3.2	43.0	47.7
3BC	48-55	4.1	12.0	10.8	1.1	1.3	29.3	8.8	11.6	8.2	28.6	42.1
4Cqm	>55	4.7	18.1	3.6	9.0	13.9	49.3	20.3	5.5	1.9	27.7	23.0

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] Partículas menores que 0.002 mm

Las formas que dominan en la fracción mineral del suelo son angulares y muy angulares en más de un 50%, con una esfericidad muy baja, atribuible a procesos en parte a un incipiente proceso de formación *in situ*, ya que en cierta forma estos suelos presentan cierta estabilidad.

Es importante resaltar que a pesar de tratarse de áreas dedicadas al cultivo, gran parte de los materiales que conforman estos suelos muestran fragmentos de rocas con formas angulares y subangulares muy parecido a un coluvión formado por arrastre de lluvia y/o gravedad, ya que la esfericidad es muy baja como se muestra en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Esfericidad y redondez de las partículas del suelo del P-2

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-20	Ap	10	45	40	5		5	95
20-35	2A	10	90				15	85
35-48	2Bt	85	15				15	85
48-55	3BC	100						100
>55	4Cqm	---	---	---	---	---	---	---

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado.

6.2.3. Propiedades Químicas del Suelo. El pH tiende a la neutralidad en los horizontes Ap y 2A (Tabla 6.6) aunque se incrementa con la profundidad por las bases provenientes de los horizontes superiores y su acumulación en el 2Bt, 3BC y 4Cqm llegando a considerarse este último como alcalino, lo que concuerda con lo reportado por Acevedo y Flores (2000), para materiales similares.

El contenido de materia orgánica de acuerdo con Fassbender y Bornemisza (1987), es pobre en los horizontes Ap y 2A ya que se trata de una parcela agrícola, donde se incorporan los residuos de las cosechas anteriores y por comentarios de los campesinos del lugar no se fertiliza y tampoco se aplica abono orgánico.

Conforme aumenta la profundidad del suelo el contenido de materia orgánica es menor hasta considerarse muy pobre. De acuerdo con estos mismos autores, el contenido de carbono orgánico es muy pobre en todo el perfil. La capacidad de intercambio cationico es alta en los horizontes Ap y 2A, atribuible al contenido de materia orgánica y arcillas (>35%), incrementándose la CIC en los horizontes 2Bt y 3BC, al presentar estos una mayor cantidad de arcillas, más que de materia orgánica.

El PSB se encuentra dominado por el Mg^{2+} lo puede afectar la absorción de fosfatos por las plantas, debido a que puede quedar fijado en la fracción mineral del suelo, particularmente en los minerales de tipo amorfo como los alofanos. El incremento de pH disminuye la relación Al_2O_3/SiO_2 por la insolubilización de alumina, creándose las condiciones para la neoformación de minerales arcillosos del tipo 2:1 (Ford, 1984).

Tabla 6.6. Propiedades químicas del suelo del P-2

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)				PSB %
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Ap	0-20	7.2	2.82	1.63	22.50	6.0	16.0	0.6	0.6	100.00
2A	20-35	7.2	2.19	1.27	31.23	6.0	24.0	1.0	0.3	100.00
2Bt	35-48	7.8	0.62	0.36	49.00	8.0	25.0	1.1	0.3	70.00
3BC	48-55	7.8	0.81	0.47	45.00	6.0	26.0	1.1	0.3	74.00
4Cqm	>55	8.2	0.54	0.31	11.33	4.2	4.8	1.4	2.1	100.00

Hz = Horizonte; pH en agua; MO = Materia orgánica; C = Carbono orgánico; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB = Porcentaje de Saturación de Bases

6.3. PERFIL 4A. ZACATENCO.

6.3.1. Características Morfológicas. Este sitio se localiza aproximadamente a 25 metros de la mojonera que señala los límites del Estado de México con el Distrito Federal, en la parte alta del cerro Zacatenco. Geográficamente se encuentra en las siguientes coordenadas 19°30'35" de latitud Norte y los 99°06'52" de longitud Oeste a una altitud de 2,475 msnm. El sitio ha estado sujeto a diversas reforestaciones, por lo que predomina un bosque de *Pinus radiata* (Figura 6.11) con una altura promedio de 8 a 10 m.



Figura 6.11. Reforestación con *Pinus radiata*.

En este suelo se describieron 2 horizontes A y 2Cqm (Figura 6.12). El horizonte A presentó un espesor de 0 a 29 cm, su separación a la siguiente capa es abrupta de forma horizontal; se encontraba húmedo al momento de su descripción; la textura al tacto es franco-arcillosa; presenta una consistencia ligeramente dura en seco y muy friable en húmedo; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2)

y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (5YR 3/2), debido a la presencia de materiales húmicos provenientes de la descomposición de materia orgánica (Shoji *et al.*, 1993); es ligeramente adhesivo, plástico y pedregoso (alrededor del 1 al 5%), de tamaño pequeño (1 a 5 cm de diámetro) de forma angular y de origen andesítico; presenta una estructura en bloques subangulares, débilmente desarrollados; tiene una permeabilidad rápida; presenta abundantes raíces (de 100 a 500 por 3 dm²) de tamaño fino (< de 1 mm de diámetro), no se detectó la presencia de fauna edáfica; el drenaje del perfil se consideró como bien drenado; tiene una nula reacción al HCl, fuerte al H₂O₂ y al igual que fuerte reacción al alofano; en general el perfil presenta erosión hídrica en surcos en grado fuerte.

El horizonte 2Cqm se presenta a una profundidad mayor de 29 cm; tiene un color en seco pardo pálido (10YR 6/3) y en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) colores más claros que los presentes en los horizontes superficiales, debido a la alteración de materiales de origen dacítico y a la menor presencia de materiales de origen orgánico; la textura es franca; tiene una consistencia muy dura en seco y extremadamente firme en húmedo; no es adhesivo; ni plástico; se considera como un material de características dúricas; presenta pocas raíces (de 5 a 10 por dm²) delgadas (1 a 3 mm de diámetro) muy finas (<1 mm de diámetro).



Figura 6.12. Fotografía del P-4a Zacatenco

6.3.2. Propiedades Físicas del Suelo. El suelo es somero, al presentar una profundidad máxima de 29 cm al contacto con una capa de características dúricas 2Cqm. Su densidad aparente oscila entre 1.01 Mg/m³ del horizonte A hasta 1.87 Mg/m³ en el 2Cqm donde se presentan materiales menos intemperizados de origen dacítico y basáltico (Shoji *et al.*, 1993). En la Figura 6.13 la densidad real muestra un incremento con la profundidad del suelo de 1.59 Mg/m³ en el horizonte A, hasta 2.21 Mg/m³ en el 2Cqm, donde el avance del intemperismo es menor. La

porosidad fue de 45.08% en el horizonte A debido a que se trata del material más intemperizado y que además tiene el mayor contenido de materiales orgánicos, mientras que el horizonte subyacente la porosidad disminuyó en casi la mitad debido a que presenta una mayor compactación y endurecimiento. Es conveniente mencionar que en campo al horizonte 2Cqm se le atribuyeron características dúricas, mismas que se corroboraron posteriormente en laboratorio.

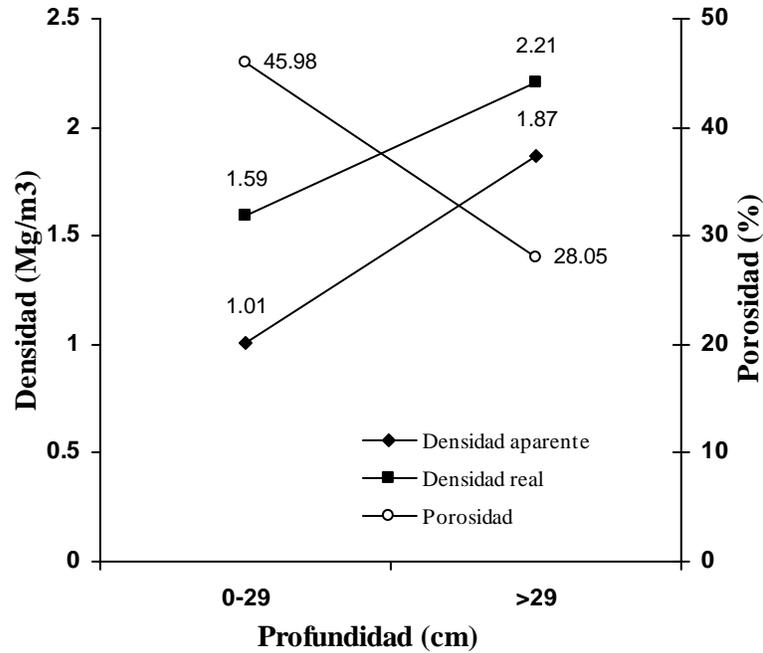


Figura 6.13. Densidad y porosidad del suelo del P-4a Zacatenco

En la Figura 6.14 puede observarse que el horizonte A presenta una textura franco-arcillosa, mientras que en el 2Cqm se consideró limosa. El 2Cqm presentó una disminución en arcillas, mientras que las partículas dominantes fueron los limos, que son a su vez materiales menos alterados y más parecidos al material parental que esta constituido por una toba y de donde se esta desarrollando este suelo. La mayor cantidad de arcillas se encuentran en el horizonte A, ya que este horizonte presenta un mayor grado de alteración por estar expuesto a los agentes climáticos que se presentan en la zona.

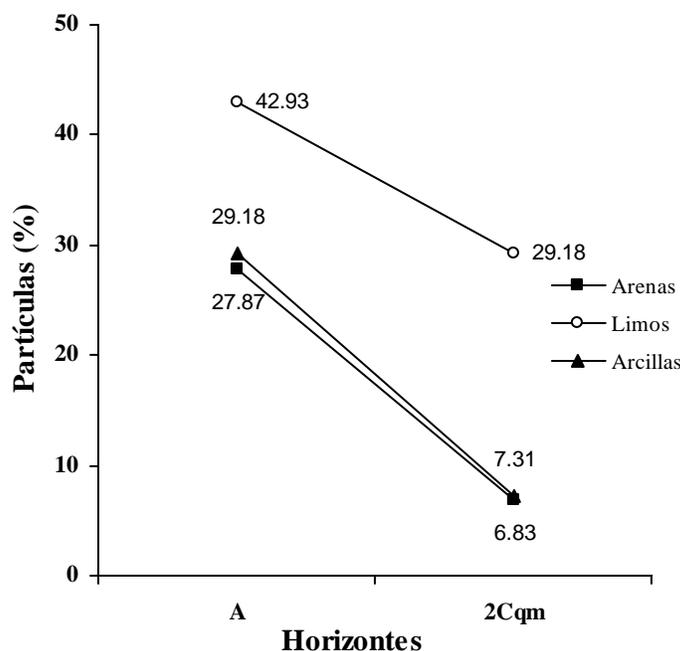


Figura 6.14. Distribución de las partículas del suelo del P-4a Zacatenco

Predominan los limos, arenas gruesas, medias y finas en la capa 2Cqm, mientras que los limos gruesos y medios están presentes en el horizonte A, tal como se muestra en la Tabla 6.7. La cantidad de arcillas también se considera importante, siendo de casi el 30% en el horizonte A y del 23% en el 2Cqm, por el menor intemperismo a que está sujeto este último.

Tabla 6.7. Distribución granulométrica de las partículas del suelo del P-4a

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A	0-37	1.3	8.3	2.7	8.8	6.8	27.9	23.7	10.2	9.0	42.9	29.2
2Cqm	>37	2.7	14.2	2.3	8.6	10.2	38.0	20.0	12.6	6.4	39.0	23.0

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] Partículas menores que 0.002 mm

Es conveniente mencionar que este cerro es un domo volcánico que se caracteriza por el afloramiento de rocas de tipo andesita-basáltica correspondiente a un flujo lávico y que en su parte más expuesta que es la cima están se encuentran en forma de lajas. A partir de los 2,460 y hasta los 2,300 msnm este domo se encuentra casi en su mayor parte recubierto por materiales piroclásticos que se

consolidaron al momento de su depósito lo que dió origen a los horizontes 2Cqm del suelo estudiado.

Otra característica adicional es que se encuentra reforestado, con *Pinus radiata*, el cual solamente ha prosperado donde existen materiales piroclásticos y donde la cobertura vegetal está compuesta por gramíneas, es conveniente mencionar que esta especie no es apta para la Sierra de Guadalupe, dadas las condiciones climáticas que prevalen en ella y sobre todo porque el *P. radiata* es una especie de clima mediterráneo se caracteriza por presentar lluvias en invierno. Es común observar que estas coníferas tienen una altura máxima de 8 metros y un fuste muy delgado, lo que sugiere que por las condiciones edafoclimáticas imperantes en la Sierra no se han desarrollado adecuadamente. Estos suelos tienen una secuencia de formación A/R o A/C dependiendo si se encuentran sobre una colada de lava o sobre materiales piroclásticos (Figura 6.15).

También es importante indicar que la parte correspondiente al Estado de México casi en su totalidad se encuentra urbanizada y únicamente se conserva como área forestal la que pertenece al Distrito Federal. Los suelos son someros o en su caso que pueden presentar una mayor profundidad como el suelo estudiado pero que presenta capas endurecidas lo que dificulta la selección de especies a considerar para su plantación.

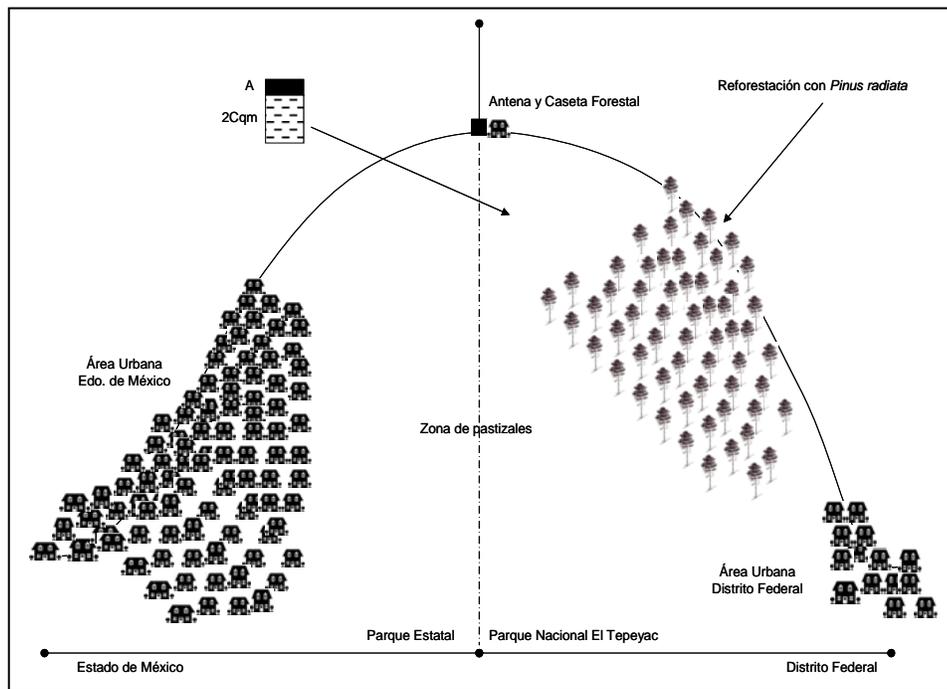


Figura 6.15. Exposición de la ladera Oeste del cerro Zacatenco

Las formas que dominan en la fracción mineral son angulares en más de 50%, subangulares en 35% y muy angulares en 15%; con una esfericidad muy baja en ambos horizontes. Esto atribuible a procesos de formación *coluvial* donde el arrastre de las partículas del suelo, aunque no ha sido escaso, las distancias que han recorrido no son muy grandes. Sin embargo, en el horizonte A, el 35% de sus partículas son subredondeadas posiblemente atribuible a materiales que se deslizaron de las partes más altas, aunque la mayor parte del tiempo estos suelos están cubiertos por pastizales que disminuyen el efecto de arrastre tanto por lluvia como gravitacionales (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Esfericidad y redondez de las partículas del suelo del P-4a

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-37	A	15	50	35			20	80
> 37	2Cqm	35	60	5			20	80

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado.

6.3.3. Propiedades Químicas del Suelo. El pH se considera neutro en ambos horizontes (Tabla 6.9) aunque es ligeramente más básico en el 2Cqm, por los cationes provenientes del horizonte superior. El contenido de materia orgánica de acuerdo con Vázquez (1997), es pobre en el horizonte A, y muy pobre en el 2Cqm. De acuerdo con estos mismos autores el contenido de carbono orgánico es muy pobre en todo el suelo. La capacidad de intercambio cationico es alta en ambos horizontes, atribuible al contenido de arcillas (>20%). La saturación de bases esta dominada por la presencia de los iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} lo cual se relaciona con el pH y la escasa precipitación que se presenta en la zona.

Tabla 6.9. Propiedades químicas del del P-4a Zacatenco

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)				PSB %
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-29	6.6	2.37	1.37	21.60	20.3	9.1	1.9	1.2	100
2Cqm	>29	7.2	0.73	0.42	27.87	21.7	15.4	2.2	1.5	100

Hz = Horizonte; pH en agua; MO = Materia orgánica; C = Carbono orgánico; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB = Porcentaje de Saturación de Bases

6.4. PERFIL 6. EL CHIQUIHUIITE.

6.4.1. Características Morfológicas. Este sitio se localiza aproximadamente a 35 m de las instalaciones de TV-40, con dirección al Sur, de acuerdo con las siguientes coordenadas 19°31'40" de latitud Norte y los 99°07'51" de longitud Oeste, a una altitud de 2,540 msnm, el relieve del lugar es convexo, con una pendiente promedio del 35%. El material parental son andesitas, las cuales se presentan con diferentes afloramientos, hay pedregosidad superficial con rocas en promedio de 5 a 10 cm de diámetro. La vegetación característica del sitio son los *Schinus molle* L., *Buddleia cordata* H.B.K. *Opuntia tomentosa* CD, *Opuntia imbricata* (Haw.) DC; *Yucca filifera* Chabaud y *Agave atrovirens* Kart.



Figura 6.16. Apertura del P-6, al fondo las instalaciones de TV-40

En este sitio el perfil presentó 3 horizontes (Figura 6.17), el primero de ellos con una profundidad de 0 a 10 cm se determinó como A, el cual mostró una transición gradual de forma horizontal con respecto a la siguiente capa; la cual se encontraba ligeramente húmeda; su textura se determinó como franca; su consistencia en seco, es suelta y en húmedo, friable; es ligeramente adhesivo y plástico; el color en seco es pardo oscuro (10YR 4/3) y en húmedo pardo (10YR 5/3); su estructura es en bloques subangulares, débilmente desarrollados; presenta muy pocas piedras con tamaño menor de 5 cm de diámetro, subangulares de andesita; la permeabilidad es rápida; presenta poros frecuentes (50 a 200/dm²)

muy finos (1 a 2 mm de diámetro) de forma vesicular; presenta erosión hídrica, con una grado de intensidad fuerte.

El horizonte AC1, se presenta a partir de los 10 y hasta los 59 cm de profundidad, mostró una transición gradual de forma horizontal con respecto a la siguiente capa; se encontraba ligeramente húmedo; su textura se determinó como franco-arcillosa; su consistencia en seco y en húmedo fue suelta; el color en seco es pardo (10YR 5/3), y en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR 3/4); es extremadamente pedregoso, con materiales de todos tamaños (de 0.5 cm hasta >20 cm de diámetro) angulares y subangulares de origen andesítico; la permeabilidad es rápida; presenta poros frecuentes (50 a 200/dm²) muy finos (1 a 2 mm de diámetro) de forma vesicular; presenta erosión hídrica, con una grado de intensidad fuerte.

A partir de los 59 y hasta los 70 cm de profundidad el horizonte AC2, presentó una transición abrupta de forma horizontal con respecto al lecho rocoso; se encontraba ligeramente húmedo; su textura es franco-limosa; su consistencia en seco, es ligeramente dura y en húmedo friable; el color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo pardo oscuro (7.5YR 3/2); su estructura es en bloques subangulares, moderadamente desarrollados; muy pedregoso, con materiales de todos tamaños (de 0.5 cm hasta >20 cm de diámetro) angulares de origen andesítico; la permeabilidad es rápida; presenta poros frecuentes (50 a 200/dm²) muy finos (1 a 2 mm de

diámetro) de forma vesicular; presenta erosión hídrica, con una grado de intensidad fuerte. El lecho rocoso se encuentra a partir de los 70 cm de profundidad y está constituido básicamente por andesitas.

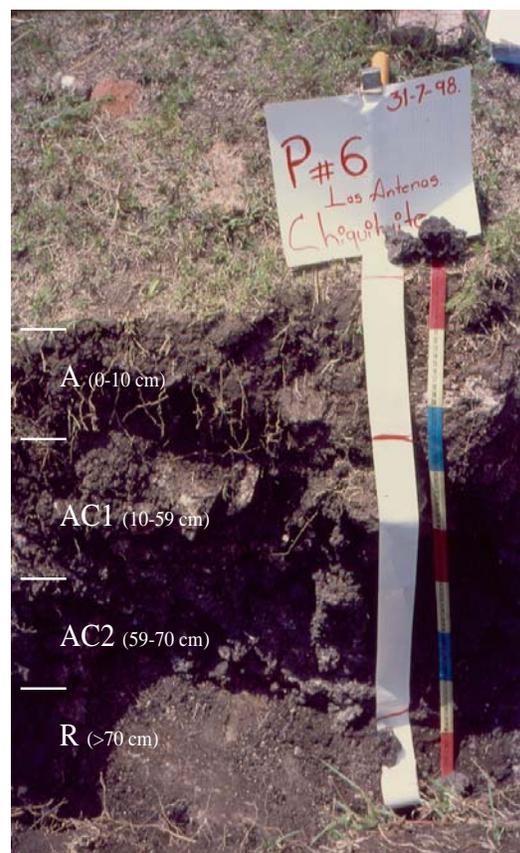


Figura 6.17. Fotografía del P-6 El Chiquihuite

6.4.2. Propiedades Físicas del Suelo. El suelo se considera moderadamente profundo, al presentar una profundidad máxima de 70 cm al contacto con el lecho rocoso (R) el cual está formado por andesitas poco alteradas. La densidad aparente oscila entre 0.96 Mg/m³ en el horizonte A por la presencia de materia orgánica, la cual se incrementa con la profundidad y la disminución de materiales orgánicos llegando a ser de 1.36 Mg/m³ en el horizonte AC2. La densidad real presenta un comportamiento similar, tal como se muestra en la Figura 6.18 siendo menor en el horizonte A e incrementándose esta hasta en los horizontes menos alterados por la temperatura y la humedad. El porcentaje de porosidad es mayor en consecuencia donde se presenta a su vez la mayor cantidad de materia orgánica y disminuye a valores cercanos al 30% en el horizonte AC2.

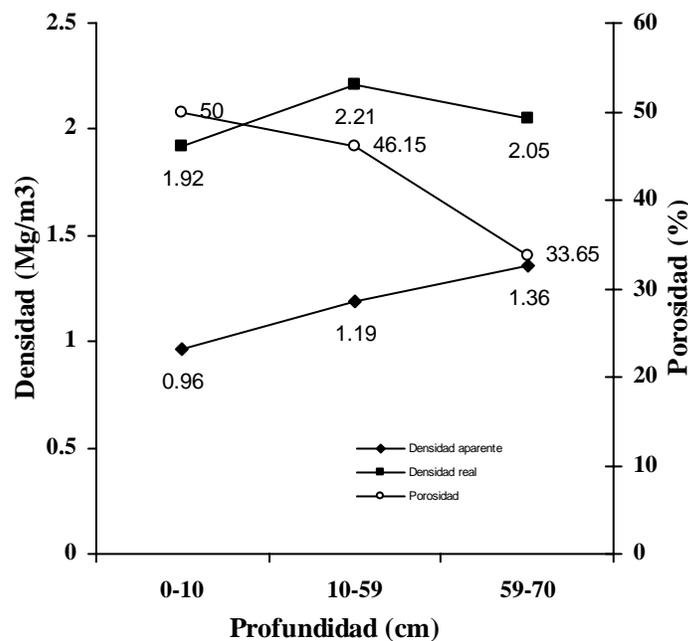


Figura 6.18. Densidad y porosidad del suelo del P-6 El Chiquihuite

En la Figura 6.19 se presentan los resultados del comportamiento de las partículas minerales del suelo, donde se puede observar que el horizonte A tiene una textura franca, mientras que el AC1 es franco-arcillosa y para el AC2 franco-limoso. La disminución de arcillas es más fuerte en el horizonte AC2, por lo que se estima que la presencia de éstas, es debido al acarreo propiciado por la lluvia y la gravedad, así como por influencia en los materiales de los horizontes suprayacentes al AC2, donde por lo mismo el AC1 es ligeramente más arcilloso que los horizontes supra y subyacentes. La mayor cantidad de arcillas se encuentran en el horizonte

A, ya que este horizonte presenta un mayor grado de alteración por estar expuesto a los agentes climáticos que se presentan en la zona.

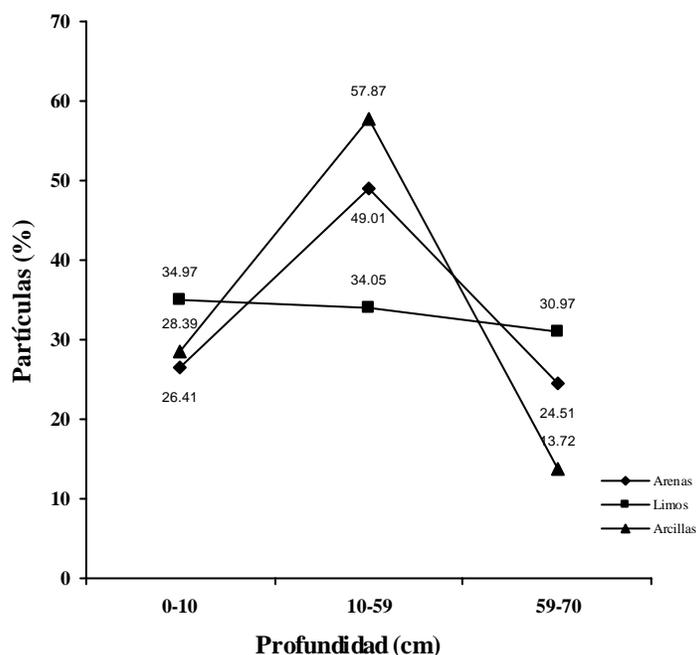


Figura 6.19. Distribución de las partículas del P-6 El Chiquihuite

En el horizonte A predominan los limos particularmente los gruesos y dentro de las arenas las de tamaño medio, presentan además un contenido de arcillas del 24%. En los horizontes AC1 y AC2 dominan los limos, aunque en el AC1 la cantidad de arcillas excede en casi el doble a la del AC1 y supera en un 6% a la del horizonte A (Tabla 6.10). En estos suelos predominan los procesos de formación coluvial por el arrastre de materiales provenientes de las partes más altas.

Tabla 6.10. Distribución granulométrica de las partículas del P-6

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A	0-10	2.84	4.83	10.79	5.26	2.69	26.41	25.00	11.51	12.50	49.01	24.51
AC1	10-59	12.51	5.33	7.69	4.72	4.72	34.97	15.28	13.33	5.44	34.05	30.97
AC2	59-70	8.66	4.81	4.57	7.46	2.89	28.39	29.72	23.22	4.93	57.87	13.72
R	>70	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] Partículas menores que 0.002 mm

La Figura 6.20 ilustra la ladera sur del cerro el Chiquihuite, la cual se caracteriza por fuertes pendientes ($>30\%$) con deslaves de rocas y suelos, debido al fracturamiento del material parental, el cual está conformado por dacitas y andesitas. Los derrumbes son un problema de alto riesgo para la zona urbana, la cual se encuentra densamente poblada y que limita en su conjunto hasta la cota de los 2,500 smnm.

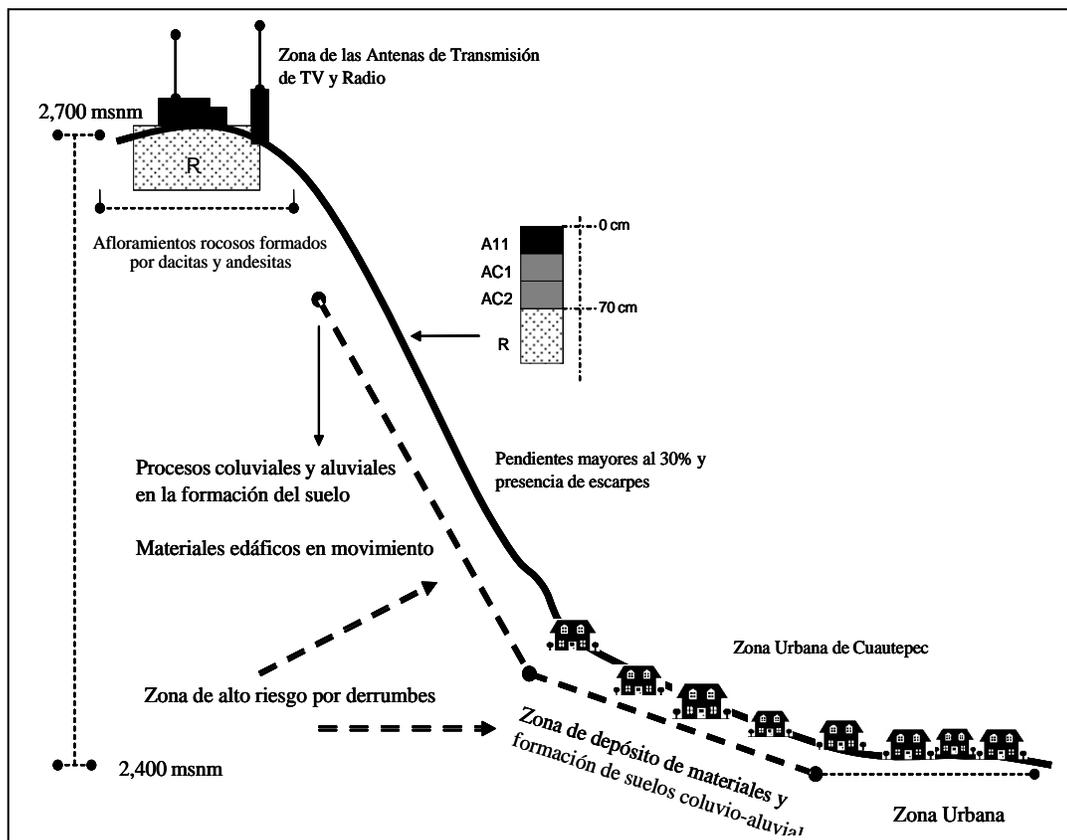


Figura 6.20. Ladera Sur del cerro El Chiquihuite

Por otra parte, las formas que dominan en la fracción mineral son muy angulares en los tres horizontes, aunque dominan en el horizonte A, la esfericidad es muy baja, misma que se incrementa con la profundidad hasta llegar a ser de 10 a 30% posiblemente a que en este suelo predominan los procesos coluviales que han favorecido el arrastre de materiales principalmente de los horizontes AC1 y AC2, mismo que se puede verificar en campo ya que el sitio estudiado presenta fragmentos de rocas de todos tamaños sin un orden en particular, igualmente la profundidad de los suelos es variable, aunque dominan los suelos con <50 cm de espesor y son comunes los afloramientos rocosos (Tabla 6.11).

Por otra parte se considera que al ser dacitas y andesitas el material de origen y presentar un fracturamiento concoidal a favorecido la formación de lajas, las cuales por efecto de la gravedad se deslizan a las partes más bajas provenientes de las más altas, por lo que es común encontrar en estos suelos fragmentos angulosos que se han depositado y formado parte sobre todo de los horizontes AC1 y AC2.

Tabla 6.11. Esfericidad y redondez de las partículas del suelo del P-6

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-10	A11	90	10				10	90
10-59	AC1	100					40	60
59-70	AC2	90	10				30	70
>70	R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado

6.4.3. Propiedades Químicas del Suelo. El pH se considera ligeramente ácido en el horizonte A y neutro en el AC1 y AC2 (Tabla 6.12) llegando a ser ligeramente básico en el 2Cqm, por el aporte de los cationes provenientes de los lavados de los horizontes superiores y que al no ser considerable la cantidad de lluvia favorece su acumulación en las capas inferiores del suelo.

El contenido de materia orgánica de acuerdo con Vázquez (1997), es medio en el horizonte A, y pobre en el AC1 y AC2 atribuible esta cantidad a la presencia de la vegetación que se encuentra en el lugar y donde en particular en este sitio predominan las gramíneas como *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Bouteloua filiformis* (Fourr) Griffiths., *Bouteloua procumbens* Lag., *Setaria geniculata* (Lam.) y *Avena fatua* L. ó avena loca. Además de que con la profundidad la textura es más gruesa y la aireación es mayor, favoreciendo que el proceso de oxidación de la materia orgánica sea más rápido (Navarro y Navarro, 2000).

La capacidad de intercambio cationico es alta en todos los horizontes, atribuible más bien al contenido de arcillas (>20%) que de materia orgánica. Al igual que en los demás suelos de la Sierra, el complejo de cambio se encuentra dominado por iones de Ca²⁺ lo cual se relaciona con el pH y la escasa precipitación que se presenta en la zona, lo que ha favorecido la dominancia de este ion.

Por lo que es común encontrar costras de color blanco sobre el lecho rocoso, que al contacto con HCl efervescen denotando la presencia de carbonatos, mismos que se han acumulado al no ser lixiviados de los horizontes del suelo por la escasa precipitación y elevada evapotranspiración.

Tabla 6.12. Propiedades químicas del del P-6 El Chiquihuite

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)				PSB %
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-10	6.3	4.62	2.67	25.90	14.0	5.6	0.6	1.9	85
AC1	10-59	7.2	2.41	1.39	21.29	8.4	7.0	0.8	1.3	82
AC2	59-70	7.3	2.27	1.31	21.00	11.2	10.5	0.8	0.5	100
R	>70	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Hz = Horizonte; pH en agua; MO = Materia orgánica; C = Carbono orgánico; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB = Porcentaje de Saturación de Bases

6.5. PERFIL 7. EL PANAL.

6.5.1. Características Morfológicas. Este sitio se localiza en el paraje El Panal, aproximadamente a 400 m. del acceso por Chalma de Guadalupe, sobre el camino de terracería que va de Puerto Metate a Peña Gorda. Geográficamente se localiza en las siguientes coordenadas 19°34'10" de latitud Norte y 99°08'37" de longitud Oeste a una altitud de 2,500 msnm, el relieve del sitio es convexo, con una pendiente del 25%.

La vegetación que se encuentra en este sitio es producto de reforestaciones, pero en general en el estrato arbóreo existen *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Ende., cedro blanco, *Eucalyptus* spp. y *Schinus molle* L., en el estrato arbustivo se encuentran *Quercus microphylla*, *Prosopis juliflora* y *Mimosa biuncifera* Benth. o uña de gato. Entre las gramíneas *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Bouteloua filiformis* (Fourn) Griffiths., *B. procumbens* Lag., *Setaria geniculata* (Lam.) y *Avena fatua* L. avena loca, entre otras (Figura 6.21).

Es conveniente destacar que se plantó *Vetiveria zizanioides* o pasto vetiver, con fines de conservación de suelo. También se encuentran algunos ejemplares de *Agave atrovirens* Kart., así como diversas especies de nopales *Opuntia tomentosa* CD., *O. imbricata* (Haw.) DC., *O. streptacantha* Lemaire. y *Cylindropuntia imbricata* (Haworth).



Figura 6.21. Panorámica del paraje El Panal

El material parental está formado por andesitas y tobas alteradas. La cara que se describió del suelo tiene una exposición al poniente. El suelo es pedregoso y los procesos de formación son *coluviales*. A continuación se presenta la descripción morfológica hecha en campo de cada uno de los horizontes que integran este perfil (Figura 6.22).

El horizonte A de 0 a 18 cm de profundidad, es bastante pedregoso, con piedras de 5 a 30 cm de diámetro; la separación a la siguiente capa es abrupta, debido a que el cambio se realiza a una distancia menor de 2 cm. y su forma es horizontal; esta capa en el momento de su descripción se encontraba seca; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (2.5Y 4/2) y en húmedo pardo oscuro (7.5Y 3/2); la consistencia en seco es dura; ligeramente adhesivo; no es plástico; presenta pocas piedras (alrededor del 1%) de tamaño pequeño (1 a 5 cm de diámetro), forma subangular de clase andesítica; su estructura es en bloques subangulares, moderadamente desarrollados; con numerosos poros (>200 por dm^2) de tamaño fino (1 a 2 mm de diámetro), encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; su permeabilidad es muy rápida; tiene abundantes raíces (100 a 500 por cada 3 dm^2), de tamaño fino (<1 mm de diámetro), no se detectó la presencia de fauna edáfica. La erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado fuerte

El Horizonte AC de 18 a 50 cm de profundidad, su transición con la siguiente capa es gradual de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento

de su descripción; su color es pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; presenta una consistencia dura; no es adhesivo ni plástico; su estructura es en bloques subangulares, débilmente desarrollados; las raíces son comunes (10 a 100 por 3 dm²), de tamaño fino (<1 mm de diámetro) y medio (3 a 10 mm de diámetro); es un horizonte bien drenado y no se detectó presencia de fauna edáfica.

Por último el horizonte C se considera a partir de los 50 cm de profundidad, el cual se encontraba seco; no es adhesivo; no es plástico; con presencia de óxidos de hierro y manganeso; libre de pedregosidad; sin estructura; presenta una permeabilidad muy rápida; las raíces son muy raras (< 1 por cada 3 dm²), de tamaño delgado (1 a 3 mm de diámetro). En general este suelo se encuentra bien drenado.

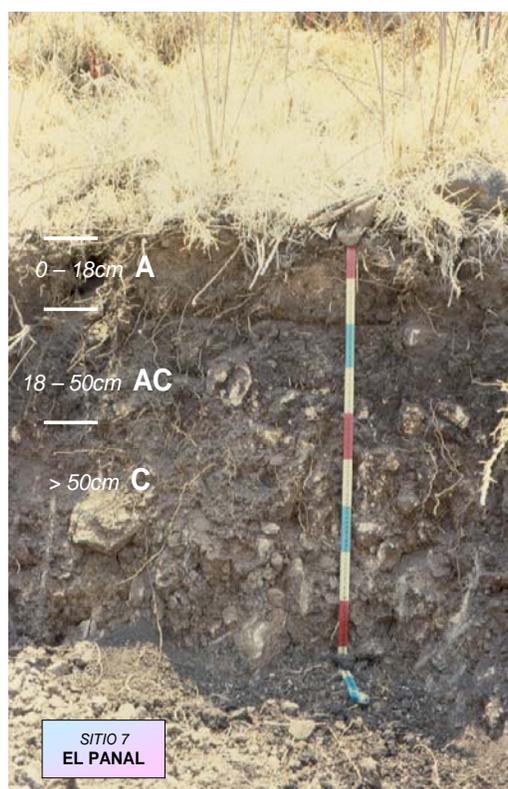


Figura 6.22. Perfil P-7 El Panal

6.5.2. Propiedades Físicas del Suelo. El suelo es moderadamente profundo, al presentar una profundidad máxima de 50 cm al contacto con materiales más duros típicos de una toba y que localmente son conocidos como tepetates. La densidad aparente es baja (< de 1 Mg/m³) en el horizonte A debido a

la presencia de materia orgánica y de componentes no cristalinos (Besoain *et al.*, 2000). La densidad aparente se incrementa con la profundidad del suelo, hasta alcanzar valores de 1.15 Mg/m³ donde la presencia de materia orgánica es menor. La densidad real presenta un comportamiento similar, tal como se muestra en la Figura 6.23 siendo menor en el horizonte A e incrementándose ligeramente con la profundidad donde se encuentran los horizontes menos alterados por la temperatura y la humedad, aunque está presenta valores mayores a 1.66 Mg/m³. El porcentaje de porosidad es mayor en consecuencia donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica y por lo tanto disminuye a valores cercanos al 30% en el horizonte C donde esta es menor y se presentan materiales menos alterados.

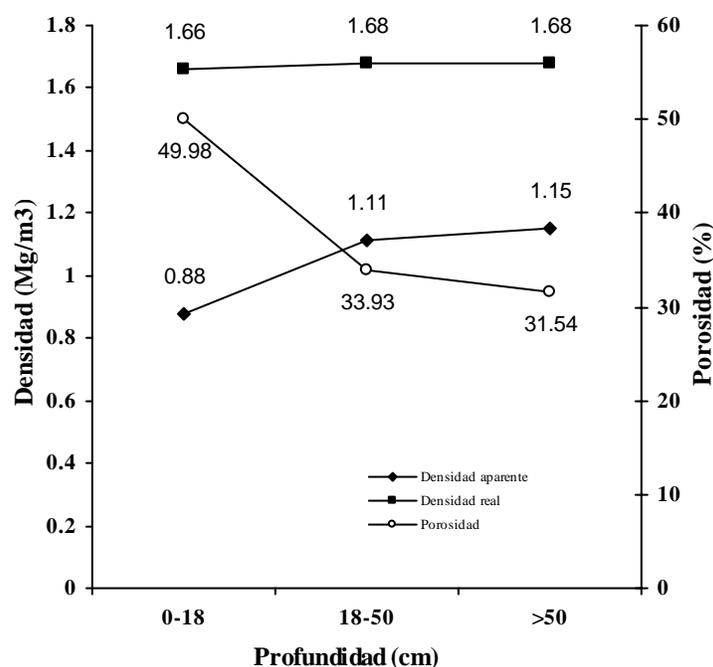


Figura 6.23. Densidad y porosidad del suelo del P-7 El Panal

La Figura 6.24 muestra el comportamiento de las partículas minerales del suelo, donde se puede observar que existe un incremento de arcillas conforme es mayor la profundidad y una disminución en arenas y limos. Es conveniente mencionar que Rodríguez *et al.*, (1999) y Vela y Flores, (2004a) reportaron que gran parte de este tipo de materiales tobáceos son formadores de arcillas, las que pueden derivarse de procesos *in situ* sobre la superficie más expuesta de estos materiales, por lo que se considera influyen en el incremento de estos en el horizonte C.

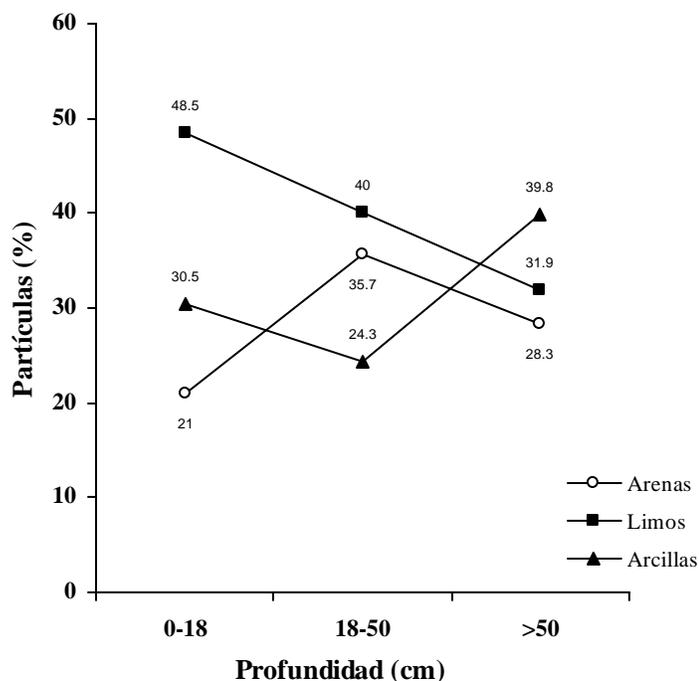


Figura 6.24. Distribución de las partículas del suelo del P-7 El Panal

En el horizonte A predominan los limos gruesos y las arenas finas y gruesas (Tabla 6.13). El porcentaje de arcillas es ligeramente superior al 30% las que se considera provienen de los suelos de las partes más altas y que debido al arrastre provocado por la lluvia y la gravedad han favorecido su depósito en las áreas de menor altitud y de menor pendiente. En el horizonte AC dominan los limos y arenas gruesas, aunque se presenta una ligera disminución de la fracción arcillosa en comparación con el horizonte A. Sin embargo, se presenta un incremento de esta fracción en la capa C la que se atribuye en parte a procesos de formación *in situ* donde este material al intemperizarse ha formado arcillas mismas que han rellenado grietas y poros, tal y como lo reporta Rodríguez *et al.*, (1999).

Tabla 6.13. Distribución granulométrica de las partículas del suelo del P-7 El Panal

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A	0-18	1.2	8.4	0.1	9.1	2.2	21.0	33.2	8.4	6.9	48.5	30.5
AC	18-50	2.7	17.4	3.8	2.7	9.1	35.7	29.4	8.4	2.2	40.0	24.3
C	>50	1.6	15.0	3.0	2.2	6.5	28.3	24.3	7.0	0.6	31.9	39.8

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] partículas menores que 0.002 mm

Las formas que dominan en la fracción mineral, son muy angulares y con una esfericidad muy baja, misma que se incrementa con la profundidad. Se considera que este suelo es de formación *coluvial*, ya que por su posición en el paisaje, ha recibido aportes de materiales de tamaño fino provenientes de las áreas que se encuentran más elevadas debido al arrastre provocado por la lluvia y la gravedad (Tabla 6.14).

Tabla 6.14. Esfericidad y redondez de las partículas del suelo del P-7 El Panal

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-18	A	90	10				10	90
18-50	AC	100					40	60
>50	C	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado

6.5.3. Propiedades Químicas del Suelo. El pH se considera ligeramente ácido en el horizonte A y se incrementan ligeramente su alcalinidad en los horizontes AC y C por los cationes provenientes del lavado de los horizontes superiores. El contenido de materia orgánica de acuerdo con Vázquez (1997), es pobre en el horizonte A, y disminuye su contenido notablemente en el AC y C. Es conveniente mencionar que la materia orgánica proviene de las descomposición de la vegetación que se encuentra en el lugar, en el cual predominan las *Opuntia* sp. pero su aporte es escaso.

La capacidad de intercambio catiónico es alta en el horizonte superficial, pero se incrementa con la profundidad hasta muy alta en el horizonte C, atribuible más que a la presencia de materia orgánica al contenido y tipo de arcillas y posiblemente a materiales amorfos (Tabla 6.15). Al igual que en los demás suelos de la Sierra, el complejo de cambio se encuentra dominado por iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} lo cual se relaciona con el pH y la escasa precipitación que se presenta en la zona, lo que favorece la acumulación de estos iones.

Tabla 6.15. Propiedades químicas del P-7 El Panal

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)				PSB %
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-18	6.5	4.14	2.30	30.06	5.0	17.0	0.86	0.61	78.07
AC	18-50	7.2	0.56	0.32	47.17	5.0	22.0	0.69	0.35	59.44
C	>50	7.4	0.25	0.14	48.05	8.0	15.0	0.65	0.33	49.90

Hz = Horizonte; pH en agua; MO = Materia orgánica; C = Carbono orgánico; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB = Porcentaje de Saturación de Bases

6.6. PERFIL 8. EL TENAYO

6.6.1. Características Morfológicas. Se encuentra a 50 m de la capilla en la ladera norte del cerro en los 19°33'25" de latitud N y 99°09'36" de longitud O. La pendiente es de 25% y el material parental está constituido principalmente por andesitas (Figura 6.25). La vegetación que se encuentra en este sitio está constituida por *Schinus molle* L., *Opuntia tomentosa* CD y *Opuntia imbricata* (Haw.) DC. Así como diversas gramíneas entre las que dominan el *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Bouteloua filiformis* (Fourn), *B. glandulosa* Swallen., *Setaria geniculata* (Lam.) y *Avena fatua* L.



Figura 6.25. Fotografía del P-8 El Tenayo

La descripción morfológica del P-8 El Tenayo, indica que el horizonte A, presenta una transición abrupta de forma horizontal con el lecho rocoso; se encontraba húmedo; de consistencia blanda en seco y friable en húmedo;

ligeramente adhesivo y plástico; el color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y negro (10YR 2/1) en húmedo; su estructura es en bloques subangulares, debilmente desarrollados; la textura es franco-arcilloso; las raíces en este horizonte, son comunes de tamaño fino y delgadas. A partir de los 28 cm de profundidad, se encuentra el lecho rocoso (R) que esta compuesto por rocas de tipo andesitas.

6.6.2. Propiedades Físicas del Suelo. Es un suelo somero y únicamente se encuentra un horizonte A con un espesor de 28 cm al contacto lítico, el cual está formado por andesitas poco alteradas. La densidad aparente es de 0.95 Mg/m³ en el horizonte A atribuible a la cantidad de materia orgánica; la cual en su mayoría está compuesta por gramíneas como *Cynodon dactylon* (L.) Pers. y *Bouteloua filiformis* (Fourn) entre otras. La porosidad es de 57.01% la que se considera aceptable y que en gran parte se debe a que las raíces son abundantes y de tipo difuso, lo que propicia la formación de agregados y favorece la aireación y el drenaje del suelo.

En cuanto a la distribución de las partículas del suelo, estas se encuentran en proporciones similares por lo que presenta una clasificación textural migajón-arcillosa (Tabla 6.16). Este cerro al igual que la mayoría de los que se encuentran en la periferia de la Sierra, está considerado como un domo volcánico, por lo que los suelos en su mayoría no se han originado a partir del material parental, sino que son producto de eventos volcanicos que se presentaron en la sierra en diferentes ocasiones, siendo probable su formación a partir de cenizas volcánicas. La vegetación está compuesta principalmente por gramíneas, por lo que le confieren al suelo colores muy oscuros con un valor de 4 ó menos dependiendo si el suelo se encuentra seco o húmedo (Shoji *et al.*, 1993).

Tabla 6.16. Propiedades físicas del suelo del P-8 El Tenayo

Hz	Prof (cm)	D.a. --- Mg/m ³ ---	D.r.	Porosidad %	Partículas (%)			Clasificación Textural
					Arenas	Limos	Arcillas	
A	0-28	0.95	2.21	57.01	32.94	34.43	32.60	Franco-arcillosa
2R	>28	---	---	---	---	---	---	---

Hz=Horizonte; Prof=Profundidad; D.a= Densidad aparente; D.r=Densidad real

En el horizonte A predominan las arenas y limos de tamaño grueso, mientras que las fracciones menores de 0.002 mm de diámetro se estiman ligeramente mayor al 32% (Tabla 6.17). Lo anterior sugiere, que las partículas se han originado

a partir de los procesos de alteración que sufren los materiales piroclásticos que cubrieron durante alguna época el cerro y que al alterarse por los factores climáticos, han propiciado una incipiente formación de arcillas en la capa más superficial de la roca madre, combinado este proceso con el arrastre de materiales provenientes de las partes más altas.

Tabla 6.17. Granulometría de las partículas del suelo del P-8 El Tenayo

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A	0-28	2.42	11.29	5.07	9.67	4.49	32.94	16.70	10.94	6.79	34.43	32.60
2R	>28	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] Partículas menores que 0.002 mm

En la Figura 6.26 se ilustra el cerro El Tenayo y el sitio de muestreo de suelo. Esta elevación volcánica se encuentra completamente rodeada por la “mancha urbana” y el acceso a la zona forestal no es muy sencillo debido a que hay que sortear diferentes callejones y la seguridad no es muy aceptable.

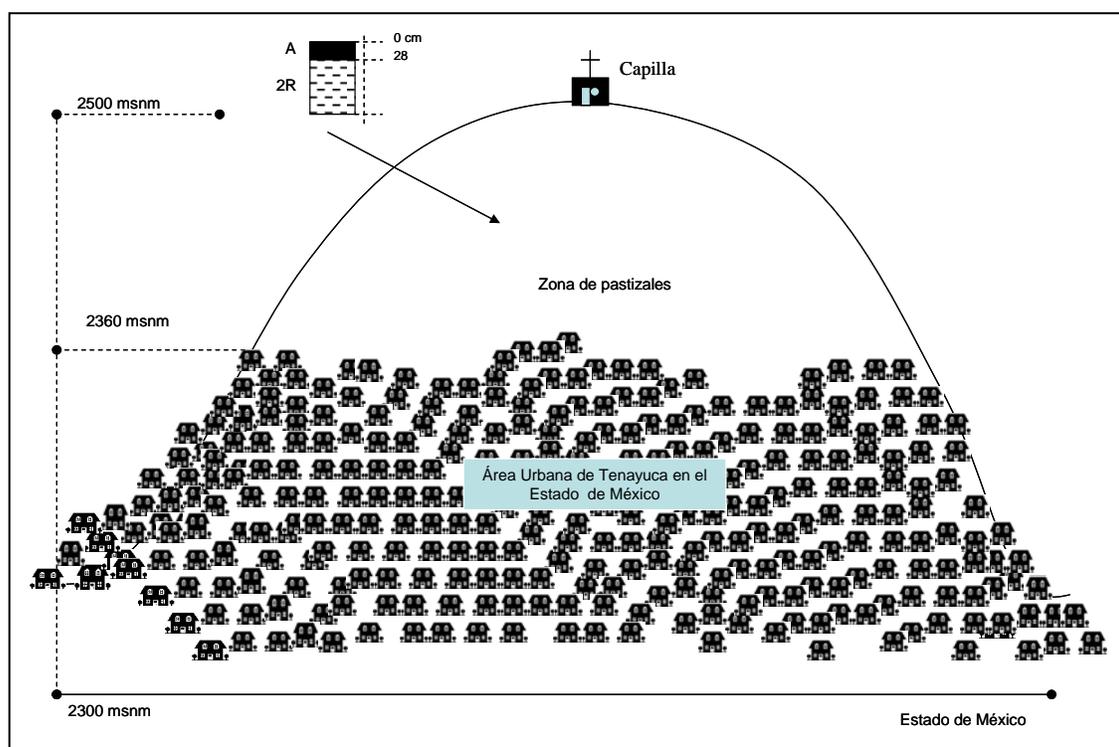


Figura 6.26. Ubicación del sitio de muestreo en el P-8 El Tenayo

La mayor parte de los suelos del cerro El Tenayo son someros (<30 cm de profundidad) y existen varios afloramientos rocosos compuestos por andesitas principalmente. Las formas que dominan en la fracción mineral son muy angulares, con una esfericidad muy baja. Por lo que se considera que este suelo es de formación *coluvial* (Tabla 6.18).

Lamentablemente a partir de los 2,200 y hasta los 2,350 msnm el cerro El Tenayo, se encuentra completamente urbanizado y a partir de esta última cota se inicia la zona considerada como Parque Estatal, la cual concluye en su punto más alto a los 2,500 msnm en donde se encuentra una capilla.

Tabla 6.18. Esfericidad y redondez de las partículas del suelo del P-8 El Tenayo

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-28	A	50	50				30	70
>28	2R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado.

6.6.3. Propiedades Químicas del Suelo. El pH es ligeramente ácido en el horizonte A favorecido esto por el contenido de materia orgánica que aporta la vegetación del lugar y que de acuerdo con Vázquez (1997), es pobre ya que el cerro El Tenayo al presentar la forma de un domo (Figura 6.26) favorece que se pierdan en gran cantidad nutrimentos orgánicos y minerales con la escorrentía superficial ya que dominan las laderas con pendientes mayores al 30% y el material parental está formado por rocas de tipo andesítico.

A pesar de que este suelo presenta un espesor mayor de 20 cm y que en su mayoría esta compuesto por materiales orgánicos el proceso de mineralización es muy lento, ya que para la Sierra el índice de agresividad climática es de 87.5 el cual se considera no es muy intenso. A su vez el contenido de arcillas es bajo y son de tipo 1:1 posiblemente haloisita ya que se presenta una CIC muy baja (Tabla 6.19). Sin embargo, al igual que los demás suelos de la Sierra, el complejo de cambio se encuentra dominado por iones de Ca²⁺ lo cual se relaciona con el pH y el material de origen, así como en la escasa precipitación que se presenta en la zona.

Tabla 6.19. Propiedades químicas del suelo del P-8 El Tenayo

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)				PSB %
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-28	6.7	3.35	1.94	11.76	30.8	0.7	2.1	0.7	100
2R	>28	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	

Hz = Horizonte; pH en agua; MO = Materia orgánica; C = Carbono orgánico; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB = Porcentaje de Saturación de Bases

6.7. PERFIL 10. LAS CABALLERIZAS

6.7.1. Características Morfológicas. Este sitio se localiza en el paraje Loma Pelada, aproximadamente a 300 m. de la caseta forestal, junto al camino de terracería que va de las caballerizas a la mina El Águila. Geográficamente se localiza en las siguientes coordenadas 19°34'15" de latitud Norte y 99°07'25" de longitud Oeste a una altitud de 2,620 msnm (Figura 6.27). El relieve del sitio es convexo, con una pendiente del 10%; la vegetación que se encuentra en este sitio es producto de reforestaciones, en general el estrato arbóreo esta representado por ejemplares de *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl., *Eucalyptus globulus*, *Prunus capulli*, y *Schinus molle* L.



Figura 6.27. Panorámica de la zona de las Caballerizas

En el estrato arbustivo se encuentran *Prosopis juliflora*, mezquite; *Mimosa biuncifera* Benth., uña de gato y entre los nopales *Opuntia imbricata* (Haw.) DC., *O. streptacantha* Lemaire. y *O. tomentosa* CD Entre las gramíneas *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Bouteloua filiformis* (Fourn), *B. procumbens*, *Setaria geniculata* (Lam.) Beauv. y *Avena fatua* L., entre otras. También se encuentran algunos ejemplares de *Agave filifera* Chabaud conocido como maguey manso.

El material parental está formado por andesitas, materiales piroclásticos y tobas alteradas. La cara que se describió del suelo tiene una exposición al poniente. El suelo es pedregoso ya que presenta el 10% de la superficie piedras.

El horizonte A1 se encuentra a una profundidad de 0 a 14 cm la separación a la siguiente capa es gradual, ya que el cambio se realiza a una distancia mayor de 5 cm. y su forma es horizontal; este horizonte en el momento de su descripción estaba seco; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo oscuro (7.5Y 3/2) en húmedo; presenta una textura franco-arenosa; su consistencia en seco es dura; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; su estructura es en bloques subangulares, débilmente desarrollados; tiene numerosos poros (>200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2 mm de diámetro) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es moderada; en cuanto a las raíces éstas son comunes (10 a 100 dm²), de tamaño fino (menos de 1 mm de diámetro), no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado leve (Figura 6.28).

En el horizonte A2 la transición a la siguiente capa es gradual de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; su textura es franco-arenosa; tiene una consistencia dura; es ligeramente adhesivo; y ligeramente plástico; no presenta pedregosidad; su estructura es en bloques subangulares, débilmente desarrollados; cuenta con numerosos poros (>200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2 mm de diámetro), que se encuentran dentro y fuera de los agregados y los cuales presentan una forma intersticial; su permeabilidad es moderada; las raíces, son comunes (10 a 100 por dm²), de tamaño fino (menos de 1 mm de diámetro) y de 5 a 10 por dm²; es un horizonte bien drenado y no se detectó la presencia de fauna edáfica.

A partir de los 28 cm y hasta los 42 cm se encontró un horizonte C; la transición a la siguiente capa es clara, ya que el cambio se realiza dentro de los 2 a 5 cm y es de forma irregular; este horizonte estaba seco en el momento de su descripción; su color es pardo amarillento claro (5Y 6/3) en seco y pardo

amarillento (2.5YR 5/4) en húmedo; su consistencia es dura; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; presenta cutanes por minerales arcillosos; su estructura es en bloques subangulares, moderadamente desarrollados; los poros son frecuentes (50 a 200 por dm^2) de tamaño fino, mismos que se localizan dentro y fuera de los agregados, siendo estos de forma intersticial; su permeabilidad es moderada; las raíces son abundantes (100 a 500 por cada 3 dm^2) con un tamaño < 1 mm de diámetro; este horizonte está bien drenado.



Figura 6.28. Fotografía del P-10 Las Caballerizas

La capa 2Cx se presenta a partir de los 42 cm de profundidad y se caracteriza por la presencia de cutanes formados por materiales arcillosos. Este horizonte se encontraba libre de pedregosidad; se consideró masivo, al no percibir la existencia de unidades estructurales; esta capa es moderadamente permeable; presenta pocas raíces (5 a 10 por 3 dm^2), de tamaño fino (< 1 mm de diámetro). El suelo en general, se encontraba bien drenado.

6.7.2. Propiedades Físicas del Suelo. El suelo es moderadamente profundo y a los 42 cm presenta una capa endurecida 2Cx, la cual tiene propiedades de tipo fragipán. La densidad aparente oscila entre 0.89 Mg/m³ en el horizonte A1 y se incrementa hasta 1.02 Mg/m³ en la capa endurecida 2Cx donde se presentan materiales más densos y que de acuerdo con Primavesi (1982), este valor se debe a un alto nivel de consolidación por simple presión o por el movimiento del agua, por lo cual este material en seco es muy duro, pero en húmedo se vuelve friable (Figura 6.29).

La densidad real en el horizonte A1 fue de 1.75 Mg/m³ con un ligero decremento en el horizonte A2 y la capa C. El porcentaje de porosidad fue de 49.14% en el horizonte superficial y ésta disminuyó a 35.08% en el horizonte 2Cx. Este valor es similar con otros reportados por Flores *et al.*, (1992); Acevedo y Flores (2003) para este tipo de materiales.

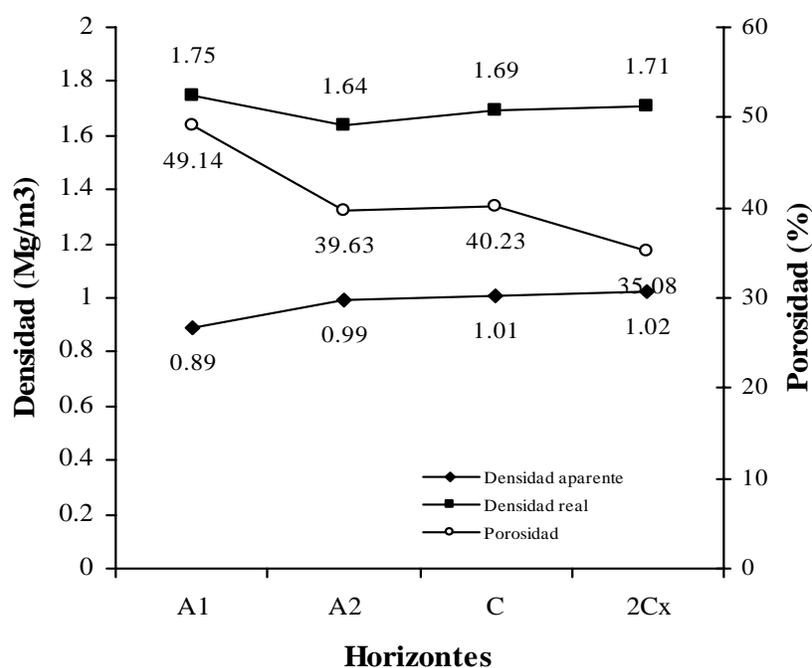


Figura 6.29. Densidad y porosidad del suelo del P-10 Las Caballerizas

Los horizontes A1 y A2 presentaron una textura arcillo-limosa y a partir de los 28 cm de profundidad, franco-arcillosa en el C y franca en el horizonte 2Cx. Se estima que parte de estas arcillas provienen del intemperismo del horizonte C, el cual tiene una matriz con un empaquetamiento muy cerrado, provocado por una

elevada compactación de arcillas y una cementación escasa por lo que presenta características de tipo frágipan (Figura 6.30).

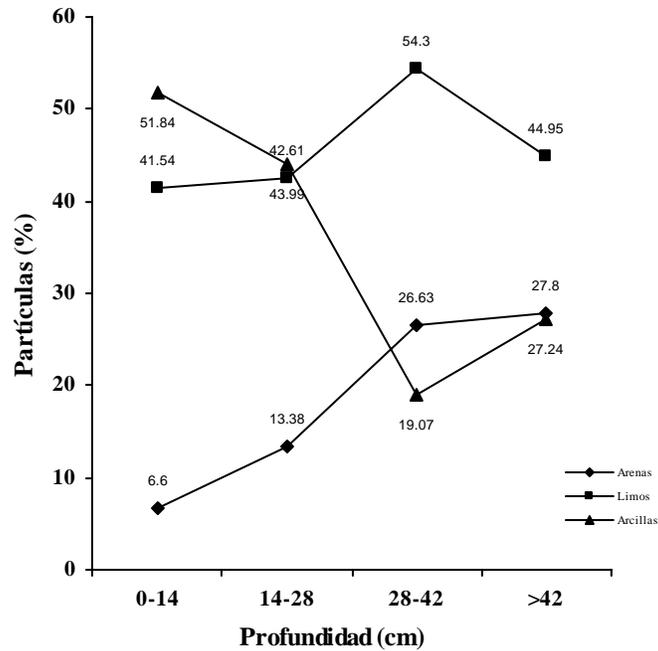


Figura 6.30. Distribución de las partículas del P-10 Las Caballerizas

En los horizontes A1 y A2 predominan las arenas, limos gruesos y medios, así como las arcillas, por lo que la textura es arcillo-limosa, lo cual tiene relación con el grado de alteración que se presenta en los horizontes superiores. En el horizonte C existe una mayor presencia de arenas finas y muy finas al igual que una elevada cantidad de limos gruesos que producen una textura franco-arcillosa. Aunque el horizonte 2Cx tiene una textura franca, hay un predominio de arcillas, limos gruesos, arenas finas y muy finas (Tabla 6.20).

Tabla 6.20. Distribución del tamaño de partículas del suelo del P-10 Las Caballerizas

Hz	Prof (cm)	Arenas					Total	Limos			Total	Arcillas
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A1	0-14	0.11	3.58	0.00	1.68	1.23	6.60	24.30	10.97	6.27	41.54	51.84
A2	14-28	0.21	3.40	0.00	6.48	3.29	13.38	26.67	11.69	4.25	42.61	43.99
C	28-42	0.08	3.22	3.54	10.38	9.41	26.63	42.63	8.77	2.90	54.30	19.07
2Cx	>42	0.22	8.41	0.78	9.98	8.41	27.80	35.54	7.62	1.79	44.95	27.24

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; † mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). ‡ g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). § Partículas menores que 0.002 mm

Este sitio es una planicie acumulativa, (Figura 6.31) por lo que se considera que ha recibido aporte de materiales de las áreas que se encuentran más elevadas y que por efecto de la lluvia y la gravedad, han provocado el arrastre de las partículas finas del suelo, mismas que se han depositado sobre todo en los horizontes A1 y A2. Igualmente se considera que este sitio al presentar condiciones de drenaje moderado ha favorecido la formación de arcillas en los horizontes C y 2Cx.

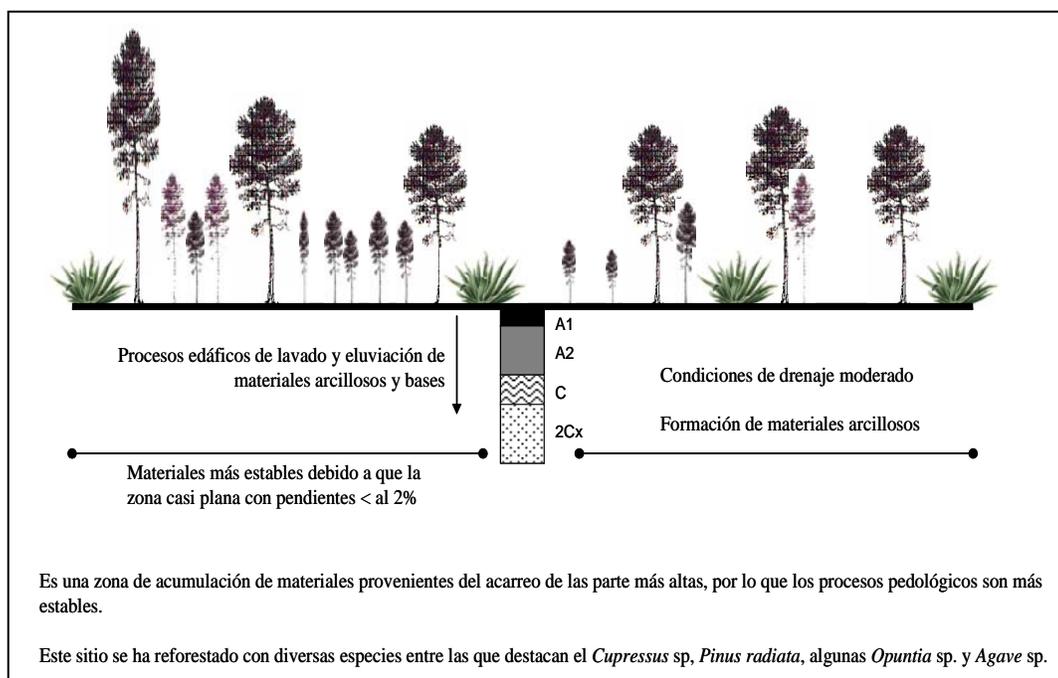


Figura 6.31. Características del sitio de muestreo del P-10 Las Caballerizas

Por otra parte, las formas que dominan en la fracción mineral son muy angulares en los horizontes A1 y A2, con una baja esfericidad (40%). En los horizontes C y 2Cx las partículas son subangulares con una esfericidad del 25% (Tabla 6.21). Por lo que se considera que las partículas de los horizontes C y 2Cx son producto del intemperismo a que está sujeto este suelo y aunado al poco

transporte a que han estado sujetas las partículas minerales indica formación *in situ*. Sin embargo, las partículas de los horizontes superiores presentaron ligeramente una mayor esfericidad, por lo que se considera que han influido en ellas el arrastre de material por el agua y la gravedad.

Tabla 6.21. Esfericidad y redondez de las partículas del P-10 Las Caballerizas

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-14	A1	80	20				25	75
14-28	A2	85	15				40	60
28-42	C		95	5			25	75
>42	2Cx		100				15	85

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado.

6.7.3. Propiedades Químicas del Suelo. El suelo se considera ligeramente ácido en el horizonte A1 por los aportes constantes de material orgánico en este horizonte por parte de la vegetación del lugar que se atribuye a la cantidad de acículas de *Pinus* sp. que se encontraron en el sitio y que son potencialmente acidificantes, por la producción de ácidos orgánicos (Urrego, 1997) el pH se incrementa ligeramente conforme aumenta la profundidad por el aporte de bases provenientes del lavado del horizonte superior, por lo que el A2 y C se consideran neutros, siendo ligeramente ácido el 2Cx al recibir menor cantidad de bases y al existir poco potasio en este horizonte se incrementa ligeramente su acidez (Fanning *et al.*, 1989).

La materia orgánica, de acuerdo con los criterios propuestos por Vázquez (1997), el horizonte A1 presenta un contenido medio de materia orgánica, mientras que en el A2 y C éste contenido disminuye notablemente al incrementarse la profundidad, llegando a considerarse como pobre en ambos horizontes y como muy pobre en el 2Cx (Tabla 6.22). Igualmente, el contenido de carbono orgánico es pobre en todo el perfil.

Por otra parte, este suelo presenta una capacidad de intercambio catiónico alta en todos sus horizontes, atribuible más que al contenido de materia orgánica a la presencia de arcillas. El PSB es mayor al 50% con predominio de Ca^{2+} y Mg^{2+} por lo que el complejo se encuentra saturado por estos iones, especialmente en los horizontes superficiales. Esto indica un incipiente proceso de lixiviación, dada la estacionalidad y la escasa precipitación que se presenta en la Sierra (Vela y Flores., 2004a). Además los horizontes superficiales son ricos en cationes, probablemente

como resultado del ciclo natural de la vegetación forestal (Duncan y Franzmeier, 1999).

Tabla 6.22. Propiedades químicas del P-10 Las Caballerizas

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)				PSB %
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A1	0-14	6.8	3.66	2.12	48.05	13.0	27.0	0.8	2.4	90.00
A2	14-28	7.4	1.90	1.12	42.76	8.0	24.0	0.9	1.5	80.45
C	28-42	7.3	1.09	0.63	37.95	6.0	25.0	1.2	0.6	86.42
2Cx	>42	6.7	0.45	0.26	42.76	9.0	21.0	1.7	0.3	74.83

Hz = Horizonte; pH en agua; MO = Materia orgánica; C = Carbono orgánico; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB = Porcentaje de Saturación de Bases

6.8. PERFIL 15. EL FRAILE

6.8.1. Características Morfológicas. Este sitio se encuentra en los 19°34'50" de latitud Norte y 99°07'57" de longitud Oeste, frente al cerro conocido como el Fraile. La altitud de este sitio es de 2,475 msnm; su relieve es convexo; el material parental está compuesto por tobas andesíticas (Figura 6.32). Sobre su superficie, se encuentran andesitas de 20 a 30 cm de diámetro.

La zona está reforestada con *Pinus radiata* D. Don., *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl., *Casuarina equisetifolia* L., y *Eucalyptus* sp. La mayoría de las especies arbóreas tienen una altura de 8 metros. Se observaron algunos ejemplares de *Opuntia streptacantha* Lemaire., *Mammillaria rhodantha* Link & Otto., y *Cylindropuntia imbricata* (Haworth), es importante indicar que la mayoría de los *Cupressus* están muertos.



Figura 6.32. Apertura del pozo en el paraje El Fraile

En general se encontraron 4 horizontes (Figura 6.33) los cuales se describen a continuación: Con una profundidad de 0 a 7 cm se encuentra el horizonte A, el cual presenta una transición gradual de forma horizontal con la siguiente capa; se encontraba ligeramente húmedo; su textura al tacto es arcillo-limosa; la consistencia en seco se consideró como ligeramente dura y en húmedo como friable; no es adhesivo y es ligeramente plástico; el color en seco es gris oscuro (10YR 4/1) y en húmedo gris muy oscuro (10YR 3/1); su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; la permeabilidad se consideró muy rápida; presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular.

El horizonte Bt se encuentra a una profundidad de 7 a 39 cm, el cual presenta una transición gradual de forma horizontal con la siguiente capa; se encontraba húmedo; su textura es arcillosa; la consistencia en seco se considero como ligeramente dura y en húmedo como friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es gris (10YR 5/1) y en húmedo pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2); su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; se encontraron pocas raíces de tamaños fino y delgadas; presenta numerosos poros, muy finos de forma vesicular; su permeabilidad se considero muy rápida.

El horizonte C1 se encuentra a una profundidad de 39 a 56 cm, el cual presenta una transición gradual de forma horizontal con la siguiente capa; se encontraba húmedo; su textura es franco-limosa; la consistencia en seco es ligeramente dura y en húmedo friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es gris (10YR 6/1) y en húmedo pardo grisáceo (10YR 5/2); su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; presenta muy pocas piedras de tamaño grande de forma subangular de origen andesítico; se encontraron pocas raíces de tamaños fino y delgadas; presenta numerosos poros, muy finos de forma vesicular; su permeabilidad se consideró muy rápida.

El horizonte C2 se encuentra a una profundidad mayor de 56 cm, se encontraba húmedo; su textura es franco-arcillosa; la consistencia en seco se considero como ligeramente dura y en húmedo friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es gris pardo claro (2.5Y 6/2) y en húmedo pardo (10YR 5/3); la presencia de raíces es rara de tamaño medio; presenta numerosos poros, muy finos de forma vesicular; su permeabilidad es muy rápida.

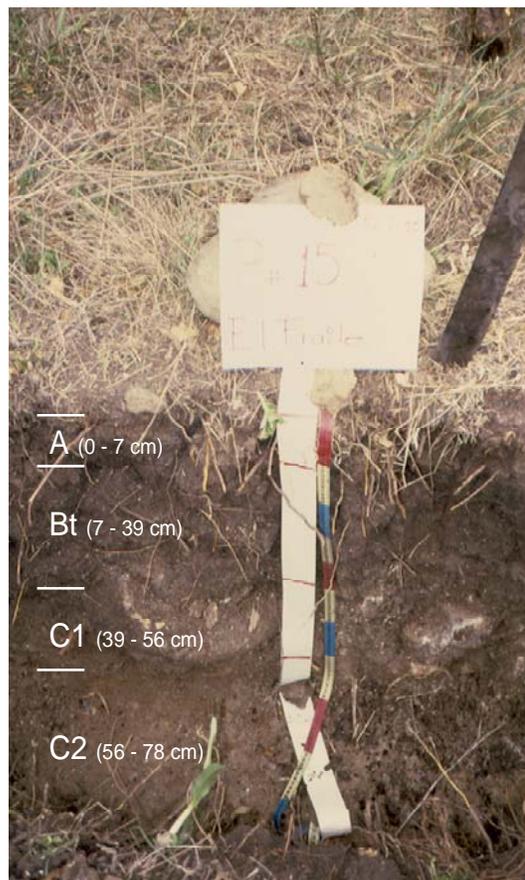


Figura 6.33. Fotografía del P-15 El Fraile

6.8.2. Propiedades Físicas del Suelo. Este suelo se considera moderadamente profundo, al presentar un espesor máximo de 78 cm. La densidad aparente oscila entre 1.06 a 1.1 Mg/m³ en los horizontes A y Bt, pero se incrementa notablemente en el C1 y C2 respectivamente donde se presentan los materiales menos intemperizados (Figura 6.34).

La densidad real presenta un comportamiento similar, ya que los valores de 1.44 y 1.46 Mg/m³ corresponden al horizonte A y Bt incrementándose casi en el doble en los horizontes C1 y C2 donde se encuentran los materiales más compactos y menos intemperizados.

El porcentaje de porosidad no es muy elevado ya que es ligeramente superior al 25% por lo que se considera bajo para un horizonte A, sin embargo, la porosidad disminuye drásticamente con la profundidad llegando a valores de 18 y 11% para el C1 y C2 respectivamente por tratarse de materiales más consolidados que los horizontes superiores y menos expuestos a los agentes climáticos.

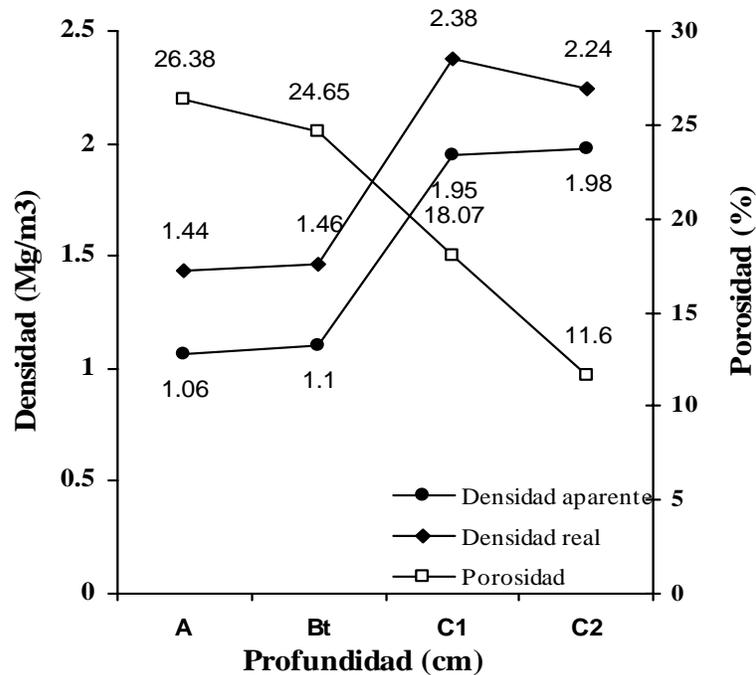


Figura 6.34. Densidad y porosidad del suelo del P-15 El Fraile

El horizonte A tiene una textura arcillo-limosa; mientras que el horizonte Bt se le considera argílico debido a que dominan las arcillas, llegando a ser mayores a un 15% con relación al horizonte supradyacente y subsiguiente, que en este caso corresponde al C1.

A partir de los 39 cm de profundidad domina la fracción compuesta de limos medios y gruesos, incrementándose la cantidad de arenas finas siendo la textura franco-limosa en C1 y franco-arcillosa en C2, lo cual es propio de materiales menos intemperizados relacionados a la regolita de las tobas que conforman el material parental de estos suelos (Figura 6.35).

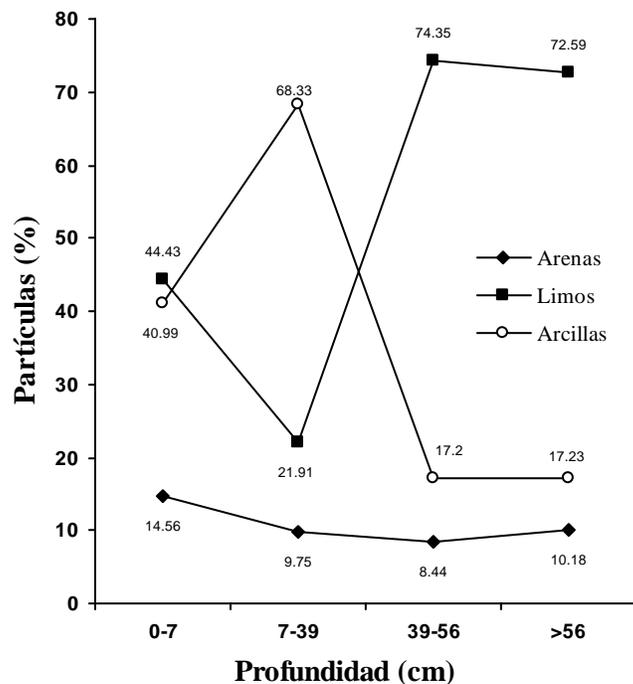


Figura 6.35. Distribución de las partículas del P-15 El Fraile

En el horizonte A predominan los limos particularmente los de tamaño grueso y medio, así como las arcillas que en porcentaje equivalen a casi el 41% de las partículas de este horizonte. Sin embargo, el horizonte Bt reviste especial importancia al considerarse con características árgicas, debido a que presenta el mayor contenido de arcillas de este suelo llegando a estimarse en un 40% más que las existentes en el horizonte A y un 74% más que en los horizontes C1 y C2 (Tabla 6.23).

Tabla 6.23. Distribución del tamaño de partículas del suelo del P-15 El Fraile

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A	0-7	0.83	5.41	3.43	3.12	1.77	14.56	22.79	14.98	6.66	44.43	40.99
Bt	7-39	0.73	3.63	1.97	2.49	0.93	9.75	5.71	9.24	6.96	21.91	68.33
C1	39-56	0.73	3.02	1.56	2.19	0.94	8.44	6.05	23.57	44.73	74.35	17.20
C2	56-78	0.42	1.99	0.42	5.15	2.20	10.18	15.34	53.78	3.47	72.59	17.23

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] Partículas menores que 0.002 mm

Por otra parte, las formas que dominan en la fracción mineral son muy angulares en todos los horizontes, con una baja esfericidad (85%), tal como se muestra en la Tabla 6.24. Por lo que se considera que las partículas sean producto del intemperismo *in situ* y al escaso transporte a que está sujeto el suelo.

Tabla 6.24. Esfericidad y redondez de las partículas del suelo del P-15 El Fraile

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-7	A	90	10				15	85
7-39	Bt	100					40	60
39-56	C1	85	15				30	70
56-78	C2	100					35	65

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado

6.8.3. Propiedades Químicas del Suelo. El pH se incrementa con la profundidad, pero se considera de acuerdo con Jones y Wolf (1984), como ligeramente ácido en el horizonte A, posiblemente por los aportes de materia orgánica de la vegetación en el sitio; se incrementa ligeramente hasta ser considerado como neutro en el Bt y como alcalino en el C1 y C2, esto por las bases que se encuentran en la solución del suelo y que se precipitan y acumulan en los horizontes inferiores, principalmente de iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} (Tabla 6.25).

El contenido de materia orgánica, presenta un comportamiento similar al pH por lo que disminuye conforme se incrementa la profundidad. Con base en Vásquez (1997), la materia orgánica del horizonte A es considerada como media; pobre en el Bt, llegando a ser muy pobre en el C1 y C2.

Tomando en consideración los rangos propuestos por Cottie (1980), la capacidad de intercambio cationico es alta en todos los horizontes, incluyendo el C1 y C2 donde prácticamente es nula la MO, por lo que se atribuye su CIC a la presencia de arcillas. La saturación de bases es mayor al 50% con predominio de Ca^{2+} y Mg^{2+} . Igualmente este incremento en el pH en los horizontes C1 y C2 hace referencia a que el grado de intemperización es mínimo.

Tabla 6.25. Propiedades químicas del P-15 El Fraile

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)				PSB %
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-7	6.2	4.52	2.62	44.69	32.9	4.2	0.8	2.8	91.07
Bt	7-39	6.8	2.21	1.28	34.60	28.0	12.6	1.7	3.2	100.00
C1	39-56	8.1	0.73	0.42	36.52	23.8	19.2	1.5	3.4	100.00
C2	56-78	8.2	0.26	0.15	31.71	37.1	17.5	2.6	2.7	100.00

Hz=Horizonte; pH en agua; MO=Materia Orgánica; C=Carbono orgánico; CIC= Capacidad de Intercambio Cationico; PSB=Porcentaje de Saturación de Bases

6.9. PERFIL 16. MOCTEZUMA.

6.9.1. Características Morfológicas. Se encuentra en la parte sur del Picacho Moctezuma, a 100 m de la estación de transmisiones de Televisa, en la parte donde nace el arroyo La Armella. Las coordenadas del sitio son 19°35'17" de latitud Norte y 99°07'16" de longitud Oeste, con una altitud de 2,880 msnm; el material parental está formado por tobas de origen andesítico; con una pendiente del 40% (Figura 6.36).



Figura 6.36. Panorámica desde el Picacho Moctezuma

El área se encuentra reforestada con *Pinus radiata* D. Don. y *Pinus hallepensis* Millar., con una altura de 8 m. La vegetación está representada con ejemplares de *Agave salmiana* Otto ex Sal-Dick, *Opuntia streptacantha* Lemaire., *O. tomentosa* CD. *O. ficus indica* (L.) Miller, *Quercus robusta* C.H. Müller y *Yucca filifera* Chabaud.

A continuación se presenta la descripción morfológica de los horizontes que integran este perfil de suelo. El horizonte A se encuentra a una profundidad de 0 a 40 cm, el cual presenta una transición gradual de forma horizontal con la siguiente capa; se encontraba seco; su textura es franco-arcillo-limosa; la consistencia en seco es blanda y en húmedo muy friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y negro en húmedo (10YR 2/1); su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; este horizonte es pedregoso, con piedras medias y pequeñas (1 a 10 cm de diámetro), subangulares de origen andesítico; la permeabilidad es rápida; las raíces son extremadamente abundantes de tamaños entre 0.5 a 3 mm de diámetro; presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular y en general se considera como un suelo bien drenado (Figura 6.37).

La capa AC11 se encuentra a partir de los 40 a los 63 cm de profundidad; su transición con la siguiente capa es gradual de forma horizontal; se encontraba ligeramente húmedo; su textura es franco-limosa; la consistencia en seco es blanda y en húmedo friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y negro en húmedo (10YR 2/1); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; este horizonte es pedregoso, con piedras de tamaño medio y pequeñas (5 a 10 cm de diámetro), subangulares de origen andesítico; la permeabilidad se consideró como rápida; las raíces son comunes (10 a 100 por cada 3 dm²), el tamaño que predomina son las delgadas y finas (0.5 a 3 mm de diámetro); presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular.

El horizonte AC12 se encuentra a partir de los 63 a los 90 cm de profundidad; su transición con la siguiente capa es gradual de forma horizontal; se encontraba ligeramente húmedo; su textura es franco-limosa; la consistencia en seco es ligeramente dura y en húmedo friable; no es adhesivo y es plástico; el color en seco es pardo (10YR 5/3) y pardo oscuro en húmedo (10YR 3/3); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; este horizonte es pedregoso, con piedras de tamaño medio (5 a 10 cm de diámetro), subangulares de origen andesítico; la permeabilidad se consideró como rápida; las raíces son comunes (10

a 100 por cada 3 dm²), el tamaño que predomina son las delgadas y finas (0.5 a 3 mm de diámetro); presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular.

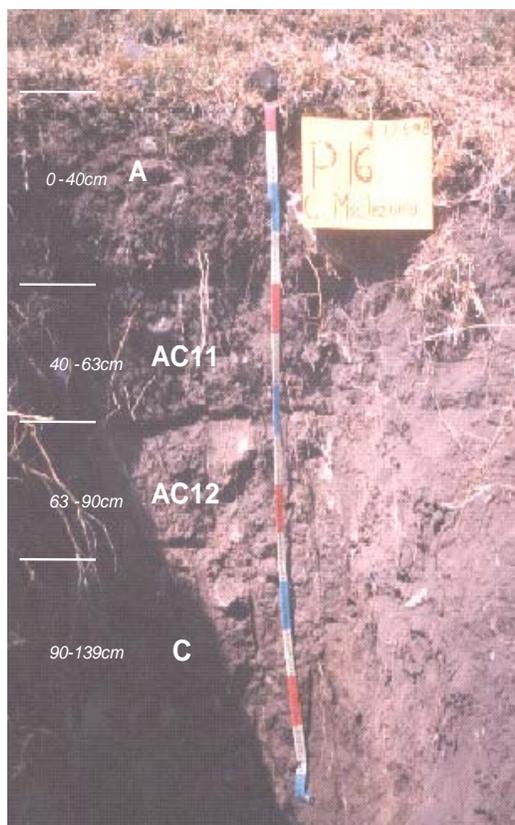


Figura 6.37. Fotografía del P-16 Moctezuma

El horizonte C a partir de los 90 cm de profundidad; se encontraba ligeramente húmedo; su textura es franco-arcillosa; la consistencia en seco es ligeramente dura y en húmedo friable; el color en seco es pardo grisáceo (10YR 4/2) y pardo amarillento oscuro en húmedo (10YR 3/4); su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; este horizonte es ligeramente pedregoso, con piedras de tamaño medio (5 a 10 cm de diámetro), subangulares de origen andesítico; la permeabilidad es rápida; las raíces son raras (3 a 5 por cada 3 dm²), el tamaño que predomina son las delgadas (1 a 3 mm de diámetro); presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular.

6.9.2. Propiedades Físicas del Suelo. El suelo de este sitio se considera profundo, al presentar una profundidad máxima de 139 cm. La densidad aparente en el horizonte A es de 0.98 Mg/m³ la cual se incrementa con la profundidad

llegando a presentarse 1.35 Mg/m^3 en el horizonte C, donde se encuentran los materiales menos intemperizados y más compactos (Figura 6.38).

La porosidad del suelo presentó un comportamiento similar a la densidad ya que los valores más altos se presentaron en el horizonte superficial, lo que se considera normal debido a la presencia de materia orgánica y de materiales minerales altamente intemperizados, por lo que ésta fue decreciendo con la profundidad.

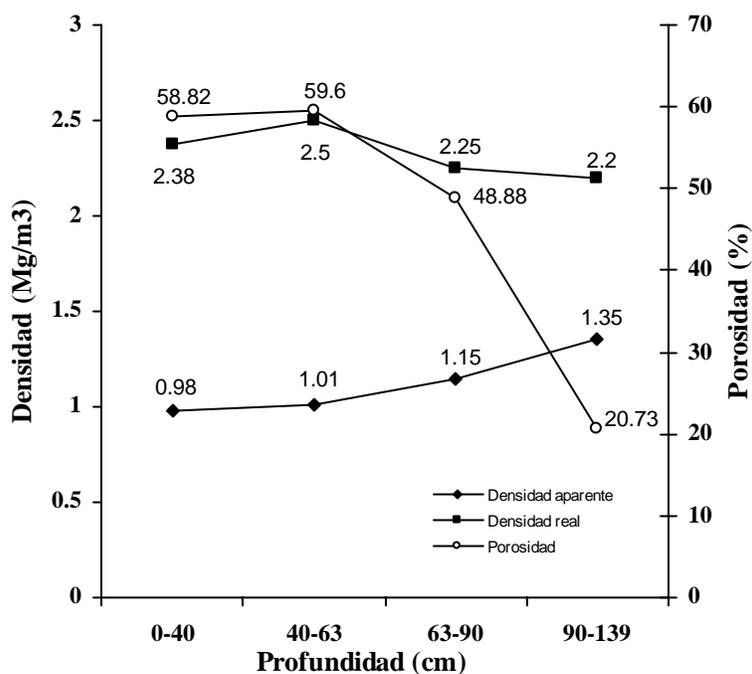


Figura 6.38. Densidad y porosidad del suelo del P-16 Moctezuma

De igual forma, se puede apreciar el comportamiento de las partículas del suelo, donde el horizonte A presenta una textura franco-arcillo-limosa; los horizontes AC11 y AC12 son franco-limosos, mientras que el horizonte C es franco-arcilloso. Este último, se considera como cenizas consolidadas que se encuentran sobre el lecho rocoso, formado por andesitas poco alteradas (Figura 6.39).

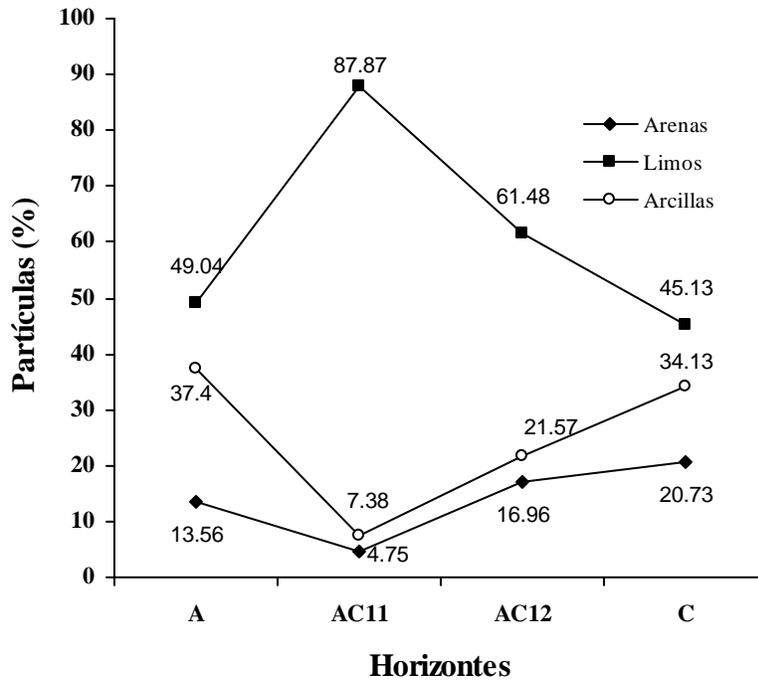


Figura 6.39. Distribución de las partículas del suelo del P-16 Moctezuma

Al incrementarse la profundidad aumenta el contenido de arcillas y arenas, lo cual se justifica a partir de que este sitio se encuentra en una ladera compleja, donde la fracción mineral principalmente las de tamaño menor de 0.002 mm de diámetro y que provienen de la erosión de los suelos que se encuentran en las partes más altas del Picacho Moctezuma, se han depositado en las partes intermedias de la ladera, lo que se refleja que en el horizonte A se tenga alrededor del 37% de éstas, mientras que en el horizonte AC11 disminuyen drásticamente al no existir aportes constantes del horizonte supraadyacente y dominar los limos y arenas.

Mientras que a partir de los 63 cm de profundidad se incrementa nuevamente el contenido de arcillas hasta cerca del 35%, este aumento se atribuye a procesos edáficos como la iluviación, que provoca el relleno de poros y grietas por materiales arcillosos provenientes de los horizontes superiores, mismos que se han depositado a través de un movimiento lateral favorecido por las pendientes que existen en el sitio (Figura 6.40).

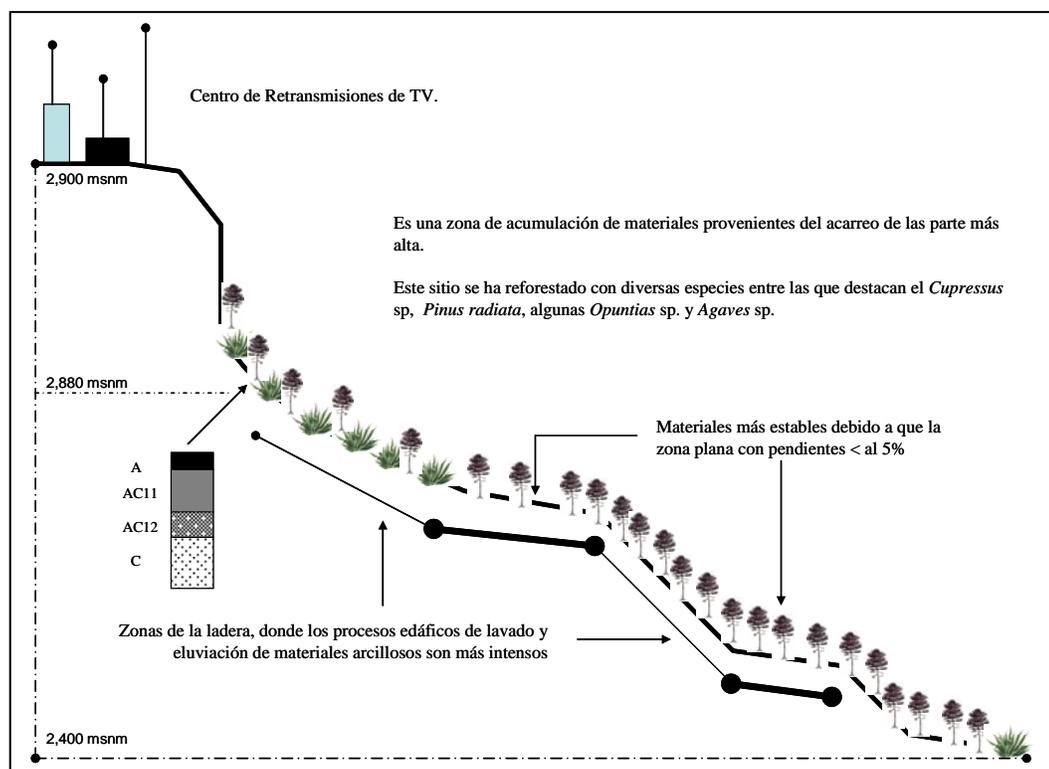


Figura 6.40. Ladera Sur del Picacho Moctezuma

Por otra parte, las formas que dominan en la fracción mineral son muy angulares en los horizontes A, con una baja esfericidad (85%). En los horizontes AC11 y AC12 se incrementa la redondez, aunque las partículas siguen conservando su agudeza, lo que se atribuye a un acarreo no muy severo provocado por el arrastre debido a la gravedad y el agua de lluvias, por lo que se considera que este suelo es de formación *coluvial* (Tabla 6.26). Es conveniente indicar que este sitio es una pequeña planicie acumulativa y que por su posición en el paisaje ha recibido aportes de materiales de las áreas que se encuentran un poco más elevadas.

Tabla 6.26. Esfericidad y redondez de las partículas del suelo del P-16 Moctezuma

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-40	A	90	10				15	85
40-63	AC11	80	20				30	70
63-90	AC12	65	35				25	75
90-139	C	----	----	----	----	----	----	----
>139	R	----	----	----	----	----	----	----

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado.

En el horizonte A predominan los limos y las arcillas sobre las arenas, mientras que en los horizontes AC11 y AC12 al incrementar la profundidad dominan los limos gruesos y medios, los cuales son producto del acarreo de estos materiales, lo cual tiene relación con el grado de alteración que se presenta generalmente en los horizontes superiores (Tabla 6.27). Aunque el horizonte C tiene una textura franco-arcillosa, hay un predominio de arcillas, limos gruesos, arenas finas y muy gruesas. Estos materiales se atribuyen en menor grado a incipientes procesos de formación *in situ* y en mayor grado al arrastre de materiales provenientes de las partes altas de la Sierra.

Tabla 6.27. Distribución granulométrica de las partículas del suelo del P-16 Moctezuma

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A	0-40	3.28	5.08	2.71	2.15	0.34	13.56	22.82	17.97	8.25	49.04	37.40
AC11	40-63	0.36	1.92	0.41	1.32	0.74	4.75	37.83	48.15	1.89	87.87	7.38
AC12	63-90	5.19	2.77	2.08	5.88	1.04	16.96	26.99	23.07	11.42	61.48	21.57
C	90-139	4.01	5.61	2.52	5.96	2.63	20.73	29.21	8.36	7.56	45.13	34.13
R	>139	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] Partículas menores que 0.002 mm

6.9.3. Propiedades Químicas del Suelo. Considerando los criterios propuestos por Vázquez (1997), el pH tiende a ser neutro en todo el perfil, aunque se presenta como ligeramente ácido en los horizontes A y AC11 posiblemente por los aportes constantes de materia orgánica, principalmente de acículas de algunas de las coníferas como *Pinus radiata* y *Pinus hallepensis* que se encuentran en el lugar (Amiotti *et al.*, 2000).

El contenido de materia orgánica de acuerdo con Fassbender y Bornemisza (1987), es pobre en los horizontes A y AC11 y muy pobre en los horizontes AC12 y C (Tabla 6.28) debido al lavado de bases y a la producción de ácidos orgánicos. De acuerdo con estos mismos autores, el contenido de carbono orgánico es de pobre en los horizontes superiores a muy pobre en los inferiores.

La capacidad de intercambio catiónico con base en Cottie (1980), es alta en todos los horizontes, atribuible en parte al contenido de materia orgánica, aunque se cree influye más el contenido de materia orgánica y la cantidad de arcillas. El PSB es mayor al 50% con predominio de Ca²⁺ y Mg²⁺ lo cual se relaciona con el pH y la escasa precipitación que se presenta en la zona.

Tabla 6.28. Propiedades químicas del P-16 Moctezuma

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)			
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
A	0-40	6.7	2.68	1.55	27.86	28.0	9.1	2.2	1.0
AC11	40-63	6.7	1.40	0.81	23.06	15.4	9.1	0.5	0.4
AC12	63-90	7.0	0.43	0.25	21.00	9.1	14.7	0.7	0.3
C	90-139	7.0	0.40	0.23	20.66	15.4	10.5	0.7	0.4
R	>139	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Hz=Horizonte; pH en agua; MO=Materia Orgánica; C=Carbono orgánico; CIC= Capacidad de Intercambio Cationico

6.10. PERFIL 20. TLALPEXCO.

6.10.1. Características Morfológicas. Este sitio correspondió al paraje conocido localmente como Tlalpexco, el cual se encuentra a 500 m de la entrada principal en el camino del cerro del Chiquihuite al Arenal. Se describió un corte de camino, teniendo como coordenadas 19°33'03" de latitud Norte y 99°07'12" de longitud Oeste. La pendiente es de 30% y el material parental está constituido por tobas (Figura 6.41). La vegetación del área está integrada por *Pinus radiata* D. Don y *Cupressus lindleyi* Kloyzsch ex Ende y *Schinus molle* Linn. en las orillas de los caminos. También se encuentran *Agave atrovirens* Kart. y *A. salmiana* Otto ex Salm-Dick entre otras.



Figura 6.41. Reforestación con *Pinus radiata* D. Don

En total se encontraron 4 horizontes (Figura 6.42) los cuales se describen a continuación: El horizonte A tiene un espesor de 0 a 34 cm de profundidad; presenta una transición abrupta de forma horizontal con la siguiente capa; se encontraba húmedo; su textura es franco-arcillosa; la consistencia en seco es ligeramente dura y en húmedo friable; no es adhesivo, ni plástico; el color en seco es pardo oscuro (10YR 3/3) y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10YR 3/2); su estructura es granular, débilmente desarrollada; la permeabilidad se consideró como lenta; las raíces son comunes delgadas y medias; presentó numerosos poros finos de forma vesicular.

El horizonte Bt tiene un espesor de 34 a 60 cm de profundidad; presenta una transición abrupta de forma horizontal con la siguiente capa; se encontraba húmedo; su textura es arcillosa; la consistencia en seco es ligeramente dura y en húmedo muy firme; es ligeramente adhesivo y plástico; el color en seco es pardo oscuro (10YR 4/3) y pardo amarillento oscuro en húmedo (10YR 3/4); su estructura es granular, débilmente desarrollada; la permeabilidad es lenta; las raíces son comunes de tamaños delgado y medio; presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular.

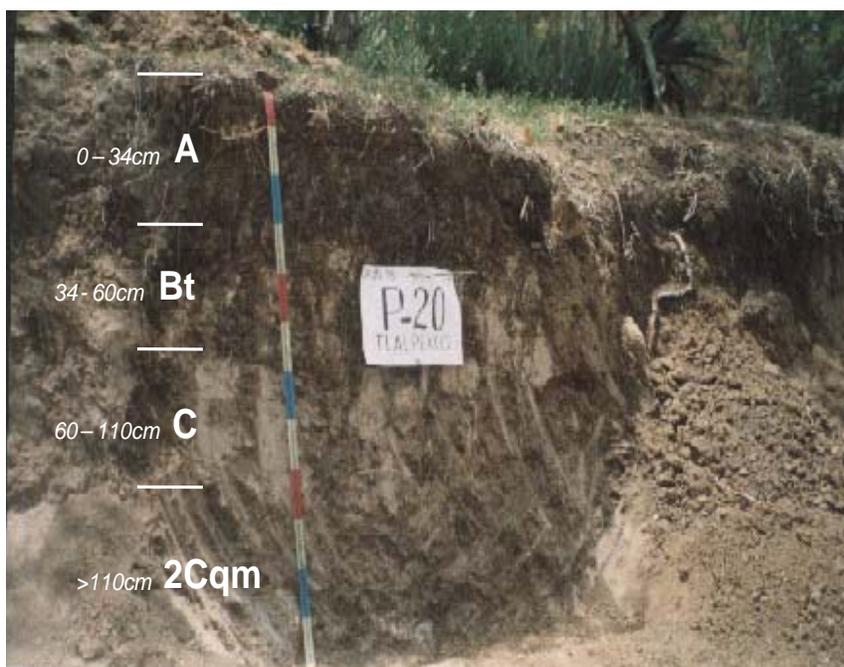


Figura 6.42. Fotografía del P-20 Tlalpexco

El horizonte C tiene un espesor de 60 a 110 cm de profundidad; presenta una transición gradual de forma horizontal con la siguiente capa; se encontraba húmedo; su textura es franco-limosa; la consistencia en seco es ligeramente dura y

en húmedo friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es gris rosáceo (7.5YR 6/2) y pardo oscuro en húmedo (7.5YR 4/4); la permeabilidad se consideró como lenta; las raíces son comunes de tamaños delgado y medio entre 0.5 a 3 mm de diámetro; presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular y en general se considera como un suelo bien drenado. El horizonte 2Cqm se encuentra a una profundidad mayor de 110 cm; se encontraba húmedo; su textura es franco-limosa; la consistencia en seco es ligeramente dura y en húmedo friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es pardo (10YR 5/3) y pardo oscuro en húmedo (7.5YR 4/4); presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular.

6.10.2. Propiedades Físicas del Suelo. El suelo de este sitio es moderadamente profundo, al presentar una profundidad máxima de 78 cm a partir de su superficie. La densidad aparente oscila entre 0.99 Mg/m³ en el horizonte A donde existen aportes importantes de materia orgánica por la vegetación que se encuentra en el lugar hasta 1.77 Mg/m³ en la capa 2Cqm donde se presentan los materiales menos intemperizados.

Una característica particular de estos materiales es que son bastante duros en seco (Figura 6.43). Igualmente, la densidad real en el horizonte A fue de 2.08 Mg/m³ presentando un incremento con la profundidad hasta llegar a 2.31 Mg/m³, donde se encuentran los materiales mas compactos y menos intemperizados de este perfil.

Por otra parte, la porosidad de los horizontes presentó un comportamiento similar a la densidad ya que en los horizontes A, Bt y C alcanzó valores ligeramente superiores al 50%, mientras que en el horizonte 2Cqm disminuyó en casi la mitad hasta valores del 23% lo cual se encuentra dentro de los rangos estimados para materiales con características dúricas que presentan una compactación muy elevada (Vela y Flores, 2004a).

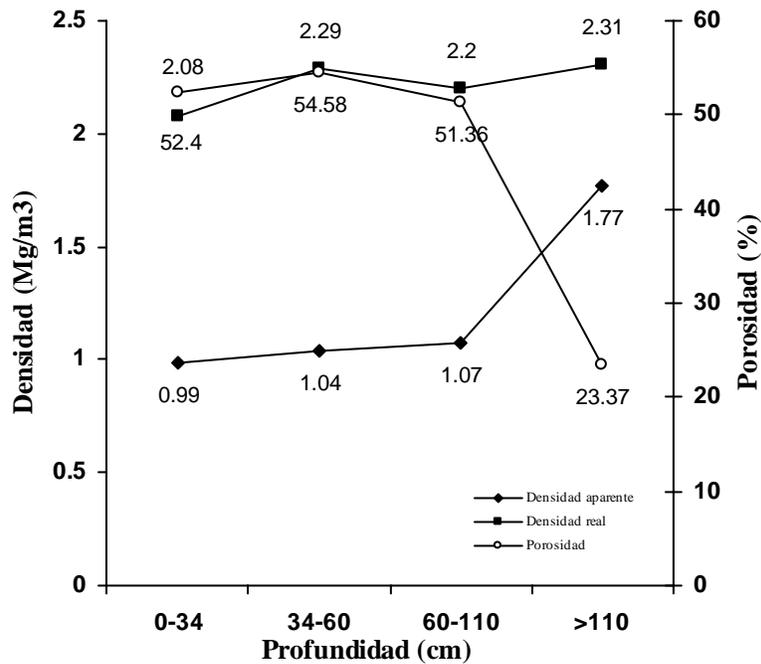


Figura 6.43. Densidad y la porosidad del suelo del P-20 Tlalpexco

El horizonte A tiene una textura franco-arcillosa; el Bt es arcilloso y a partir de los 60 cm se vuelve más gruesa la textura siendo franco-limosa en el C y franco-arcillosa en el 2Cqm (Figura 6.44). En todo el perfil existe gran cantidad de arcillas, aunque se incrementan con la profundidad, particularmente en el 2Cqm confiriéndole a este horizonte propiedades físicas e hidráulicas particulares, como oclusión de poros, fisuras y obstrucción del movimiento del aire y del agua (Rodríguez *et al.*, 1999 y Acevedo *et al.*, 2003).

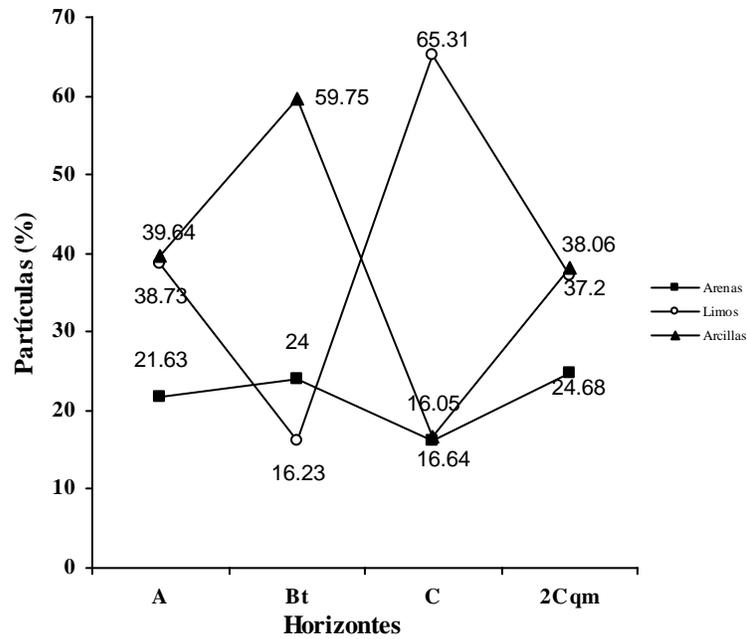


Figura 6.44. Distribución de partículas del suelo del P-20 Tlalpexco

En el horizonte A predominan los limos y las arcillas sobre las arenas que ocupan alrededor del 20%. La fracción de arenas está dominada por las de tamaño fino y grueso, así como limos gruesos y medios (Tabla 6.29). En el horizonte Bt se incrementa ligeramente la cantidad de arenas gruesas y muy gruesas, disminuyendo los limos pero dominando la fracción <0.002 mm de diámetro por lo que le confiere a este horizonte una textura arcillosa. Mientras que el horizonte C sufre un decremento en las arenas y aumentan los limos gruesos, medios y finos confiriéndole una textura franco-limosa. Por último, en el horizonte 2Cqm hay un dominio de los limos y arcillas sobre las arenas, en conjunto ambos ocupan el 75% sobre las arenas, manifestándose en una textura franco-arcillosa.

Tabla 6.29. Distribución granulométrica de las partículas del P-20 Tlalpexco

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
A	0-34	1.47	5.44	0.11	10.31	4.30	21.63	26.50	10.31	1.92	38.73	39.64
Bt	34-60	4.17	8.34	4.96	3.49	3.04	24.00	1.01	5.30	9.92	16.23	59.75
C	60-110	2.26	5.54	1.47	4.52	2.26	16.05	18.08	33.11	14.12	65.31	16.64
2Cqm	>110	7.88	3.71	4.05	4.75	4.29	24.68	18.54	13.56	5.10	37.20	38.06

Hz = Horizonte; Prof. = Profundidad; [†] mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm). [§] Partículas menores que 0.002 mm

Las formas que dominan en la fracción mineral son muy angulares en todos los horizontes de este perfil, mismas que a su vez presentan una baja esfericidad (80%). Se considera que las partículas minerales de este suelo son producto del intemperismo y poco transporte a que han estado sujetas, por lo que se consideran básicamente de formación *in situ*. Igualmente todas las partículas minerales de los horizontes de este suelo tienen una baja esfericidad (Tabla 6.30) lo que fortalece el hecho de la poca agresividad climática, así como al escaso acarreo que han tenido estos materiales (Vela y Flores, 2004a).

Tabla 6.30. Esfericidad y redondez de las partículas del P-20 Tlalpexco

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-34	A	100					20	80
34-60	Bt	80	20				15	85
60-110	C	100					15	85
>110	2Cqm	100					20	80

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado.

6.10.3. Propiedades Químicas del Suelo. Con base en Jones y Wolf (1984), el pH se considera ácido en el horizonte A por los aportes constantes de materia orgánica de la vegetación del lugar, mientras que se considera neutro por el Bt y C donde el ligero incremento se atribuye por el enriquecimiento de bases provenientes de los horizontes superiores, mientras que es alcalino en el horizonte 2Cqm donde se estima existe cierta acumulación de bases provenientes de los horizontes superficiales y que debido a la escasa precipitación de la Sierra gran parte del Ca^{2+} gracias a su poca solubilidad se ha acumulado en este horizonte como lo demuestran los valores que se presentan en la Tabla 6.31.

Por otra parte, el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad y de acuerdo con Fassbender y Bornemisza (1987), se considera como pobres en materia orgánica a los horizontes A y Bt llegando a considerarse como muy pobres los horizontes C y 2Cqm. Igualmente estos autores hacen mención que el contenido de carbono orgánico es muy pobre en todo el perfil, con excepción del horizonte A que se considera pobre.

En general, la capacidad de intercambio catiónico es alta en todo este suelo, atribuible más que al contenido de materia orgánica al tipo y contenido de arcillas. La saturación de bases es mayor al 50% con un predominio en iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} lo cual está relacionado con la escasa precipitación que se presenta en la zona.

Tabla 6.31. Propiedades químicas del P-20 Tlalpexco

Hz	Prof (cm)	pH 1:2	M.O (%)	C (%)	C.I.C cmol+/kg	Iones intercambiables (cmol+/kg)				PSB %
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-34	5.9	4.18	2.42	18.26	12.6	3.5	0.7	1.1	98.02
Bt	34-60	6.6	1.39	0.80	23.05	7.7	9.8	1.3	1.5	88.06
C	60-110	6.8	0.27	0.15	23.06	8.4	7.0	1.4	1.2	78.05
2Cqm	>110	7.5	0.20	0.11	27.80	14.0	8.4	1.8	1.3	91.72

Hz=Horizonte; pH en agua; MO=Materia Orgánica; C=Carbono orgánico; CIC= Capacidad de Intercambio Cationico; PSB=Porcentaje de Saturación de Bases

6.11. PERFIL 22. LA PALOMA.

6.11.1. Características Morfológicas. Este sitio se encuentra a 50 m de la capilla y al sureste del arroyo La Paloma, son terrazas que se dedican al cultivo de maíz y frijol; la pendiente es de 30% y el material parental está constituido principalmente por tobas, aunque existen afloramientos rocosos de andesitas (Figura 6.45). La vegetación del sitio está constituida por *Schinus molle* L., en las orillas de los senderos y caminos, así como algunos ejemplares de maguey manso *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dick. y entre los arbustos el más común es *Mimosa biuncifera* Benth. Son terrenos bastante pedregosos, dominando la piedras de 10 a 20 cm de diámetro de tipo andesítico.



Figura 6.45. Panorámica del paraje La Paloma.

Se describieron 2 horizontes (Figura 6.46). El horizonte Ap tiene un espesor de 0 a 20 cm de profundidad; presenta una transición abrupta de forma horizontal con la siguiente capa; se encontraba ligeramente húmedo; su textura es franco-limosa; la consistencia en seco es blanda y en húmedo muy friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es pardo grisáceo muy oscuro (2.5YR 3/2) y negro en húmedo (10YR 2/1); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; es ligeramente pedregoso, dominan las gravas de forma subangular de andesita; la permeabilidad se considero rápida; las raíces son comunes de tamaño fino; presentó numerosos poros finos de forma vesicular y en general se considera como un suelo bien drenado.

El horizonte AC tiene una profundidad de 20 a 80 cm; presenta una transición abrupta de forma ondulada con la siguiente capa; se encontraba seco; su textura es franco-limosa; su consistencia en seco es ligeramente dura y en húmedo friable; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; el color en seco es gris muy oscuro (10YR 3/1) y negro en húmedo (10YR 2/1); su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; es pedregoso, predominando las piedras de tamaño grande y pequeñas de andesita; la permeabilidad se considero como rápida; las raíces son comunes de tamaños fino; presentó numerosos poros de diámetro fino de forma vesicular y en general es un suelo bien drenado. A partir de una profundidad de 80 cm se encuentra el lecho rocoso, R el cual está formado por andesita.

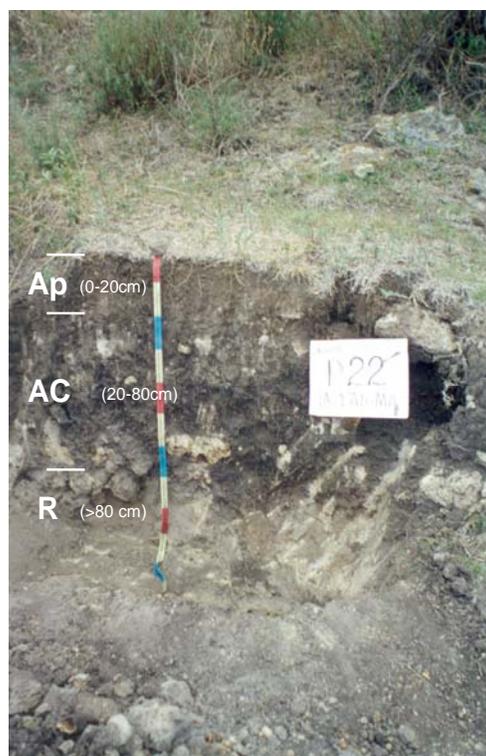


Figura 6.46. Fotografía del P-22 La Paloma

6.11.2. Propiedades Físicas del Suelo. El suelo de este sitio es moderadamente profundo, al presentar una profundidad máxima de 80 cm a partir de su superficie. La densidad aparente oscila entre 0.92 Mg/m³ en el horizonte Ap, donde existen aportes importantes recientes de materia orgánica, especialmente por la incorporación de residuos de las cosechas de maíz y frijol, incrementándose

con la profundidad hasta llegar a 1.23 Mg/m³ donde se presentan los materiales menos intemperizados (Figura 6.47). Igualmente, la densidad real presenta un incremento con la profundidad y el espacio poroso es mayor del 50% lo que los hace favorables para el intercambio gaseoso y la filtración de agua en todo el perfil.

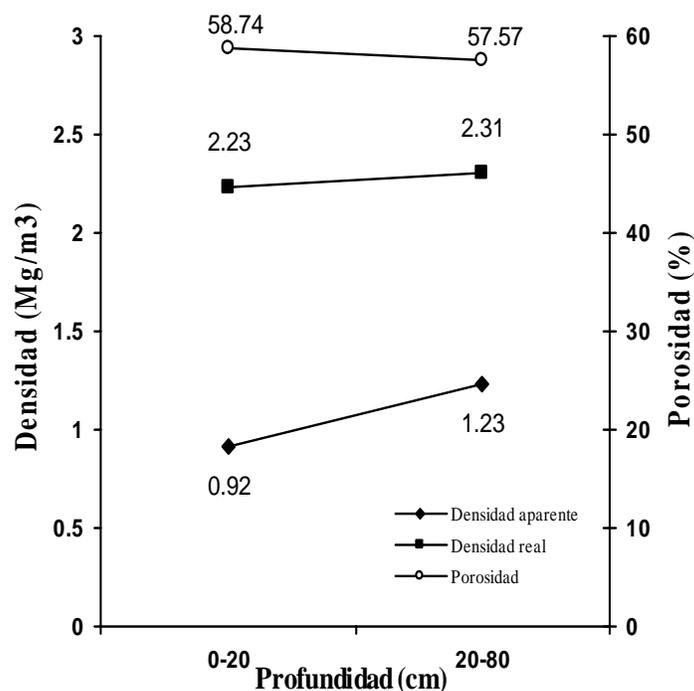


Figura 6.47. Densidad y porosidad del suelo del P-22 La Paloma

La Figura 6.48 muestra que los horizontes Ap y AC tienen una textura franco-limosa, siendo la fracción dominante los limos y las arenas, principalmente por el laboreo a que está sujeto este suelo. Este suelo se considera con un escaso grado de evolución, ya que están presentes fragmentos mayores a 2 mm de diámetro en ambos horizontes y conforme se incrementa la profundidad, la presencia de fragmentos de mayor tamaño es más evidente.

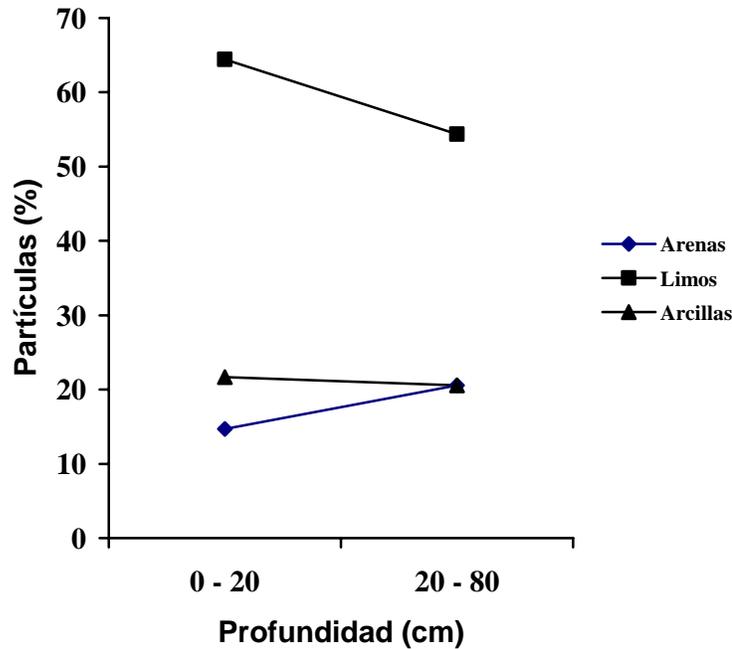


Figura 6.48. Distribución del tamaño de partículas del P-22 La Paloma

Los resultados del análisis granulométrico (Tabla 6.32) arrojaron los siguientes datos: en el horizonte Ap predominan los limos con un 64% sobre las arcillas (22%) especialmente los limos gruesos y medios como producto del intemperismo de la roca original y que dadas las condiciones climáticas donde la precipitación no es intensa predominan las partículas de ese tamaño.

Mientras que en el horizonte AC las arenas y los limos predominan sobre las arcillas, donde la alteración de los materiales es menos intensa. Por lo mismo, la fracción dominante de arenas corresponde a las de tamaño fino y grueso, así como de limos gruesos.

Tabla 6.32. Distribución granulométrica de las partículas del P-22 La Paloma

Hz	Prof (cm)	Arenas [†]					Total	Limos [‡]			Total	Arcillas [§]
		mg	g	m	f	mf		g	m	f		
Ap	0-20	5.19	2.55	2.00	3.75	1.20	14.69	86.13	68.64	26.15	64.45	21.68
AC	20-80	4.09	5.96	1.29	8.77	4.91	25.02	24.79	19.53	10.06	54.38	20.58
R	>80	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

mg muy gruesa (2 a 1 mm); g = gruesa (1 a 0.5 mm); m = media (0.5 a 0.25 mm); f = fina (0.25 a 0.05 mm); mf = muy fina (0.10 a 0.05 mm). [‡] g = grueso (0.05 a 0.02 mm); m = medio (0.02 a 0.005 mm); f = fino (0.005 a 0.002 mm).

[§] s < 0.002 mm

Este sitio corresponde a terrazas con uso agrícola, donde la fracción de arenas y limos, se encuentra en constante alteración y que se espera dada la estabilidad que presentan estos suelos por encontrarse en superficies casi planas puedan en un futuro alterarse y propiciar la formación de arcillas a partir de procesos edáficos *in situ* (Figura 6.49). Estas terrazas se encuentran bordeadas con *Agave* sp. y frutales como el capulín *Prunus capulli*.

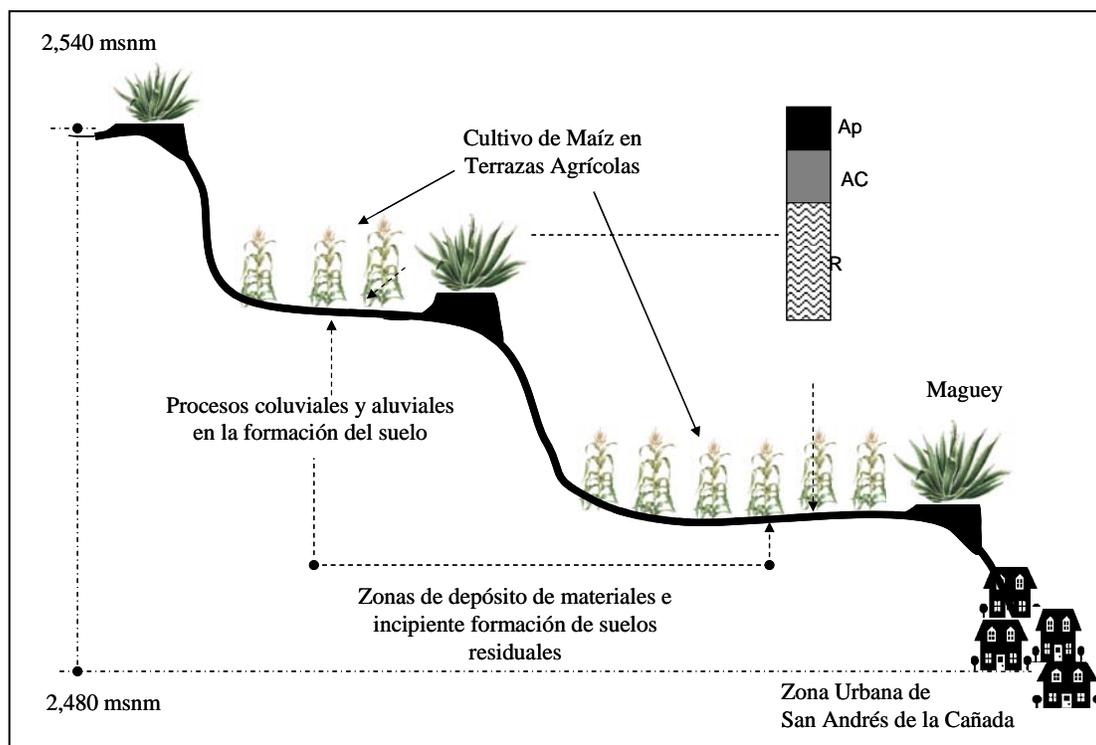


Figura 6.49. Ladera Norte en el paraje Tabla del Pozo

Las formas que dominan en la fracción mineral son angulares y muy angulares en más de un 50% dado que el suelo se considera joven y donde la agudeza en sus formas se incrementa con la profundidad en los materiales menos alterados. En cuanto a la esfericidad esta es muy baja (<70%), por el escaso transporte a que están sujetos estos suelos, ya que a pesar de encontrarse en una ladera, las terrazas han servido para aminorar los procesos de erosión y conferirle cierta estabilidad a los procesos edáficos (Tabla 6.33).

Tabla 6.33. Esfericidad y redondez de las partículas del P-22 La Paloma

Profundidad (cm)	Horizonte	Redondez (%)					Esfericidad (%)	
		MA	A	SA	SR	R	Alta	Baja
0-20	Ap	50	50				20	80
20-80	AC	85	15					100
>80	R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

MA = Muy angular; A = Angular; SA = Subangular; SR = Subredondeado y R = Redondeado.

6.11.3. Propiedades Químicas del Suelo. En general puede decirse que el pH con base en Vazquez (1997) tiende a la neutralidad en ambos horizontes, aunque es ligeramente más ácido el horizonte Ap debido a la integración de residuos de la cosecha anterior (Tabla 6.34).

El contenido de materia orgánica de acuerdo con Fassbender y Bornemiza (1987) es medio en ambos horizontes al igual que el de carbono orgánico, pero dadas las condiciones climáticas que se presentan en la sierra la integración de la materia orgánica al sistema suelo es muy lenta, lo que se refleja a su vez en que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de acuerdo con Cottenie (1980) se considera baja, lo cual tiene relación con el escaso contenido de arcillas, que generalmente en estos suelos provienen sobre todo de la hidrólisis del vidrio volcánico, lo que propicia la formación de arcillas de tipo 1:1 como la haloisita.

El PSB es mayor del 50% con predominio de Ca^{2+} y Mg^{2+} lo cual se relaciona con el pH y la escasa precipitación que se presenta en la zona. Particularmente el Ca^{2+} domina en el horizonte superficial como producto de estar sujeto a un intemperismo más acelerado que en los horizontes inferiores.

Tabla 6.34. Propiedades químicas del P-22 La Paloma

Hz	Prof (cm)	pH	M.O 1:2 (%)	C (%)	C.I.C <i>cmol+/kg</i>	Iones intercambiables (<i>cmol+/kg</i>)				PSB %
						Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	
Ap	0-20	A	6.9	5.30	11.37	18.2	0.84	7.7	0.6	100.00
AC	20-80	AC	6.5	4.25	7.87	4.9	0.51	8.4	0.8	100.00
R	>80	R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Hz=Horizonte; pH en agua; MO=Materia Orgánica; C=Carbono orgánico; CIC= Capacidad de Intercambio Cationico; PSB=Porcentaje de Saturación de Bases

6.12. ANALISIS DE LAS CAPAS ENDURECIDAS DE LOS SUELOS.

Algunos suelos de la Sierra de Guadalupe, presentan capas endurecidas, las cuales pueden limitar el crecimiento de las raíces de las plantas y dificultan el desarrollo de actividades agrícolas y el establecimiento de plantaciones forestales (Pimentel, 1992; Quantin *et al*, 1993).

La identificación del agente cementante de las capas 2Cqm del Perfil 4a Zacatenco y del P-20 Tlalpexco, se llevó a cabo mediante la inmersión de fragmentos en agua en la cual los materiales de ambos perfiles no se colapsaron, pero al tratarlos con KOH caliente con una concentración al 30%, se colapsaron en muy poco tiempo. El KOH es un álcali fuerte que ataca los compuestos silíceos que constituyen el agente cementante en estos materiales y por lo mismo se atribuye que estos corresponden a materiales tobáceos poco alterados (Vela y Flores, 2004a).

Por otra parte, la prueba de resistencia a la compresión no confinada, se realizó en núcleos que se labraron a mano, para el caso del P-4a Zacatenco las dimensiones de este fueron de 4 cm de diámetro y una altura de 9.8 cm con un contenido de humedad del 7.2%, mientras que para el núcleo del P-20 Tlalpexco las medidas fueron de 10 cm de largo por 3.9 cm de diámetro, el cual presentó un contenido de humedad del 6.7%. El primero de ellos soportó una fuerza de 19.5 kg cm⁻² y el segundo soportó una fuerza de 14.09 kg cm⁻² como se muestra en la Figura 6.50.

Se estima, que en ambos núcleos su resistencia se debe a un proceso diagenético más que pedogénico, provocada por una cementación por sílice,

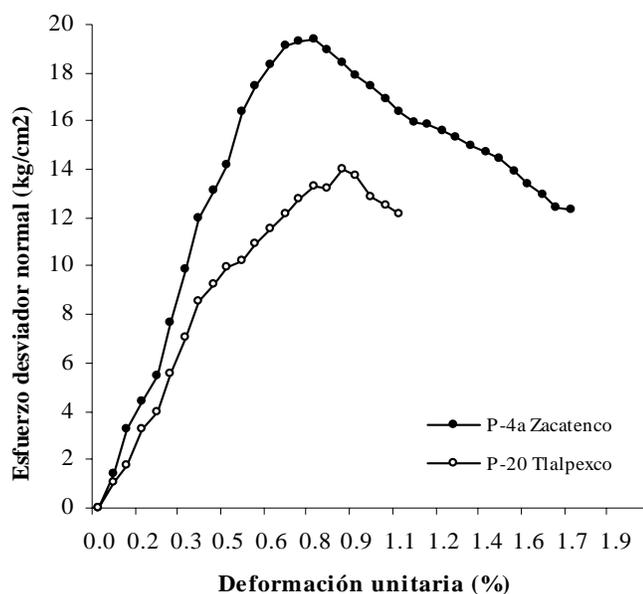


Figura 6.50. Resistencia a la compresión del 2Cqm del P-4a y P-20

especialmente en su parte menos alterada. Además de existir un empaquetamiento muy cerrado, provocado adicionalmente por una elevada presencia y compactación de arcillas, derivadas de los procesos de intemperismo a que han estado sujetos estos materiales en su parte más superficial. Por otra parte, el análisis realizado con la microsonda del microscopio electrónico de barrido, confirma que el material de los horizontes 2Cqm en ambos perfiles, se encuentra poco intemperizado, debido a que presenta cantidades muy elevadas de SiO_2 en comparación con Al_2O_3 y Fe_2O_3 (Tabla 6.35).

Tabla 6.35. Óxidos totales de las capas endurecidas

Perfil No	Paraje	Prof (cm)	Horizonte	Óxidos totales (%)		
				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
P-4a	Los Gachupines	>29	2Cqm	67.30	20.12	3.22
P-20	Tlalpexco	>42	2Cqm	67.90	20.98	4.27

Asimismo se estima que estos materiales, se consolidaron a partir de procesos diagénicos ya que la micrografía tomada con el microscopio electrónico de barrido (Figura 6.51) muestra una matriz muy compacta, con rasgos de escasa alteración, así como nula iluviación de sílice y arcillas por lo que estos materiales corresponden genéricamente a una toba de origen dacítico–andesítico (Vela y Flores, 2004a).

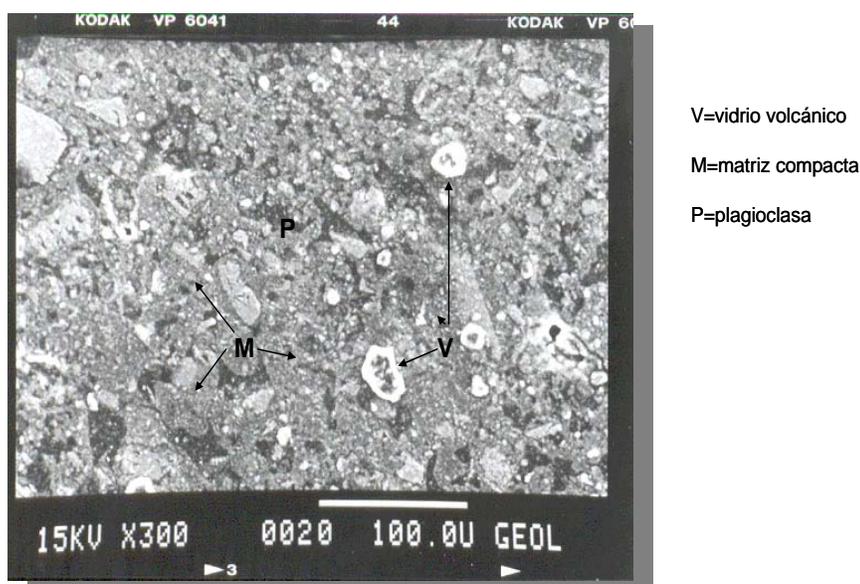


Figura 6.51. En la micrografía del horizonte 2Cqm del P-4a, donde se observa que existe escasa alteración en los bordes de los minerales, en una matriz muy compacta, lo que supone son materiales formados a partir de procesos diagénicos

Por otra parte, en el Perfil 10, la identificación del agente cementante en la capa 2Cx, se realizó mediante la inmersión de fragmentos del tamaño de un puño, en agua, los cuales se disgregaron rápidamente, por lo que se estima se trata de un material con características de tipo fragipán, como lo reportan en trabajos semejantes en el Estado de Morelos (Flores *et al.*, 1992) y en el Estado de México (Acevedo y Flores, 2000).

Es interesante mencionar que al realizar la prueba de resistencia a la compresión no confinada en los núcleos labrados a mano, este núcleo tuvo 4 cm de diámetro por 10 cm de largo, con un contenido de humedad de 7.2% (Figura 6.52) soportó una fuerza de 28 kg cm⁻², siendo mayor que la reportada en los materiales de características dúricas como el determinado en el perfil P-4a Zacatenco y P-20 Tlalpexco.

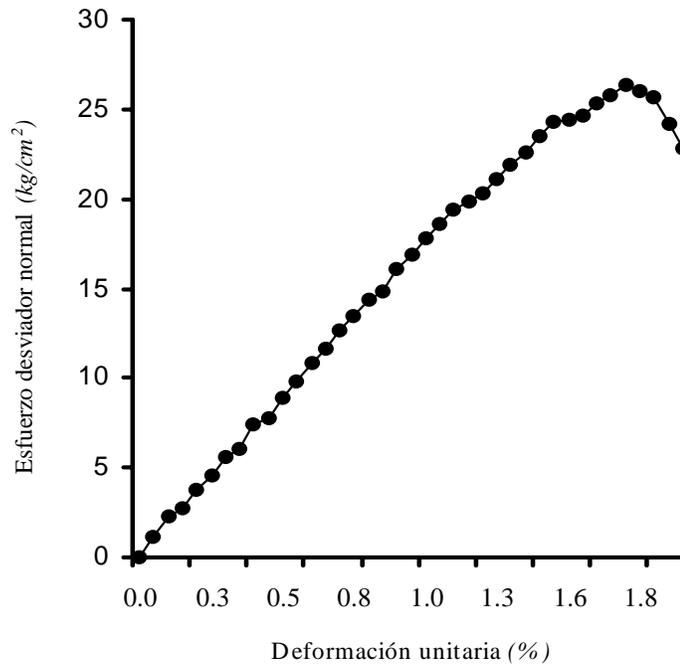


Figura 6.52. Compresión no confinada del horizonte Cx del P-10

Se considera que la dureza de esta capa, se debe a que se trata de un material que presenta en su matriz un empaquetamiento muy cerrado, provocado por una elevada compactación por arcillas y una cementación escasa o nula, atribuible esto por su fácil colapsamiento con agua. Lo anterior apoya la hipótesis de que en el horizonte 2Cx las arcillas se encuentran muy compactas, en parte por la lixiviación de soluciones de los horizontes superficiales y por los periodos de sequía y humedad que se presentan en la Sierra, favorecieron la actividad de los procesos pedogénicos como el relleno de poros por arcillas que contribuyeron a la formación de un material con características de tipo fragipán (Duncan y Franzmeier, 1999; Vela y Flores, 2004a).

Por otra parte, el análisis realizado con la microsonda del microscopio electrónico de barrido, confirmó que el material del horizonte 2Cx se encuentra poco intemperizado, ya que los resultados presentaron cantidades muy elevadas de

SiO₂ más que de Al₂O₃ y Fe₂O₃ los cuales se muestran en la Tabla 6.36. Lo que sugiere se trata de materiales donde predominan los procesos diagénicos y donde los procesos pedogénicos aun son incipientes, al no existir evidencias de eluviación de sílice y únicamente existe relleno de poros por materiales arcillosos en la parte más superficial y/o alterada de esta capa (Vela y Flores, 2004a).

Tabla 6.36. Óxidos totales de la capa 2Cx

Perfil No	Prof (cm)	Horizonte	Óxidos totales (%)		
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
P-10	>42	2Cx	45.93	18.41	7.01

6.13. PROPIEDADES MINERALÓGICAS DE LOS SUELOS.

Los resultados del análisis por difracción de rayos X indicaron que la fracción arcilla está compuesta por esmectita, haloisita y caolinita (Tabla 6.37). La haloisita está presente en todos los suelos estudiados, particularmente en los horizontes superficiales, la cual se considera un producto de la hidrólisis que presentan los materiales volcánicos que se encuentran en estos suelos, como resultado de los procesos de intemperismo del vidrio volcánico, los feldespatos y aluminosilicatos (García *et al.*, 1986; Quantin, 1992; Elsass *et al.*, 2000). Se estima que la alteración del vidrio volcánico generó cantidades importantes de compuestos amorfos alofánicos (García *et al.*, 1986; Campos y Dubroeuq, 1992 Acevedo, 1997; Hidalgo *et al.*, 1997; Elsass *et al.*, 2000).

En algunos suelos, dominan las arcillas esmectíticas de tipo montmorillonítico, principalmente en los horizontes 2Bt y 3BC del P-2 Vicente Guerrero y en la capa C del P-7 El Panal y es dominante en todos los horizontes del P-10 Las Caballerizas. Es importante hacer notar que que estos sitios se encuentran en áreas planas, por lo que se considera que estas arcillas, se originaron a partir de procesos de neoformación, mediante la hidrólisis del vidrio volcánico y la alteración de las plagioclasas cálcicas, formando inicialmente haloisita y posteriormente habiendo una ganancia de Mg^{2+} transformándose en montmorillonita, favorecida por las condiciones de drenaje y lavado moderados en sitios donde la pendiente es menor al 3%, (Vela y Flores, 2004b).

El análisis también indicó, que donde existen esmectitas de tipo montmorillonítico aunque no se encuentran en fase dominante, incrementan sensiblemente la capacidad de intercambio catiónico. Es conveniente hacer notar que en los suelos donde se encuentran esmectitas es común la presencia de grietas verticales, en el perfil y en la superficie de los suelos lo que le confiere cierto tipo de propiedades vérticas, derivadas de la presencia de arcillas tipo 2:1.

La caolinita esta presente en el P-2 Vicente Guerrero, P-16 Moctezuma, P-20 Tlalpexco y P-22 La Paloma la cual pudo haberse originado a partir de la deshidratación de la haloisita por simple envejecimiento y reordenamiento estructural, pasando por una fase amorfa, con pérdida parcial de sílice, favorecido esto por las reacciones de hidrotermalismo, que en alguna época se manifestaron en la Sierra de Guadalupe (Dr. Luis Silva Mora, Instituto de Geología, UNAM., Comunicación personal, XI-2000); (Acevedo y Flores, 2000). Dichos eventos, se estima se presentaron a finales del Pleistoceno favoreciendo la formación de este

mineral, particularmente en la parte central de la Sierra de Guadalupe (Lozano, 1968; Acevedo y Flores, 2000).

Tabla 6.37. Análisis mineralógico de la fracción arcilla

Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	Mineral		
			Caolinita	Esmectita	Haloisita
P-1a. Los Gachupines	A11	0-5			X
	A12	5-36			X
	2R	>36	---	---	---
P-2. Vicente Guerrero	Ap	0-20			X
	2A	20-35			X
	2Bt	35-48		X	
	3BC	48-55		X	
P-4a. Zacatenco	A	0-29	X		X
	2Cqm	>29			X
P-6. El Chiquihuite	A	0-10			X
	AC1	10-59			X
	AC2	59-70			X
	R	>70	---	---	---
P-7. El Panal	A	0-18			X
	AC	18-50			X
	C	>50		X	X
P-8. El Tenayo	A	0-28			X
	2R	>28	---	---	---
P-10. Las Caballerizas	A1	0-10		X	X
	A2	10-59		X	
	C	59-70		X	
	2Cx	>70		X	
P-15. El Fraile	A	0-7			X
	Bt	7-39			X
	C1	39-56			X
	C2	56-78			X
P-16. Moctezuma	A	0-40			X
	AC11	40-63	X		
	AC12	63-90	X		X
	C	90-139	X		
	R	>139	---	---	---

(Continuación) **Tabla 6.37.** Análisis mineralógico de la fracción arcilla

Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	Mineral		
			Caolinita	Esmectita	Haloisita
P-20. Tlalpexco	A	0-34	X		X
	Bt	34-60	X		X
	C	60-110			X
P-22. La Paloma	2Cqm	>110			X
	Ap	0-20			X
	AC	20-80	X		X
	R	>80	---	---	---

Con la ayuda de secciones delgadas y del microscopio electrónico de barrido se realizó la observación de los materiales que componen los horizontes 2Cqm del P-4a Zacatenco y 4Cqm en el P-2 Vicente Guerrero, donde se determinó que estos materiales están compuestos por una matriz de vidrio desvitrificada, con fragmentos de andesitas y piroclastos que se consolidaron al momento de su depósito formando una toba (Figura 6.53) y donde los principales minerales son las plagioclasas angulosas y subangulosas, feldespatos de potasio y escasos fragmentos de cuarzo, además de biotitas, piroxenos y hornblenda.

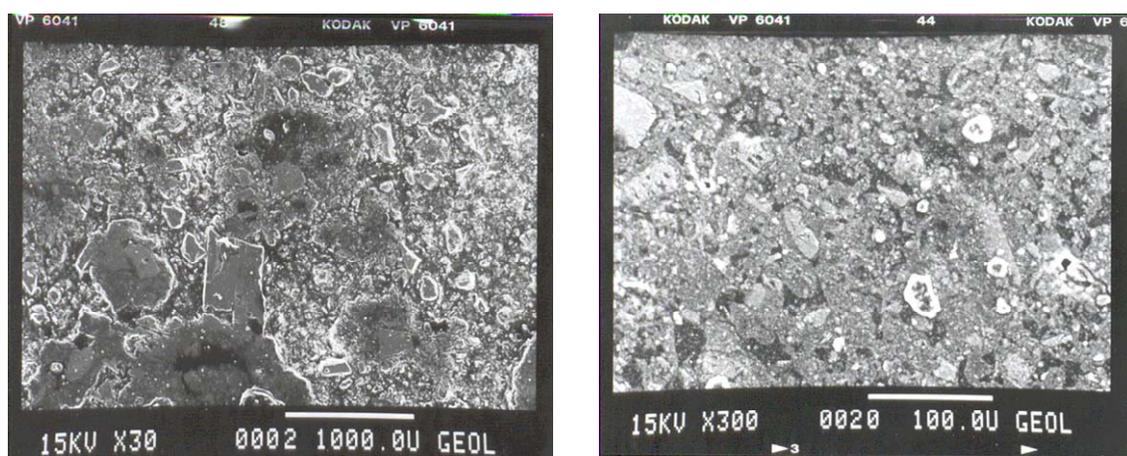


Figura 6.53. Ambas fotomicrografías de los horizontes 2Cqm del P-4a Zacatenco y 4Cqm en el P-2 Vicente Guerrero muestran fragmentos de cuarzo, plagioclasas y cenizas consolidadas, propias de una toba en una matriz muy compacta

6.14. INTEMPERISMO DE LOS SUELOS

6.14.1. P-1a. Los Gachupines. El impacto por intemperismo no es muy severo, debido a que la cantidad de SiO₂ es muy elevada en comparación con la de Al₂O₃ lo que denota poca alteración de los materiales edáficos. El orden y la abundancia de los óxidos fue SiO₂>Al₂O₃>Fe₂O₃ aunque se reportan trazas de óxidos de Fe y Na atribuible a la alteración de ferromagnesianos y feldespatos cálcicos y sódicos, provenientes de los aportes recientes de materiales volcánicos (Tabla 6.38).

Es importante mencionar que la constante (K) de aluminio, se obtuvo de dividir el porcentaje de aluminio de la roca inalterada entre el porcentaje de aluminio de la roca alterada. Esta constante se multiplica por cada uno de los óxidos de los horizontes alterados. Los resultados se comparan con la roca inalterada y por diferencia se obtienen las pérdidas o ganancias de minerales partir del lecho rocoso sobre el cual se encuentran.

A partir de lo anterior y con los datos texturales, se estima que los horizontes superficiales fueron depositados por la gravedad, la lluvia y el viento, lo que se demuestra con los porcentajes de óxidos totales, ya que las pérdidas y/o ganancias no son significativas entre un estrato y otro (Acevedo *et al.*, 2003).

Tabla 6.38. Óxidos totales y pérdidas o ganancias por intemperismo del P-1a. Los Gachupines

Horizonte	Óxidos totales (%)								
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
A11 (0-5)	60.07	3.95	2.17	17.01	0.10	0.49	0.28	3.42	0.20
A12 (5-36)	60.51	4.22	2.32	18.51	0.14	0.50	0.17	2.72	0.08
A11(K) Al ₂ O ₃	65.37	4.30	2.36	18.51	0.11	0.53	0.30	3.72	0.22
Pérdidas o ganancias									
A11	4.86	0.08	0.04	0.00	-0.03	0.03	0.13	1.00	0.14

La relación de óxidos libres entre SiO₂/Al₂O₃ indica que el proceso de alteración no es severo (Tabla 6.39), ya que presenta valores superiores a 2. Igualmente la secuencia de óxidos libres es Si>Al>Fe se debe a las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio.

Tabla 6.39. Óxidos libres y relaciones molares en el P-1a. Los Gachupines

Horizonte	Profundidad (cm)	Óxidos libres (%)			Relaciones molares	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
A11	0-5	0.81	0.27	0.50	5.09	4.31
A12	5-36	0.81	0.20	0.42	6.87	5.13

6.14.2. P-2 Vicente Guerrero. El impacto por intemperismo es moderado, debido a que en los óxidos totales que se determinaron, la cantidad de SiO₂ es muy elevada en comparación con la de Al₂O₃ por la escasa alteración de los materiales edáficos (Tabla 6.40) ya que se considera que estos suelos no se formaron a partir del lecho rocoso, sobre el cual están depositados, sino que se consideran como discontinuidades litológicas ya que en parte se formaron por la acción antropogénica, lo cual se refleja en no haber pérdidas o ganancias significativas entre un estrato y otro.

Además a mayor profundidad se presentan materiales menos impemperizados, aunque se reportan ligeras ganancias de FeO y Fe₂O₃ en los horizontes Bt y BC por la migración y deposición de minerales arcillosos y óxidos de hierro. También se presentó un incremento de CaO en los horizontes 2Bt, 3BC y 4Cqm que se considera tiene su origen a partir de la degradación de feldespatos cálcicos y un incipiente lavado de bases, lo que favorece que éstos materiales no sean completamente desplazados del perfil del suelo.

Los valores de óxidos de silicio demuestran que se trata de materiales recientes donde los feldespatos y el vidrio volcánico se encuentran poco alterados y donde el orden y la abundancia de óxidos es SiO₂ > Al₂O₃ > Fe₂O₃ atribuible a la alteración minerales, provenientes de los recientes aportes volcánicos (Acevedo *et al.*, 2003).

Tabla 6.40. Óxidos totales y pérdidas o ganancias por intemperismo del P-2 Vicente Guerrero

Horizonte	Óxidos totales (%)								
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Ap (0-20)	53.36	4.08	2.24	17.19	0.14	4.66	0.67	5.42	0.24
2A (20-35)	47.90	4.06	2.22	19.06	0.12	6.80	0.19	4.51	0.08
2Bt (35-48)	50.31	3.66	2.01	14.68	0.09	6.88	0.24	2.99	0.01
3BC (48-55)	51.18	3.51	1.93	16.42	0.09	4.02	0.18	2.89	0.04
4Cqm (>55)	61.62	3.96	1.99	21.13	0.14	0.08	0.00	1.03	1.10
Ap (K) Al ₂ O ₃	65.63	5.02	2.76	21.14	0.17	5.73	0.82	6.67	0.30
2A(K) Al ₂ O ₃	52.69	4.47	2.44	20.97	0.13	7.48	0.21	4.96	0.09
2Bt(K) Al ₂ O ₃	72.45	5.27	2.89	21.14	0.13	9.91	0.35	4.31	0.01
3BC(K) Al ₂ O ₃	73.19	5.02	2.76	23.48	0.13	5.75	0.26	4.13	0.06
Pérdidas o ganancias									
Ap	4.01	1.06	0.77	0.01	0.03	5.65	0.82	5.64	-0.80
2A	-8.93	0.51	0.45	-0.16	-0.01	7.40	0.21	3.93	-1.01
2Bt	10.83	1.31	0.90	0.01	0.01	9.83	0.35	3.28	-1.09
3BC	11.57	1.06	0.77	2.35	-0.01	5.67	0.26	3.10	-1.04

En cuanto a los óxidos libres, la relación SiO₂/Al₂O₃ indica que domina la fracción de sílice (Tabla 6.41), ya que presenta valores superiores a 2. Igualmente la secuencia de óxidos libres es Si > Al > Fe debido a las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio y a la incorporación de materiales recientes con el propósito de darle espesor al suelo y disminuir la pendiente de la ladera en que se encuentran estas terrazas.

Tabla 6.41. Óxidos libres y relaciones molares del P-2 Vicente Guerrero

Horizonte	Profundidad (cm)	Óxidos libres (%)			Relaciones molares	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
Ap	0-20	0.77	0.19	0.47	6.88	4.36
2A	20-35	0.98	0.13	0.51	12.79	5.19
2Bt	35-48	1.00	0.12	0.43	14.14	6.18
3BC	48-55	1.07	0.11	0.45	16.51	6.32

6.14.3. P-4a Zacatenco. La cantidad de SiO₂ es muy elevada en comparación con la de Al₂O₃ y Fe₂O₃ por la poca alteración que presentan los materiales edáficos (Tabla 6.42). A mayor profundidad se reportan ligeras

ganancias en FeO y Fe₂O₃ provenientes principalmente de la alteración de minerales ferromagnesianos. El orden y la abundancia de los óxidos fue SiO₂ > Al₂O₃ > Fe₂O₃ debido a la alteración de materiales volcánicos (Acevedo *et al.*, 2003).

Tabla 6.42. Óxidos totales y pérdidas o ganancias por intemperismo del P-4a Zacatenco.

Horizonte	Óxidos totales (%)								
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
A (0-29)	58.36	3.95	2.17	19.22	0.12	0.56	0.11	3.89	0.08
2Cqm (>29)	54.56	3.63	1.99	21.67	0.46	0.40	0.01	3.82	0.01
A(K) Al ₂ O ₃	65.95	4.46	2.45	21.72	0.14	0.51	0.12	4.40	0.09
Pérdidas o ganancias									
A	3.80	0.32	0.18	-	-0.34	0.05	0.10	0.07	0.07

Los óxidos libres de los horizontes superiores indica que el proceso de alteración es moderado y que donde domina la fracción sílice (Tabla 6.43). Igualmente la secuencia de óxidos libres es Si>Fe>Al dadas las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio. Los valores se consideran muy elevados, lo que ponen de manifiesto el escaso desarrollo de estos suelos y sugieren una alteración relativa de minerales primarios principalmente feldespatos de origen cálcico y sódico.

Tabla 6.43. Óxidos libres y relaciones molares del P-4a. Zacatenco

Horizonte	Profundidad (cm)	Óxidos libres (%)			Relaciones Molares	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
A	0-29	0.66	0.23	0.30	4.56	5.48
2Cqm	>29	0.86	0.26	0.82	5.26	2.61

6.14.4. P-10 Las Caballerizas. En este sitio el impacto por intemperismo no se considera severo y con base en las cantidades de óxidos totales, se tiene que el SiO₂ es muy elevado (>20%) en comparación con el Al₂O₃ situación que refleja escasa alteración de los materiales edáficos (Tabla 6.44).

En general, las pérdidas y ganancias entre un horizonte y otro son poco significativas debido a que se trata de materiales que se han depositado en diferentes periodos. Por otra parte, el orden y la abundancia de los óxidos que se determinaron fue SiO₂ > Al₂O₃ > Fe₂O₃.

Conforme se incrementa la profundidad del suelo, se presentan materiales menos imtemperizados. Aunque se reportan ligeras ganancias de FeO y Fe₂O₃ en los horizontes A1 y A2 debido a la oxidación de hierro provenientes de la alteración de ferromagnesianos. Igualmente existe una ligera ganancia de CaO en los horizontes A1, A2 y C que se estima proviene de la degradación de los feldespatos cálcicos y a su posible acumulación por el bajo nivel de agresividad climática que se presenta en la Sierra (Vela y Flores, 2004a).

Tabla 6.44. Óxidos totales y pérdidas o ganancias por intemperismo del P-10 Las Caballerizas

Horizonte	Óxidos totales (%)								
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
A1 (0-14)	55.72	3.82	2.10	13.40	0.10	2.12	0.33	2.27	1.05
A2 (14-28)	56.48	4.32	3.39	14.75	0.09	2.07	0.11	2.91	1.21
C (28-42)	54.54	4.19	2.30	17.84	0.10	2.37	0.31	3.27	1.68
2Cx (>42)	53.79	4.92	2.70	19.89	0.16	0.27	0.50	2.41	1.74
A1(K) Al ₂ O ₃	82.47	5.65	3.11	19.83	0.15	3.14	0.49	3.36	1.55
A2(K) Al ₂ O ₃	76.25	5.83	4.58	19.91	0.12	2.79	0.15	3.93	1.63
C(K) Al ₂ O ₃	59.99	4.61	2.53	19.62	0.11	2.61	0.34	3.60	1.85
Pérdidas o ganancias									
A1	28.68	0.73	0.41	-	- 0.01	2.87	- 0.01	0.95	- 0.19
A2	22.46	0.91	1.88	-	- 0.04	2.52	- 0.04	1.52	- 0.11
C	6.20	- 0.31	- 0.17	-	- 0.05	2.34	- 0.02	1.19	0.11

En cuanto a los óxidos libres, la relación SiO₂/Al₂O₃ de los horizontes superiores indica que el proceso de alteración es escaso al estar dominada la fracción mineral por sílice (Tabla 6.45). Se presentan valores muy elevados, por lo que ponen de manifiesto que este suelo tiene un escaso desarrollo y sugiere una alteración relativa de algunos minerales, principalmente feldespatos de origen cálcico y sódico, al igual que de vidrio volcánico, generando materiales de origen alofánico. La secuencia de óxidos libres es Si > Fe > Al debido a las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio y a los depósitos de materiales recientes poco alterados.

Tabla 6.45. Óxidos libres y relaciones molares del P-10 Las Caballerizas

Horizonte	Profundidad (cm)	Óxidos libres (%)			Relaciones molares	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
A1	0-14	0.89	0.15	1.14	10.06	2.08
A2	14-28	0.75	0.10	1.14	12.72	1.75
C	28-42	0.96	0.15	1.11	10.86	2.30
2Cx	>42	1.00	0.09	0.93	18.85	2.86

6.14.5. P-15 El Fraile, el impacto por intemperismo no es muy severo, lo que queda de manifiesto por las cantidades elevadas de SiO₂ que se determinaron de óxidos totales (Tabla 6.46). Además a mayor profundidad se presentan materiales menos impemperizados. Aunque se reporta una ligera ganancia de Fe₂O₃ en el horizonte A, atribuible al intemperismo de minerales como el olivino, piroxenos y biotita que son comunes en la Sierra (Acevedo *et al.*, 2004).

El orden y la abundancia de los óxidos fue SiO₂>Fe₂O₃>Al₂O₃ atribuible a la alteración de minerales amorfos como los alófanos, provenientes de los aportes recientes de materiales volcánicos.

Por otra parte, en cuanto al impacto por intemperismo a que está sujeto este suelo se considera que no es muy intenso, debido a que en las cantidades que se determinaron de óxidos totales el SiO₂ es muy elevado en comparación con el Al₂O₃ lo que denota poca alteración de los materiales líticos.

El orden y la abundancia de los óxidos fue SiO₂>Al₂O₃>Fe₂O₃ aunque se reportan trazas de óxidos de Fe y un ligero incremento de Na₂O en el horizonte A atribuible a la alteración feldespatos sódicos y cálcicos, productos de los aportes recientes de materiales volcánicos (Tabla 6.46).

Considerando los datos texturales, se estima que el origen de los horizontes se debe a diversos materiales piroclásticos, que se depositaron durante diversos eventos volcánicos, por lo que no pueden darse pérdidas o ganancias significativas entre un estrato y otro, lo cual queda demostrado ya que tanto las pérdidas como las ganancias fueron mínimas (Acevedo *et al.*, 2003).

Tabla 6.46. Óxidos totales y pérdidas o ganancias por intemperismo del P-15 El Fraile

Horizonte	Óxidos totales (%)								
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
A (0-14)	48.56	2.12	2.53	13.87	0.07	0.18	0.03	0.68	0.19
Bt (14-28)	53.96	3.72	2.04	19.30	0.10	0.11	0.01	0.35	0.19
C1 (28-42)	54.49	3.81	2.09	21.62	0.10	0.23	0.06	0.27	0.23
C2 (>42)	56.12	4.08	2.25	20.38	0.04	0.27	0.07	2.37	0.35
A(K) Al ₂ O ₃	71.35	3.11	3.72	20.38	0.10	0.26	0.04	1.00	0.28
Bt (K) Al ₂ O ₃	56.98	3.93	2.15	20.38	0.11	0.12	0.01	0.37	0.20
C1(K) Al ₂ O ₃	51.36	3.59	1.97	20.38	0.09	0.22	0.06	0.06	0.25
Pérdidas o ganancias									
A	15.23	-0.97	1.47	0.00	0.06	-0.01	-0.03	-1.37	-0.07
Bt	0.86	-0.15	-0.10	0.00	0.07	-0.15	-0.06	-2.00	-0.15
C1	-4.76	-0.49	-0.28	0.00	0.05	-0.05	-0.01	-2.31	-0.16

En cuanto a los óxidos libres, la relación SiO₂/Al₂O₃ de los horizontes superiores indica que el proceso de alteración es moderado ya que domina la fracción sílice (Tabla 6.47). Los valores se consideran muy elevados, por lo que ponen de manifiesto el escaso desarrollo de este suelo y sugieren una alteración relativa de algunos minerales primarios principalmente feldespatos de origen cálcico y sódico, generando materiales de origen alofánico. La secuencia de óxidos libres es Si>Fe>Al debido a las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio y/o a depositaciones de materiales recientes poco alterados.

Tabla 6.47. Óxidos libres y relaciones molares del P-15 El Fraile

Horizonte	Profundidad (cm)	Óxidos libres (%)			Relaciones molares	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
A ₁₁	0-40	1.30	0.25	0.79	8.82	4.37
A ₁₂	40-63	1.39	0.20	0.89	11.79	4.15
AC	63-90	1.37	0.16	1.17	14.53	3.11
C	>90	1.54	0.22	1.18	11.88	3.47

6.14.6. P-16 Moctezuma. En este sitio, como en la mayoría de los suelos estudiados en la Sierra de Guadalupe, se considera que el impacto por intemperismo no es severo, debido a que los óxidos totales, están dominados por SiO₂ el cual es muy elevado en comparación con el Al₂O₃ (Tabla 6.48).

A mayor profundidad se presentan materiales menos impemperizados, aunque se reportan ligeras ganancias de FeO y Fe₂O₃ en el A y AC11 por la

alteración y migración de óxidos de hierro provenientes de minerales ferromagnesianos. También se presentó una ligera ganancia de Ca en el horizonte A proveniente de la degradación de feldespatos cálcicos y su posible acumulación debido al bajo nivel de agresividad climática que se presenta en el lugar, lo que favorece que no sean desplazados del perfil del suelo con facilidad. El orden y la abundancia de los óxidos fue $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$ atribuible a la alteración minerales, provenientes de los aportes recientes de materiales volcánicos (Acevedo *et al.*, 2003).

Tabla 6.48. Óxidos totales y pérdidas o ganancias por intemperismo del P-16 Moctezuma

Horizonte	Óxidos totales (%)								
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
A (0-40)	56.25	3.76	2.06	18.36	0.06	0.42	0.27	3.37	0.65
AC11 (40-63)	56.16	4.31	2.36	19.05	0.06	0.32	0.43	3.03	0.65
AC12 (63-90)	58.03	4.24	2.34	20.43	0.00	0.33	0.16	4.41	0.82
C (90-139)	58.26	4.07	2.23	20.50	0.00	0.30	0.16	3.08	0.82
A(K) Al ₂ O ₃	62.81	4.20	2.30	20.50	0.07	0.47	0.30	3.76	0.73
AC1(K) Al ₂ O ₃	63.63	4.64	2.54	20.50	0.06	0.34	0.46	3.26	0.70
AC2(K) Al ₂ O ₃	58.23	4.25	2.35	20.50	0.01	0.33	0.16	4.42	0.82
Pérdidas o ganancias									
A	4.55	0.13	0.07	0.00	0.06	0.17	0.14	0.68	-0.09
AC11	5.37	0.57	0.31	0.00	0.05	0.04	0.30	0.18	-0.12
AC12	-0.03	0.18	0.12	0.00	0.00	0.03	0.00	1.34	0.00
C	-1.13	0.20	0.17	-	0.03	-	-0.02	0.39	-0.07
R	2.30	0.38	-0.08	-	0.02	-0.11	-0.02	-0.87	0.22

En cuanto a los óxidos libres, la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ indica que el proceso de alteración es moderado debido a que domina la fracción sílice (Tabla 6.49). Los valores se consideran muy elevados, por lo que ponen de manifiesto el escaso desarrollo de este suelo y sugieren una alteración relativa de algunos minerales primarios principalmente feldespatos de origen cálcico y sódico, generando materiales de origen alofánico. La secuencia de óxidos libres es $\text{Si} > \text{Fe} > \text{Al}$ debido a las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio y/o a depositaciones de materiales recientes poco alterados.

Tabla 6.49. Óxidos libres y relaciones molares del P-16 Moctezuma

Horizonte	Profundidad (cm)	Óxidos libres (%)			Relaciones molares	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
A ₁₁	0-40	1.30	0.25	0.79	8.82	4.37
A ₁₂	40-63	1.39	0.20	0.89	11.79	4.15
AC	63-90	1.37	0.16	1.17	14.53	3.11
C	>90	1.54	0.22	1.18	11.88	3.47

6.14.7. P-20 Tlalpexco. El impacto por intemperismo a que está sujeto este suelo no es intenso, debido a que en las cantidades de SiO₂ es muy elevado en comparación con Al₂O₃ lo que denota poca alteración de los materiales líticos.

El orden y la abundancia de los óxidos fue SiO₂>Al₂O₃>Fe₂O₃ aunque se reportan trazas de óxidos de Fe y un ligero incremento de Na₂O en el horizonte A atribuible a la alteración feldespatos sódicos y cálcicos, productos de los aportes recientes de materiales volcánicos (Tabla 6.50).

Considerando los datos texturales, se estima que el origen de los horizontes se debe a diversos materiales piroclásticos, que se depositaron durante diversos eventos volcánicos, por lo que no pueden darse pérdidas o ganancias significativas entre un estrato y otro, lo cual queda demostrado ya que tanto las pérdidas como las ganancias fueron mínimas (Acevedo *et al.*, 2003).

Tabla 6.50. Óxidos totales y pérdidas o ganancias por intemperismo del P-20 Tlalpexco

Horizonte	Óxidos totales (%)								
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
A (0-34)	57.51	3.64	1.89	19.78	0.15	0.30	0.02	3.85	0.67
Bt (34-60)	56.39	3.67	2.18	20.54	0.14	0.18	-	2.23	0.78
C (60-110)	59.92	3.85	1.94	20.55	0.14	0.08	-	1.00	1.07
2Cqm (>110)	58.83	3.54	2.06	20.92	0.12	0.19	0.02	1.89	0.87
A(K) Al ₂ O ₃	60.96	3.86	2.01	20.97	0.16	0.32	0.02	4.08	0.71
AC(K) Al ₂ O ₃	57.52	3.75	2.23	20.96	0.14	0.18	-	2.28	0.80
A2C(K) Al ₂ O ₃	61.12	3.93	1.97	20.96	0.14	0.08	-	1.02	1.09
Pérdidas o ganancias									
A	2.13	0.32	- 0.05	-	0.04	0.13	-	2.19	- 0.16
Bt	- 1.13	0.20	0.17	-	0.03	-	- 0.02	0.39	- 0.07
C	2.30	0.38	- 0.08	-	0.02	- 0.11	- 0.02	- 0.87	0.22

En cuanto a los óxidos libres, la relación SiO₂/Al₂O₃ de los horizontes superiores indica que el proceso de alteración no es muy intenso ya que domina la

fracción sílice (Tabla 6.51). Estos valores se consideran muy elevados, por lo que ponen de manifiesto el escaso desarrollo de este suelo. La secuencia de óxidos libres es Si>Fe>Al debido a las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio y/o a depositaciones de materiales recientes poco alterados.

Tabla 6.51. Óxidos libres y relaciones molares del P-20 Tlalpexco

Horizonte	Profundidad (cm)	Óxidos libres (%)			Relaciones molares	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
A	0-34	1.30	0.28	0.92	7.88	3.76
AC	34-60	1.56	0.44	1.04	6.02	3.99
C	60-110	1.50	0.24	1.07	10.61	3.73
R	>110	1.54	0.16	0.74	16.33	5.53

6.14.8. P-22 La Paloma. La cantidad de SiO₂ es muy elevada en comparación los Al₂O₃ en los horizontes superficiales, lo que muestra que la alteración de los materiales edáficos es incipiente. Por otra parte, el orden y abundancia de los óxidos fue SiO₂>Al₂O₃>Fe₂O₃ aunque se encontraron trazas de óxidos de Fe atribuible a la alteración minerales ferromagnesianos (Tabla 6.52).

Tabla 6.52. Óxidos totales y pérdidas o ganancias por intemperismo del P-22 La Paloma

Horizonte	Óxidos totales (%)								
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Ap (0-20)	59.13	3.56	1.96	19.91	0.12	0.35	0.00	3.15	0.78
AC (20-80)	56.15	3.56	1.96	19.02	0.14	0.36	0.02	3.37	0.78
R (>80)	56.21	3.82	2.10	19.19	0.13	0.45	0.10	4.77	0.84
A(K) Al ₂ O ₃	56.99	3.43	1.89	19.19	0.12	0.34	0.00	3.04	0.75
AC (K) Al ₂ O ₃	56.65	3.59	1.98	19.19	0.14	0.36	0.00	3.40	0.79
Pérdidas o ganancias									
Ap	0.78	-0.39	0.21	0.00	0.01	-0.11	-0.10	-1.73	-0.09
AC	0.44	-0.29	-0.12	0.00	0.01	-0.09	-0.08	-1.37	-0.05

La relación de óxidos libres entre SiO₂/Al₂O₃ indica que el proceso de alteración es incipiente ya que domina la fracción sílice (Tabla 6.53) de la cual sus valores son muy elevados, por lo que ponen de manifiesto un escaso desarrollo de este suelo y sugieren una alteración relativa de algunos minerales primarios como los feldspatos de origen cálcico y sódico, generando materiales de origen

alofánicos. La secuencia de óxidos libres es Si>Fe>Al debido a las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio y/o a depositaciones de materiales recientes poco alterados.

Tabla 6.53. Óxidos libres y relaciones molares del P-22 La Paloma

Horizonte	Profundidad (cm)	Óxidos libres (%)			Relaciones molares	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
A	0-20	1.54	0.16	0.15	15.31	25.59
AC	20-80	1.54	0.14	0.18	17.50	21.33
C	>80	1.52	0.15	0.24	16.21	15.78

6.15. GÉNESIS DE LOS SUELOS.

Los suelos de la Sierra de Guadalupe, como la mayoría de los suelos que se han formado sobre rocas eruptivas y bajo condiciones de clima estacional, son poco profundos, además de contener restos de las rocas originales (Figura 6.54). Lo anterior queda de manifiesto, si se considera, que la Sierra se originó durante diversos periodos geológicos de fines del Mioceno y principios del Plioceno en el Terciario y principios del Cuaternario, donde se formaron diversas estructuras con predominancia de brechas y lavas básicas oscuras, luego fluyeron lavas ácidas, las que a su vez fueron cubiertas por depósitos de cenizas, arenas y gravas al igual que materiales piroclásticos que se consolidaron al momento de su depósito formando tobas, como lo manifiestan los trabajos de Campa (1965); Mosser (1977 y 1999); Salinas, (1996); Acevedo y Flores (2000) y Vela y Flores (2004a).



Figura 6.54. Andesitas en la parte superior del cerro Zacatenco

La mayoría de las rocas, yacen sin orden alguno por lo que no existe la posibilidad de establecer contactos continuos entre las mismas a través de toda la Sierra. Esto debido al fenómeno que da origen a estas asociaciones, y que consistió en que los mismos conos volcánicos eyectaron lavas de composición básica, intermedia y ácida, más o menos contemporáneas.

En la Figura 6.55 el esquema ilustran los suelos de la Sierra de Guadalupe y se puede observar que las secuencias de desarrollo de los suelos pueden ser cinco: 1) A/2R; 2) A ó Ap/AC/R; 3) A/AC/R; 4) A ó Ap/Bt/C ó Cx/2Cqm y 5) A ó Ap/2Cqm. En la Sierra predominan las laderas por lo que son comunes los suelos de escasa profundidad y donde su secuencia de formación puede ser A/2R particularmente en los domos volcánicos como Los Gachupines, Tenayo y Zacatenco.

Mientras que en las áreas donde se encuentran entremezclados materiales piroclásticos, afloramientos rocosos de andesitas, basaltos y tobas. Estos suelos se encuentran en laderas donde la secuencia de desarrollo es generalmente un horizonte A o Ap si se dedica a la agricultura e inmediatamente una capa endurecida denominada Cqm, un ejemplo de este suelo es el P-4a Zacatenco. Muchos de estos terrenos son terrazas en laderas con pendientes de 15 al 20%

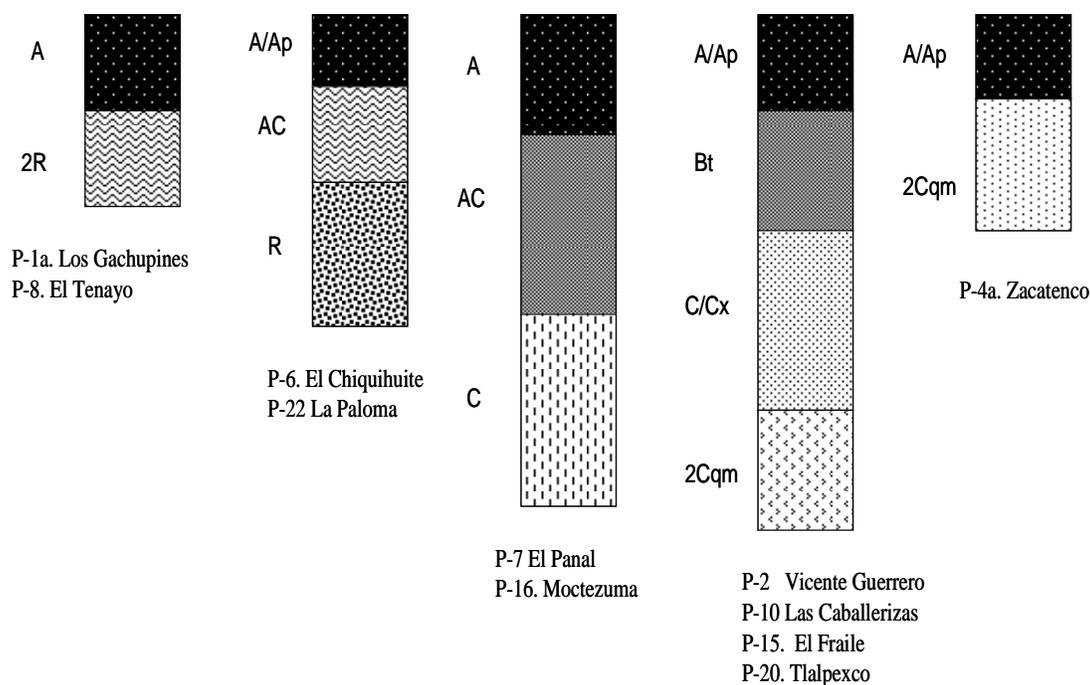


Figura 6.55. Secuencias de desarrollo de suelos en la Sierra de Guadalupe

Particularmente, se considera con base en el desarrollo que presentan los suelos, que los factores formadores que más influyen en su evolución son el clima, el relieve y el material parental.

$$S=f (Cl, R, MP, O, T)$$

Donde:

MP=Material Parental; Cl=Clima; R=Relieve; O=organismos; T=Tiempo

En la parte central de la Sierra de Guadalupe, se encuentran los suelos que pueden considerarse más desarrollados que son los que presentan horizontes Bt o en su caso son notorios ciertos procesos pedogenéticos como la formación e iluviación de arcillas en las áreas que son planas donde las pendientes son menores a un 5% y que corresponden a los suelos P-2 Vicente Guerrero, P-10 Las Caballerizas, P-15 El Fraile y P-20 Tlalpexco (Figura 656).

Es conveniente indicar que en algunos de estos suelos se practica la agricultura de temporal principalmente en el P-2, aunque está restringida esta actividad por tratarse del Parque Nacional El Tepeyac. Igualmente en el área de las caballerizas se encuentran diversas parcelas agrícolas para la siembra de maíz (*Zea miz*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y nopal (*Opuntia ficus indica*). Cabe hacer mención que en los sitios P-20 y P-15 se encuentran las principales áreas de reforestación con *Pinus radiata* D. Don., *Cupresus lindleyi* Klotzsch ex Ende. y *Pinus montezumae* Linn., de la zona sur de la Sierra de Guadalupe. Mientras que las reforestaciones con *Eucalyptus* spp., *Casuarina equisetifolia* y *Acacia farnesiana* Willd., se encuentran en los suelos donde su secuencia de desarrollo es A/R, es conveniente mencionar que en su mayoría la vegetación no presenta un buen desarrollo.

En algunas áreas pueden presentarse suelos con una secuencia A ó Ap/AC/R como en cerro El Chiquihuite o el paraje La Paloma, que anteriormente se dedicaban a la agricultura formando pequeñas terrazas, por lo que en los suelos a pesar de ser poco profundos, se puede distinguir perfectamente un horizonte de transición AC posiblemente por el laboreo a que han estado sujetos durante alguna época de su historia. En el caso de los suelos del cerro El Chiquihuite, estos ya no se cultivan, debido a que el acceso a este lugar está restringido al declarar a las instalaciones de tele-comunicaciones que se encuentran en lugar como área de seguridad nacional.

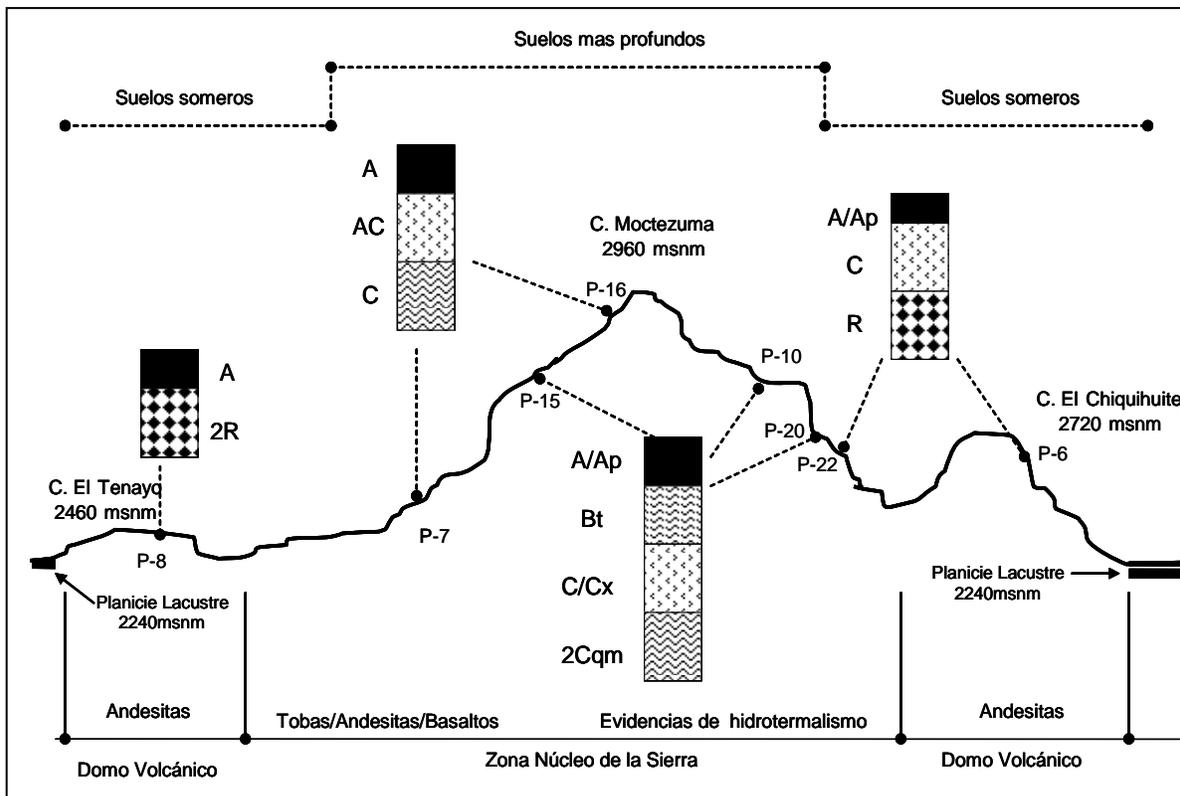


Figura 6.56. Distribución de los suelos en la Sierra de Guadalupe

En la zona del paraje conocido como la Paloma, aún es posible observar el desarrollo de prácticas agrícolas dedicadas principalmente para el cultivo de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y calabaza (*Cucurbita maxima*) (Figura 6.57). Estas son pequeñas parcelas en forma de terrazas que se siembran sin utilizar semilla certificada y el empleo de fertilizantes no es frecuente, por lo que los rendimientos se estiman en 600 a 800 kg de maíz ha⁻¹, la mayoría de estas parcelas se encuentran en la zona del Estado de México, cerca de la Colonia de San Andrés de la Cañada.

Por lo comentado anteriormente, pueden encontrarse suelos sobre materiales piroclásticos con características dúricas y frías, así como suelos sobre lecho rocoso formado por andesitas y basaltos como lo demuestran los trabajos de Acevedo y Flores (2000) y Vela y Flores (2004a y 2004b).

Los suelos presentan un esquema en el desarrollo de sus horizontes A/R y A/C aunque en algunos sitios pueden encontrarse horizontes Bt; tienden a ser someros a moderadamente profundos; de texturas finas; ligeramente alcalinos a neutros; el contenido de materia orgánica y su capacidad de intercambio catiónico es media al igual que su contenido de materia orgánica. Adicionalmente, pueden

ser pedregosos y la mayoría de ellos se encuentran en laderas donde las pendientes son mayores a un 20% con restos de las rocas originales, principalmente andesitas ricas en minerales de hierro y magnesio con abundantes feldespatos de la serie de calcio y sodio, que se intemperizan con rapidez produciendo una elevada cantidad de arcillas y hierro libre, por lo que estos suelos mantienen un elevado contenido de saturación de bases (FSP, 1997; Vela y Flores, 2004a).



Figura 6.57. Terrazas agrícolas en la zona de La Paloma

Los suelos presentan colores pardos debido al contenido de materia orgánica y hierro libre, así los suelos sobre rocas basáltico-andesíticas de color oscuro tendrán un mayor contenido de feldespatos cálcicos; sobre las lavas andesíticas ácidas con un alto contenido de feldespatos de potasio y magnesio, como son las andesitas de color rosa en las que los fenocristales blancos y rosas de las plagioclasas contrastan sobre la parte de color rojo por la presencia de óxidos de hierro (Lozano, 1968).

Los afloramientos rocosos, son frecuentes en toda el área de la sierra, siendo la pedregosidad resultado de la disgregación de las rocas debido a los agentes de alteración físico-naturales. Las rocas macizas y compactas presentan una disyunción en bloques más o menos grandes, luego en fragmentos y finalmente en partículas formadas por uno o varios cristales (Figura 6.58). Los fragmentos constituyen la pedregosidad superficial refiriéndose a la proporción relativa de

piedras de más de 25 cm de diámetro sobre el suelo, generalmente, esto se midió por el porcentaje que cubren en el suelo.

Tanto la rocosidad como la pedregosidad, así como el espesor (<40 cm de profundidad), la pendiente (15 a 45%), el relieve (desde ligeramente ondulado hasta escarpado) y la erosión constituyen las principales limitantes físicas para los terrenos con uso agrícola que se encuentran en el cerro Vicente Guerrero del Parque Nacional El Tepeyac, al igual que en el paraje La Paloma, El Chiquihuite y en algunas otras parcelas que se cultivan en el Suelo de Conservación, particularmente en la zona de Puerto Metate y Las Caballerizas en el Distrito Federal. Es conveniente indicar que la agricultura es una actividad que se encuentra condicionada o en algunas áreas, ya que está prohibido practicarla, pero que sin embargo se lleva a cabo en la Sierra, mientras que el uso de suelo forestal no presenta ninguna limitante.

Aunque los suelos manifiestan procesos de formación *in situ* prevalecen los de origen *aluvio-coluvial* debido a las fuertes pendientes y a los diferentes tipos de material parental que se encuentran en la Sierra. Lo anterior se manifiesta en los perfiles P-1a Los Gachupines, P-2 Vicente Guerrero, P-8 Tenayo y P-4a Zacatenco ya que estos suelos se consideraron como discontinuidades litológicas, dado que en su base se encuentra andesita y sobre ella está depositado el material coluvial que forma los horizontes superficiales. En el caso del P-4a Zacatenco, el horizonte A corresponde a material coluvial depositado sobre el horizonte 2Cqm de origen tobaceo producto de un evento volcánico diferente, situación similar se presenta con el P-2 Vicente Guerrero y P-10 Las Caballerizas.

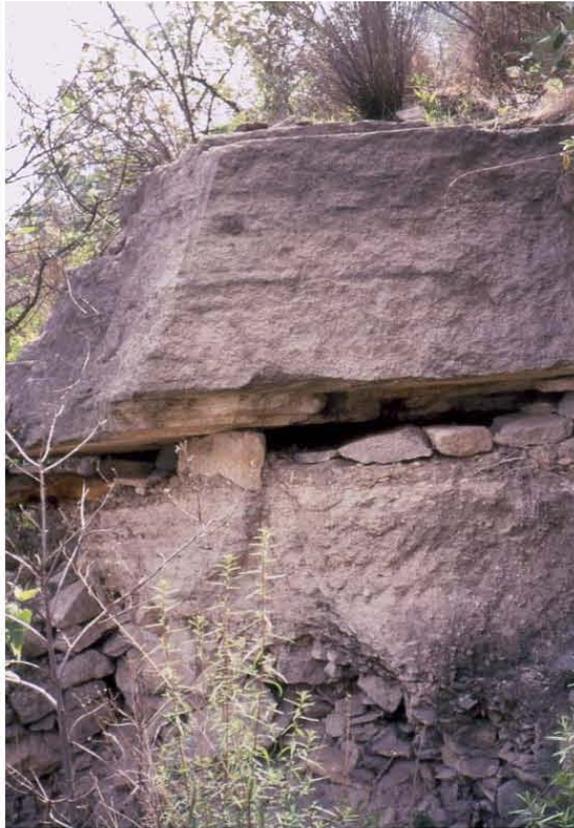


Figura 6.58. Andesitas en el Cerro El Chiquihuite

Por otra parte, en todos los suelos estudiados, la cantidad determinada de SiO_2 es muy elevada en comparación con la de Al_2O_3 , siendo la secuencia de acuerdo a su abundancia de óxidos libres $\text{SiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Al}_2\text{O}_3$, que corresponde a una etapa muy temprana de desarrollo, reflejándose en un bajo grado de alteración (Acevedo y Flores, 2000).

Además la escasa precipitación que se presenta en la zona, ha favorecido la acumulación de sílice y el que no haya indicios de iluviación en las capas inferiores de los perfiles, lo cual se demostró con las micrografías a los horizontes Cqm (Vela y Flores, 2004a), por lo que se supone son dominantes los procesos diagénicos más que los pedogénicos en estos suelos. En la fracción menor de 0.002 mm de diámetro al realizar el análisis por difracción de rayos X, se encontró que las esmectitas, haloisitas y caolinitas son los principales constituyentes de estos suelos (Vela y Flores, 2000). Predomina la haloisita, la cual se estima es un producto de la hidrólisis del vidrio volcánico y dadas las condiciones de humedad fluctuante se forman temporalmente compuestos amorfos como los alofanos pasando posteriormente a una fase de cristalización formando haloisita como producto más estable.

En los suelos, si las condiciones de drenaje son buenas a partir de la haloisita se puede formar caolinita que es la que se presenta en algunas áreas de la Sierra, y si el drenaje es deficiente la haloisita dará paso a la formación de montmorillonita de acuerdo a las condiciones del medio tal como lo describe Mora (1998) en la Figura 6.59. Particularmente en la Sierra, las esmectitas están restringidas a las zonas planas con drenaje moderado y las caolinitas se encuentran sobre todo en los suelos de la parte central de la Sierra.

En la Sierra hay evidencias de alteración hidrotermal por lo que es factible encontrar yacimientos de caolinita y la posibilidad de que existan yacimientos metálicos principalmente de sulfuros argentíferos (Lozano, 1965).

Se considera que los suelos son de formación *coluvial*, delgados, con texturas de medias a muy finas, que descansan sobre tobas de naturaleza andesítica y en menor grado sobre rocas de la misma naturaleza. Se localizan en áreas de topografía de accidentada a muy accidentada, aunque existen pequeñas superficies con suelos de espesor medio en donde la topografía es plana. En menor proporción existen suelos de formación *in situ* donde los procesos de formación residual son muy incipientes, predominando los de formación *coluvial* de espesor delgado y texturas de gruesas a finas, que descansan sobre material

aluvial o arena y que se ubican en áreas con laderas muy inclinadas (Vela y Flores, 2004a y 2004b).

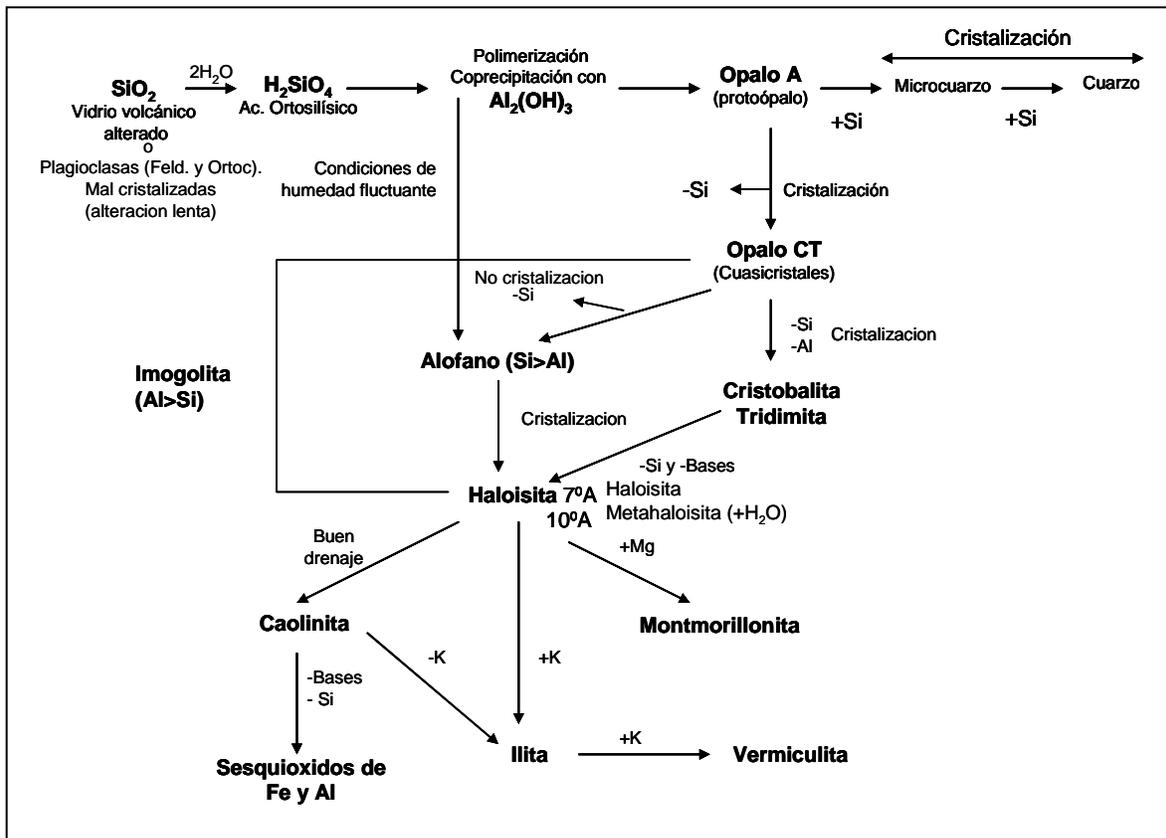


Figura. 6.59. Secuencia de formación de haloisita y montmorillonita

6.16. CLASIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN UNIDADES DE SUELOS.

Los suelos se clasificaron de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (1999) y considerando también las claves de clasificación de suelos de la Soil Taxonomy (1999). Las principales unidades de suelos de acuerdo a ambos sistemas de clasificación se presentan en la Tabla 6.54.

Tabla 6.54. Unidades de suelo de la Sierra de Guadalupe

Perfil	WRB (1999)	Soil Taxonomy (1999)
1a Los Gachupines	Leptosol léptico (LPle)	Lithic Ustorthents
2 Vicente Guerrero	Phaeozems lúvico (PHlv)	Lithic Haplumbrets
4a Zacatenco	Phaeozems háptico (PHha)	Lithic Ustipsamments
6 El Chiquihuite	Phaeozems háptico (PHha)	Lithic Ustorthents
7 El Panal	Phaeozems léptico (PHle)	Lithic Ustorthents.
8 El Tenayo	Leptosol léptico (LPle)	Lithic Ustorthents
10 Las Caballerizas	Leptosol háptico (LPha)	Typic Ustorthents
15 El Fraile	Phaeozems lúvico (PHlv)	Typic Haplumbrepts
16 Moctezuma	Phaeozems léptico (PHle)	Lithic Ustorthents
20 Tlalpexco	Leptosol háptico (LPha)	Typic Ustorthents
22 La Paloma	Phaeozems léptico (PHle)	Typic Ustorthents

El grupo de suelos que predomina, es el de los **Phaeozem lépticos** que se encuentran en las laderas y partes más altas de los cerros Zacatenco y Gachupines, donde ocupan 229.39 ha equivalentes al 80.58% de la zona en estudio (Figura 6.60). Particularmente en el cerro Los Gachupines, estos suelos se han reforestado con *Eucalyptus* spp, *Acacia farnesiana* Willd. y *Casuarina equisetifolia* L., no así en el cerro Zacatenco, donde son muy pedregosos y solamente se encuentran algunas gramíneas como *Cynodon dactylon* (L.), *Hordeum jubatum* y *Distichlis spicata* (Torr.) entre otras. Mientras que los **Phaeozem lúvicos**, ocupan 55.27 ha o sea el 19.42%, se localizan en las áreas con pendientes ligeramente onduladas, las cuales están sujetas a uso agrícola en el cerro Vicente Guerrero.

En el Parque Nacional El Tepeyac, los suelos se clasificaron de acuerdo con WRB (1999), el P-1a corresponde a un **Leptosol léptico**, el P-2 y P-4a se consideran como **Phaeozem lúvicos**. La unidad de suelos que predomina, son los **Leptosol eútrico (LPe)** que se encuentran en las laderas que conforman el parque y ocupan 157.80 ha equivalentes al 55.43% de la zona en estudio (Tabla

6.55). Estos suelos se ha reforestado con especies de *Eucalyptus* sp, *Acacia filiforme* y *Casuarina equisetifolia*.

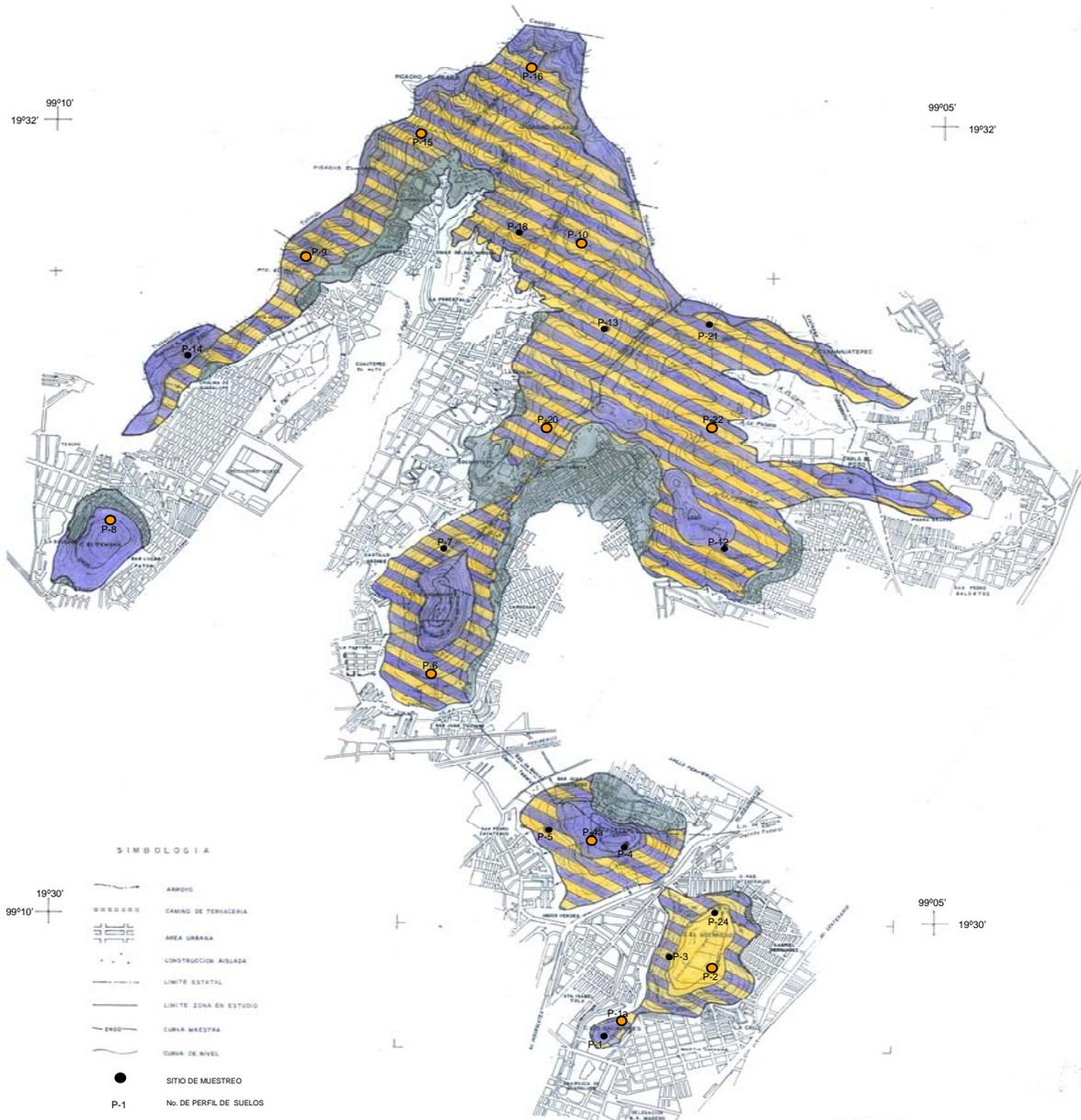
Los **Phaeozem lúvicos (PHlv)**, ocupan 55.27 ha o sea el 19.42%, se localizan en las áreas con pendientes ligeramente onduladas, las cuales están sujetas a uso agrícola en el cerro Vicente Guerrero. Los **Leptosoles lépticos (LPlé)**, se encuentran en la parte más alta de los cerros Zacatenco y Gachupines, cubren una superficie de 71.59 ha equivalentes al 25.15% del área del parque. Específicamente en el cerro Los Gachupines, la vegetación que soportan es básicamente *Eucalyptus* sp; no así en el cerro Zacatenco, donde son muy pedregosos y solamente se encuentran algunas gramíneas como *Cynodon dactylon* (L.), *Hordeum jubatum* y *Distchlis spicata* (Torr.) entre otras.

En el área considerada como Suelo de Conservación, ocupa una superficie de 1,031.60 ha de estas solamente en el cerro El Chiquihuite, a partir de la cota 2,660 msnm hasta su parte más elevada y en la zona conocida como Lucas Patoni y el Panal a partir de la cota 2,500 msnm se encuentran los **Leptosoles líticos (LPLi/2)** que son suelos con una profundidad menor de 10 cm a la roca, de textura media, cubriendo una superficie de 17.486 ha en el Chiquihuite y de 14.104 ha en los segundos. Básicamente en esta unidad de suelos se encuentran la mayoría de las construcciones e instalaciones de los medios de comunicación establecidos en el Chiquihuite.

A partir de la cota de los 2,660 y hasta llegar al muro de Conservación Ecológica aproximadamente a una altura de 2,400 msnm las unidades de suelos se encuentran asociadas entre **Phaeozem háplicos + Leptosoles lépticos**, las cuales abarcan una superficie de 1,771.90 ha. Resultado a su vez muy compleja su distribución espacial por estar intercalados dichos materiales, aunque predominan las asociaciones formadas por Leptosoles líticos+Phaeozems háplicos, mismas que se representan en la Figura 6.60 que corresponde al plano a escala 1:20,000 de Unidades de Suelos WRB.

Tabla 6.55. Superficie por unidad de Suelos

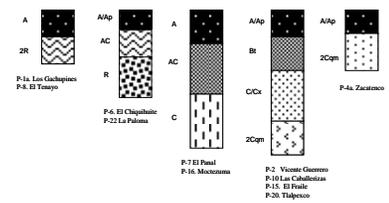
Unidad de Suelo	Superficie (ha)	%
Leptosoles	366.50	13.43
Phaeozem	224.14	8.21
Phaeozem + Leptosoles	1,771.90	64.90
Suelo Urbanizado	367.48	13.46
T O T A L	2,730.02	100.00



C L A V E

PERFIL	HOMBRE
P-1	LOS GACHUPINES
P-1a	LOS GACHUPINES
P-2	VICENTE GUERRERO
P-3	LA BARRA
P-4	LA TORRE
P-6	ZAGATENCO
P-5	EL CENTRO
P-6	EL CHIGUIHUITE
P-7	LAS ANTENAS
P-8	EL TENAYO
P-9	EL PANAL
P-10	LAS CABALLERIZAS
P-12	ARENILLAS
P-13	IGLESIA VIEJA
P-15	EL FRAILE
P-16	MOCTEZUMA
P-18	LA MORCA
P-20	TLALPATECO
P-21	TLALAYOTES
P-22	LA PALOMA
P-24	EL GUERRERO

Secuencia de Desarrollo de los Suelos



Unidades de Suelo de la Sierra de Guadalupe

Unidad de Suelo	Superficie (ha)	%
LEPTOSOLES	366.50	13.43
PHAEOZEM	224.14	8.21
PHAEOZEM HAPLICOS + LEPTOSOLES LEPTICOS	1,771.90	64.90
SUELO URBANO	367.48	13.46
T O T A L	2,730.02	100.00

PHAEOZEMS.
 Son suelos que tienen un horizonte mólico: una saturación de bases del 50% o más y una matriz del suelo libre de carbonato de calcio por lo menos hasta una profundidad de 100 cm; desde la superficie del suelo, o hasta una capa contrastante (contacto lítico o paralítico) entre 25 y 100 cm y no tienen otros horizontes de diagnóstico que no sea un horizonte álbico, árgico, cámbico o vértico, o un horizonte petrocálcico en el sustrato.

Háplico. Que tiene una expresión típica de ciertos rasgos típica en el sentido de que no hay caracterización ulterior o significativa.
 Vértico. Que tiene un horizonte vértico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.
 Lóvico. Que tiene un horizonte árgico con una CIC mayor de 24 cmol kg⁻¹ y PSB > de 50%.

LEPTOSOLES.
 Son suelos que están limitados en profundidad por roca dura continua dentro de los 25 cm desde la superficie del suelo. Están suprayaciendo a un material con más del 40% de carbonato de calcio y no tienen otros horizontes de diagnóstico que no sea un horizonte mólico, ócrico, úmbrico, yémico o vértico.
 Léptico. Que tiene roca dura continua entre 25 y 100 cm desde la superficie del suelo.
 Lítico. Que presenta roca dura continua dentro de los 10 cm desde la superficie del suelo.

SIMBOLOGIA

- 19°30' 99°10'
- ARROYO
- CAMINO DE TERRAJERA
- AREA URBANA
- CONSTRUCCION AISLADA
- LIMITE ESTATAL
- LIMITE ZONA EN ESTUDIO
- CURVA MAESTRA
- CURVA DE NIVEL
- SITO DE MUESTREO
- No. DE PERFIL DE SUELOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE CIENCIAS – INSTITUTO DE GEOLOGÍA
 Doctorado en Ciencias (Biología)

Estudio Edafológico de la Sierra de Guadalupe,
 Distrito Federal – Estado de México

Unidades de Suelos WRB

Escala: 1:20,000
 Agosto de 2005

Elaboró: M.C. Gilberto Vela Correa
 Revisó: Dr. David Flores Román

Capítulo 7

CONCLUSIONES

- Los suelos de la Sierra de Guadalupe, se formaron a partir de diversos materiales volcánicos como andesitas y basaltos ó suelos sobre materiales de piroclásticos que se estratificaron y consolidaron al momento de su depósito, originando tobas de origen dacítico y andesítico. Por lo que sus horizontes no presentan una secuencia de alteración con respecto al material parental, y por lo mismo se consideran discontinuidades litológicas.
- Las capas endurecidas, se encuentran en los suelos de laderas con pendientes mayores al 10%, por lo que son poco profundos, pedregosos y con horizontes superficiales, ligeramente ácidos, ricos en materia orgánica, con una elevada CIC y una saturación de bases mayor al 50%. En estos suelos se presenta un proceso de iluviación y eluviación dada la estacionalidad y la escasa precipitación, por lo que el complejo de saturación esta ocupado por Ca^{2+} y Mg^{2+} , especialmente en los horizontes superficiales.
- Específicamente el material endurecido del P-10 Las Caballerizas se consideró como un fragipán (2Cx) ya que, a pesar de su dureza en seco y resistencia a la compresión inconfiada, se colapsó al contacto con el agua y el KOH caliente, además de confirmar la presencia de arcillas de tipo esmectítico. Este tipo de materiales son comunes en la parte central de la Sierra, donde además existen evidencias de arcillas caoliniticas que se formaron durante condiciones hidrotermales.
- Las capas endurecidas de los Perfiles 4a Zacatenco, P-20 Tlalpexco, P-7 El Panal y P-16 Moctezuma se consideraron como materiales tobáceos, poco alterados y la sílice presente, lo que dada la resistencia a la compresión inconfiada que presentaron los horizontes 2Cqm del P-4a y P-20, se estima que se encuentran cantidades importantes de arcillas, que le confieren una

mayor resistencia al fracturamiento y una mayor dureza, por lo que se caracterizaron como tobas poco alteradas. Además de los altos contenidos de SiO₂ y a la carencia de rasgos pedológicos, infiriéndose se trata de materiales piroclásticos que se estratificaron y consolidaron al momento de su depósito.

- La mineralogía de la fracción menor de 0.002 mm de diámetro, está dominada por haloisitas, esmectitas y caolinitas. La arcilla que se considera común en estos suelos es la haloisita y su origen se atribuye a la alteración de los feldespatos y vidrios volcánicos, encontrándose en la mayoría de los suelos de laderas. En los suelos donde se presentan esmectitas de tipo montmorillonítico, estas son atribuidas a la alteración de minerales primarios y a la transformación de haloisita a montmorillonita, donde las condiciones limitadas de drenaje favorecen su formación, por lo que estas últimas se presentan en las áreas con pendientes menores al 5%.
- Los suelos del Parque Nacional El Tepeyac y de los cerros El Tenayo y el Chiquihuite, se formaron a partir del intemperismo de rocas eruptivas como la andesita y de diversos materiales piroclásticos que se consolidaron al momento de su depósito, por lo que los suelos son someros y se caracterizan por presentar un desarrollo de horizontes A/R y A/2Cqm que están fuertemente influenciados por las condiciones climáticas, el material parental y el relieve del terreno, propiciando la formación de suelos *coluviales* en las laderas de los cerros, ya que no existen indicios de un horizonte de acumulación y/o eluviación de materiales.
- Los suelos que muestran una secuencia de horizontes A/Bt/C, se originaron por la alteración de tobas de origen dacítico y andesítico que favorecieron los procesos iluviación de materiales arcillosos en las partes planas, particularmente en las parcelas agrícolas que aún existen en la zona de estudio, tal es el caso del P-20 Tlalpexco, P-15 El Fraile y P-2 Vicente Guerrero.

Capítulo 8.

ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DE SUELOS

- Este estudio aporta datos actuales de los procesos y propiedades morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de los suelos, por lo que a partir de los resultados generados se deben considerar las posibilidades de reforestación y conservación de los diferentes suelos que se encuentran en la Sierra de Guadalupe.
- Las áreas con factibilidad de reforestarse son aquellas que presentan los suelos Phaeozem lúvicos y secundariamente los Phaeozem lépticos. Los primeros se encuentran en las zonas planas que se caracterizan por la presencia de arcillas de tipo esmectítico con gran cantidad de materia orgánica, poca o nula pedregocidad y un mayor espesor de los suelos. Lamentablemente la mayoría de estos terrenos se encuentran reforestados con *Eucalyptus sp.* y *Casuarina equisetifolia*, las cuales no presentan un desarrollo óptimo, limitan el crecimiento de otras especies y que además no son utilizadas como alimento por la fauna local, por lo que se sugiere una sustitución gradual de estas especies por *Quercus sp.*, *Acacia farnesiana* y *Pinus montezumae* entre otras que son consideradas como nativas de la Sierra.
- Se recomienda que para seleccionar las especies más indicadas en la reforestación, se establezcan jardines de observación experimental, donde se prueben las especies vegetales con más posibilidades de desarrollarse bajo las condiciones edafoclimáticas que se presentan en la Sierra, ya que se ha visto que especies arbóreas como *Eucalyptus sp.*, *Casuarina sp.*, gramíneas como *Vetiveria zizanoides* o cactáceas como *Opuntia ficus indica* no han prosperado en la zona.

- Los suelos de la Sierra de Guadalupe, son propios para realizar prácticas forestales ya que para fines agrícolas presentan limitaciones físicas como el espesor, pendiente y pedregosidad.
- La Sierra requiere controlar su crecimiento poblacional de manera urgente y drástica ya que la gran mayoría de estas zonas son realmente inestables, por lo que está considerada como una de alto riesgo debido a que el material parental se encuentra muy fracturado, lo que favorece los deslizamientos de rocas y suelos. Además en la solución de los problemas, es indispensable que participen los propietarios de la tierra, los cuales deben recibir todo el apoyo necesario a fin de encontrar y establecer estrategias y proyectos sustentables. Ello permitiría disuadirlos de vender la tierra a fraccionadores que se benefician con el crecimiento de la mancha de asfalto.
- Los suelos se clasificaron de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo como Leptosoles lépticos, Leptosoles haplicos, Phaeozem lúvicos y Phaeozem sépticos. En general en la Sierra se presenta la asociación Phaeozem haplicos+Leptosoles sépticos que cubren el 64.90% de la superficie total en estudio.

- En el límite de los asentamientos humanos no utilizar especies que sean aptas para la obtención de leña. Asimismo, restringir en dichas áreas los pastizales con la finalidad de disminuir el pastoreo, restringir el uso de los suelos a las actividades agrícolas y controlar el acceso a la Sierra, a fin de evitar en lo posible los daños por incendios y vandalismo.
- Conservar las áreas con afloramientos rocosos donde generalmente se establecen gran variedad de cactáceas y agavaceas como *Mammillaria erectacantha*, *M. aureiceps*, *M. elegans*, *Opuntia* sp. , *Agave* sp. y *Yuca filifera* entre otras a fin de evitar en lo posible el saqueo de estas especies y por lo tanto su desaparición en la Sierra.

Capítulo 9

LITERATURA CITADA

- Acevedo-Sandoval, O. A. 1997. Arcillas alofánicas e imogolita. *In*. Apuntes del Curso de Cristalografía de Suelos. Sociedad Mexicana de Cristalografía (Ed) Adolfo Cordero Bordo. pp: 79-102.
- Acevedo-Sandoval, O. A. and Flores-Román, D. 2000. Genesis of white fragipans of volcanic origin. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* (17)2: 152-162
- Acevedo-Sandoval, O. A. Ortiz-Hernández, L. E., Flores-Román, D., Velázquez-Rodríguez, A. S. y Flores-Castro, K. 2003. Caracterización física y química de horizontes endurecidos (Tepetates) en suelos de origen volcánico del Estado de México. *Revista Agrociencia* (37): 435-449.
- Acevedo-Sandoval, O. Ortiz-Hernández, E. Cruz-Sánchez, M y Cruz-Chávez, E. 2004. El papel de los óxidos de hierro en los suelos. *TERRA Latinoamericana* 22: 485-497.
- Aguilera, H. N. 1969. Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soil in Mexico. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Centro de Enseñanza e Investigación. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica, A. 6. 3-12.
- Aguilera, H. N. 1989. Tratado de edafología de México. Tomo I. Ed. Facultad de Ciencias, UNAM. México 222 p.
- Alexandrovskiy, L. 2000. Holocene development of soils in response to environmental changes: the Novosvobodnaya archaeological site, North Caucasus. *CATENA* (41)1-3: 237-248
- Amiotti, N. M., P. Zalba, L. F. Sánchez y N. Peinemann. 2000. The impact of single trees on properties of loess-derived grassland soils in Argentina. *Ecology* 81 (12): 3283-3290.
- Besoain, M. E. Peralta, P. M. y Massaro, M. S. 2000. Mineralogía y génesis de algunos suelos de cenizas volcánicas de Chiloé Continental, Chile. *Agricultura Técnica*. Vol. 60, No. 2, Abril-Junio pp: 127-153.
- BID-BANOBRAS. 1992. Contrato de Préstamo (Proyecto de Conservación Ecológica en el Área Metropolitana de la Ciudad de México). Préstamo no. 685/OC-ME; Resolución DE-74/92. (*Documento interno proyecto BID-CORENA*). México.
- Bridges, E. M. and Van Baren, J. H. V. 1997. Soil: an overlooked, undervalued and vital part of the human environment. *The Environmentalist* (17): 15-20
- Birkeland, W.P. 1997. Soil and Geomorphology. Ed. Oxford University Press 3rd ed. New York, USA. 430 p.
- Bockheim, J.G., Gennadiyev, A. N., Hammer, R. D. y Tandarich, J. P., 2005. Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma* 124: 23-36

- Bopp, O. M., 1955. Contribución al estudio de la flora fanerogámica de los cerros situados al norte de la Ciudad de México: Sierra de Guadalupe, Cerros Chiquihuite, Ticomán y Zacatenco. Tesis Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México 65 p.
- Brady, C. N. 1984. The nature and properties of soils. MacMillan Publishing Company. New York. pp. 2-20.
- Buckman, O. H. y N. C. Brady. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simon, S.A. Barcelona, España. 590 p.
- Buol S.W., Hole F.D., Mc Cracken, R.J. 1981. Génesis y clasificación de suelos. Ed. Trillas. México. 417 p.
- Campa, U. M. F. 1965. Breve análisis petrográfico de la Sierra de Guadalupe. Tesis Ing. Geólogo. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA), IPN. México. 62 p.
- Campos, A. D. y D. Dubroeuq. 1990. Formación de tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. TERRA Vol. 8. No. 2: 137-141.
- Cottinie, A. 1980. Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de suelos de la FAO 38/2. FAO, Roma, Italia.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. In C.A., Black, D.D. Evans, J.L. White, I.e. Ensminger, and F.E. Clark (eds). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. 1st ed. Agron. 9: 545-567.
- DDF. Departamento del Distrito Federal., 1996. Programa general de desarrollo urbano del Distrito Federal. Ed. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, D.D.F. México.
- DDF. Departamento del Distrito Federal., 1988. Programa de reordenación urbana y protección ecológica del Distrito Federal. Ed. D.D.F. México.
- DDF. Departamento del Distrito Federal. 1990. Declaratoria por la que se declara de utilidad pública y se establece como zona prioritaria de preservación y conservación del equilibrio ecológico y se declara como área natural protegida, bajo la categoría de manejo de zona sujeta a conservación ecológica, la superficie que se indica, conformada por seis polígonos que corresponden cada uno a los ejidos de Cuauhtepac, San Pedro Zacatenco, San Lucas Patoni, San Miguel Chalma, Santa María Ticomán y Santa Isabel Tola. Ed. Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal. Tomo II. No. 54. Sexta época. México. pp: 1-105.
- De las Salas, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales: con énfasis en América tropical. Ed. IICA. San José de Costa Rica. 387 p.
- Díaz, P. C. 1976. Manual de gramíneas. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana–Xochimilco. México. 345 p.
- Duchaufour, Ph. 1984. Edafología: 1. Edafogénesis y clasificación. Ed. Masson. Barcelona, España. 493 p.
- Duncan, M. M. y Franzmeier, D. P. 1999. Role of free silicon, aluminum, and iron in fragipan formation. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:923-929.

- Elsass, F., Dubroeuq, D. and Thiry, M., 2000. Diagenesis of silica minerals from clay minerals in volcanic soils of Mexico. *Clay Minerals* (35) 477-489.
- Enciclopedia de México. 1985. Imagen de la gran capital. Ed. Impresora Foramal, S.A. de C.V. pp: 239-246.
- Etchevers, B. J. D., López, R. R. M., Zebrowsky, C. y Peña, H. D. 1992. Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y Tlaxcala, México. En: *TERRA* Vol. 10 Núm. Especial: Suelos Volcánicos Endurecidos. México. pp: 171-177.
- Etchevers, J. D. 1998. Indicadores de la calidad del suelo. Trabajo presentado en la Reunión de Conservación y Restauración de Suelos, Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM., México 22 p.
- Fanning, S. D and Fanning, B. M, C. 1989. *Soil: Morphology, Genesis and Classification*. Ed. Wiley. USA. 395 p.
- FAO-UNESCO-ISRIC. 1994. *Soil map of world*. Ed. Rome Food and Agriculture Organization-United Nations Educational Scientific and Cultural Organization-Internacional Soil Reference and Information Centre. Wageningen. 140 p.
- FAO, ISRIC y SICS Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., 1999. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 84. Ed. Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo (SICS), Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos (ISRIC) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 94 p.
- Fassbender, W. H. y Bornemisza, E. 1994. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Ed. IICA. San José de Costa Rica. 420 p.
- FitzPatrick, E. A. 1993. *Suelos: su formación, clasificación y distribución*. Ed. CECSA. México 430 p.
- Flores-Román, D. Aguilera-Herrera, N. y Flores-Delgadillo, Lourdes. 1981. Estudio edafológico de los municipios de Cuautitlán, Estado de México. *Revista de Ciencias Geológicas* (5)1: 80-93.
- Flores-Román, D., González-Velazquez, A. Alcalá-Martínez, J. R. y Gama-Castro. J. E. 1991. Los Tepetates. *Revista de Geografía*. Vol. III. No. 4. 37-42.
- Flores-Román, D., Alcalá-Martínez, J. R. González-Velazquez, A. y Gama-Castro. J. E. 1992. Suelos con fragipán de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo: El caso del noreste del Estado de Morelos, México. *Revista Instituto de Geología* (10)2: 151-163.
- Flores-Román, D., Alcalá-Martínez, J. R. González-Velazquez, A. y Gama-Castro. J. E. 1996. Duripans in subtropical and temperate subhumid climate of the Trans-Mexico Volcanic Belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 13(2): 228-239.

- Fraustro, M. O. 1999. Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de Cuauhtepc: región sur de la Sierra de Guadalupe en el Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín* 38 pp:15-29.
- FySPSA. Fotogrametría y Fotointerpretación, S.A. 1997. Plan de Manejo del Parque Estatal Sierra de Guadalupe. México. 375 p.
- Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal. 1990. Declaratoria por la que se declara de utilidad pública y se establece como zona prioritaria de preservación y conservación del equilibrio ecológico y se declara como área natural protegida, bajo la categoría de manejo de zona sujeta a conservación ecológica, la superficie que se indica, conformada por seis polígonos que corresponden cada uno a los ejidos de Cuauhtepc, San Pedro Zacatenco, San Lucas Patoni, San Miguel Chalma, Santa María Ticomán y Santa Isabel Tola. Ed. D.D.F. Tomo II. No. 54. Sexta época. México. pp: 1-105.
- Gama-Castro. J. E., Carreón-Freyre, D. C., Palacios-Mayorga, S. y Solleiro-Rebolledo, E.1998. Génesis, identificación y uso de los suelos de México: Distribución, propiedades, clasificación y Manejo de suelos residuales y transportados con aplicaciones a la ingeniería civil. Ed. Instituto Mexicano del Transporte y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Documento Técnico No. 19. Sanfandila, Queretaro., México 222 p.
- García, E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Editado por la autora. México, 217 p.
- García, C. N. E., Pinilla, A., Aleixandre, T y Aguilera, H. N. 1986. Relación entre la fertilidad natural y la mineralogía de algunos suelos sobre materiales volcánicos. *Anales de Edafología y Agrobiología*. Tomo XLV. Núm. 11-12., Madrid, España, pp: 567-578.
- Gobierno del Estado de México. 2001. Proyecto de Conservación Ecológica de la Zona Metropolitana del Valle de México: Cinco Parques Estatales del Estado de México. Ed. Gobierno del Estado de México, Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S. N. C. Toluca, Estado de México pp: 57-94.
- González, A. y Sánchez, L. V. 1961. Los parques nacionales de México/situación actual y problemas. Ed. Instituto de Recursos Naturales Renovables, A. C. México.
- Hardy F. 1970. Suelos Tropicales: pedología tropical con énfasis en América. Ed. Herrero Hermanos, Sucesores, S.A. México 334 p.
- Hernández Y. E. 1957. Estudio geográfico de la delegación Gustavo A. Madero. Tesis Escuela Normal Superior. México. 57 p.
- Head, K. H., 1984. Manual of soil laboratory testing: Tome 1. Soil classification and compactacion tests: Londres, Plymouth Pentech, Press. 267 p.

- Hidalgo M. C., P. Quantin y F. Lesas. 1997. Caracterización mineralógica de los tepetates de tipo fragipán del Valle de México. Memorias del III Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador. pp: 65-72.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1995. Gustavo A. Madero, Distrito Federal. Cuaderno Estadístico Delegacional. Ed. INEGI. México 116 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1982. Carta edafológica: Ciudad de México. Escala 1:50,000 Clave E-14: A-39. México
- ISA. Ingeniería y Servicios Agronómicos, S. A. 1999. Programa de manejo del área natural protegida bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica de la Sierra de Guadalupe, Delegación Gustavo A. Madero, Distrito Federal, México. 55p.
- Jackson, L. M. 1976. Análisis químicos de suelos. Ed. Omega. 3ra. Edición., Barcelona, España. 662 p.
- Jahn, R. and Stahr, K. 1996. Development of soils and site qualities on basic volcanoclastics with special reference to the semiarid environment of Lanzarote, Canary Islands, Spain. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Volumen 13. Núm. 1. pp: 104-112.
- JCPDS. Joint Committee on Powder Diffraction Standards. 1986a. Mineral powder diffraction search manual: Swarthmore, PA, International Centre for Diffraction Data. 467p.
- JCPDS. Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1986b. Mineral powder diffraction search manual: Swarthmore, PA, International Centre for Diffraction Data. 1,390 p.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. New York. McGraw-Hill. 281 p.
- Jones, B. J. and B. Wolf. 1984. Manual soil testing procedure using modified (Wolf) Morgan Extracting reagent. Benton laboratories Inc. Athens Georgia, USA.
- Krauskopf, K. B. 1979. Introduction to geochemistry: Ed. McGraw-Hill. Kogakusha., Tokio, Japan 617 p.
- Kendrick, J. K. y McFadden, L. D. 1996. Comparison and contrast of processes of soil formation in the San Timoteo badlands with chronosequences in California. Quaternary Research (46) 149-160
- Lanfranco, J. W., Marlats, R. M. y Baridos, J. E. 1996. Definición de la calidad de sitio forestal para *Populus sp.* *Salix sp.* *Eucalyptus camandulensis* en rendoles e hidrácuentes. Aplicación de índices edáficos. p:263-264. XIX Congreso de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa Argentina, 19 al 24 de mayo. La Pampa Argentina.
- León, A. R. 1992. Nueva Edafología: Regiones tropicales y áreas templadas de México. Ed. Distribuciones Fontamara, S.A. No. 107 2da. Edición. México. pp. 29-51.
- Lorenzoni, P., Quantin, P. and Spadoni, M. 1997. Dissolution kinetics of silicon and aluminium in a Mollic fragiudalf of Central Italy, derived from a volcanoclastic

- sediment. Memorias del Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador. pp: 121-127
- Lozano B. L. 1968. Geología de la Sierra de Guadalupe. Tesis Ing. Geólogo. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA), IPN. México. 43 p
- Lugo-Hubp, J. y Salinas-Montes, A. 1996. Geomorfología de la Sierra de Guadalupe (al norte de la Ciudad de México) y su relación con peligros naturales. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas (13)2: 240-251.
- Matteuchi, S. P. y Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Capítulo. 4. Serie Biol. Monogr. 22 Washington. D. C.
- Méndez, D. L. C. F., Camarillo, R. J. L., Villagrán, S. C. M., y Aguilar, C. R. 1992. Observaciones sobre el *status* de los anfibios y reptiles de la Sierra de Guadalupe (Distrito Federal–Estado de México). Anales Instituto de Biología. UNAM, Ser. Zool. 63(2): 249-256.
- Merha, O. P. and M. L, Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrato system buffered sodium bicarbonate in proceedings. 7th National Conf. on Clays Min., National Academy of Science, Natural Research Council Publication pp: 317-327.
- Mora, P. L. N., 1998. Morfogénesis de suelos con horizontes endurecidos en un área del altiplano de Nariño, Colombia. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. México, 140p.
- Mosser, F. 1977. Historia geológica de la Cuenca de México. En Memorias de las Obras del Drenaje Profundo del Distrito Federal. Ed. D.D.F. Tomo I. México pp:7-38.
- Mosser, F. 1990. Estratigrafía y estructuras del Valle de México. En: El subsuelo de la Cuenca de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo. E. Ovando Shelley y F. González Valencia (ed), Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos pp: 29-36
- Munsell. 1994. Soil color charts. Ed. Munsell® Color Company Inc. New Winsor, NY, U.S.A. 46p.
- Navarro, B. S. y Navarro, G. G., 2000. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 488p.
- Ordóñez, E. 1985. Las rocas eruptivas del suroeste de la Cuenca de México: Instituto Geológico de México, Boletín Núm. 2. 46 p.
- Ortiz-Solorio, C. y Cuanalo de la Cerda, H. 1981. Introducción a los levantamientos de suelos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 80p.
- Ortiz-Villanueva, B. y Ortiz-Solorio, C. A. 1987. Edafología Ed. UACH. México. pp: 1-369
- Ortiz, I., Martín, F., Dorronsoro, C. y Simón, M. 2000. Análisis de una cronosecuencia de suelos. Edafología. Vol. 7-3. Sep. pp: 169-175.
- Padilla, De León, G. E. 1992. Monografía Municipal Tlalnepantla. Ed. Gobierno del Estado de México. 15p.

- Pandey, C. A., Singh, K. A and Sharma, D. K. 2000. Soil properties under *Acacia nilotica* trees in a traditional agroforestry system in central India. *Agroforestry Systems* (49): 53-61.
- Peña, H. D. y Zebrowsky, C. 1992. Caracterización física y mineralógica de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. *TERRA 10* (Número especial) Suelos Volcánicos Endurecidos pp: 20-26.
- Peña, H. D., Miranda, M. M. E., Zebrowsky, C. y Arias, R. M. H. 1992. Resistencia de tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. *TERRA 10* (Número especial) Suelos Volcánicos Endurecidos pp: 164-170.
- Pimentel, B. L. 1992. Como hacer productivos los tepetates en México. In: Suelos Volcánicos Endurecidos. *Terra 10* (Número Especial): pp: 293-301.
- Primavesi, A. 1982. Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. Ed. Ateneo, Buenos Aires. pp: 183-227.
- Porta, J., López, A. M y Roquero de Laburn, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 471-502.
- Powers, M. C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles: *Journal of Sedimentary Petrology* 28: 328-334.
- Quantin, P. 1992. L'induration des matériaux volcaniques pyroclastiques en Amerique Latine: Processus géologiques et pédologiques. En: *TERRA Vol. 10* (Número especial) Suelos Volcánicos Endurecidos. México .pp: 24-33
- Quantin, P., A. Arias, J. Etchevers, R. Ferrera, C. Oleschko, A. Navarro, G Werner y C. Zebrowsky. 1993. Tepetates de México: Caracterización y habilitación para la agricultura (Informe científico final del proyecto TS2-A212-CCEE/ORSTON). *Terra 11* (Número Especial).
- Reyes, C. P. y Halffter, G. 1976. Fauna de la Cuenca del Valle de México. Memorias de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal. Secretaría de Obras y Servicios del Departamento del Distrito Federal. Vol. 1. pp: 135-180.
- Rodríguez-Tapia. S., Gutiérrez-Castorena, M. C. Hidalgo-Moreno, C. y Ortiz-Solorio, C. A. 1999. Intemperismo en tepetates y en cenizas volcánicas y su influencia en la formación de andisoles. *TERRA 17*(2): 97-108
- Rondón De Rodríguez, C. y G. Elizalde-Albes. 1994. Procesos pedogenéticos en un modelo de sistema suelo, formado por nueve subsistemas. *Venezuelas* 2(1): 32-36.
- Rzedowski, J. y G. C de Rzedowski. 1979. Flora fanerogámica del Valle de México. Ed. LIMUSA, México, D. F.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1987. Curso de Clasificación Taxonómica de Suelos por el Sistema FAO-UNESCO. Ed. SARH. México, 47 p.
- Schoeneberger, P. J., Wysocky, D. A., Benham, E. C. Broderson, W. D. (Eds), 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. Versión 1.1 Ed. Centro Nacional de Relevamiento de Suelos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Departamento de Agricultura de los E. U. A., Lincoln, Nebraska.

- Sedov, S. N., E. Solleiro-Rebolledo and J. E. Gama-Castro. 2003. Andosol to Luvisol evolution in Central Mexico: timing, mechanisms and environmental setting. *CATENA* (54)3: 495-513.
- SIGSA. Sistemas de Información Geográfica, S.A. 1986. Cartas Urbanas (Politécnico, Azcapotzalco, Ticomán y Villa de las Flores). Escala 1:20,000. México, D.F.
- Simón, M., Sánchez, S. and García, I. 2000. Soil-landscape evolution on a Mediterranean high mountain. *Catena* (39) 211-231.
- Singer, A., M. Zarei, F. M. Lange and K. Stahr. 2004. Halloysite characteristics and formation in the northern Golan Heights. *Geoderma* 123: 279-295.
- SQI. 1998. Soil Quality Institute. (<http://www.Statlab.iastate.edu/survey/SQI>). Consultado 6 de octubre 1998.
- Soil Survey Staff. 1984. Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey. USDA-SCS Soil Surv. Invest. Rep. No. 1. U.S. Govt. Print. Office, Washington, D. C.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Second Edition. No. 436. Agriculture handbook. Ed. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service., Washington, USA. 879 p.
- Shoji S, Nanzyo M and Dahlgren R.A. 1993. Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization. *Developments in Soil Science* 21. Ed. Elsevier, Netherlands. 263p.
- Tavera y S. G. G. 1985. Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación La Laguna Coahuila, México.
- Torn, M. S., Trumbore, S. E., Chadwick, O. A., Vitousek, P. M., Hendricks, D. M., 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature* 389, 170-173.
- Urbano, T. P., Cornejo, J. y Cerda, C. A. 1998. Fertilidad y ciclos de nutrientes en el suelo en: *Agricultura Sostenible*. Ed. Mundi-Prensa, España. pp. 45-120.
- Urrego, B. 1997. La reforestación con coníferas y sus efectos sobre la acidificación, podsolización y pérdida de fertilidad de los suelos. *Informaciones Agronómicas* 28: 6-12. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador.
- Vargas M. G., 1982. Los parques nacionales y otras reservas en México. Tesis Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.
- Vázquez, A. A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Ed. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México. 31p.
- Vela-Correa, G. y Flores-Román, D. 2000. Caracterización física, química y mineralógica de algunos suelos de la Sierra de Guadalupe, México. En *La Edafología y sus Perspectivas al Siglo XXI*. Tomo I. Ed. UNAM, Colegio de Postgraduados y UACH. pp. 102-107.
- Vela-Correa, G. y Flores-Román, D. 2004a. Suelos con capas endurecidas de la Sierra de Guadalupe. *Revista TERRA Latinoamericana* (22)3: 255-265.

- Vela-Correa, G. y Flores-Román, D. 2004b. Génesis de suelos del parque nacional "El Tepeyac". *Revista TERRA Latinoamericana* (22)3: 389-399.
- Vela-Correa, G., Flores-Román, D., Rodríguez-Gamiño, L., Palma-Mardocheo, M. y García-Cornejo, A. R. 2004. Propiedades edáficas y calidad de sitio de áreas reforestadas en la Sierra de Guadalupe, Distrito Federal. Estudio Realizado para el Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental (CONSERVA), Gobierno de la Ciudad de México. 102p.
- Verbeek, A. A., Mitchel, M. C. and Ure, A. M., 1982. The analysis of small samples of rock and soil by atomic absorption and emission spectrometry after a lithium metaborate fusion/nitric acid dissolution procedure. *Analytica Chimica Acta* 135 pp: 215-228.
- Wade, F. A., Mattox, B. R. 1976. *Elementos de cristalografía y mineralogía*. Ed. Omega, S. A. Barcelona, España. 371p.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1947. An examination of the deghareff method for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science* (37): 29-38.
- WRB. World Reference Base for Soil Resources. 1999. Report No. 84. FAO-ISRIC-IUSS UISS IBU. (<http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/wrb/wrbdocs.htm>).

Anexo 1

Fotografías de la Sierra de Guadalupe

Parcela agrícola en el C. Vicente Guerrero



Plantación de nopal verdura en el C. Zacatenco



Reforestación con *Eucalyptus* sp. en Joya de Nieves



Tinas ciegas en el C. Vicente Guerrero



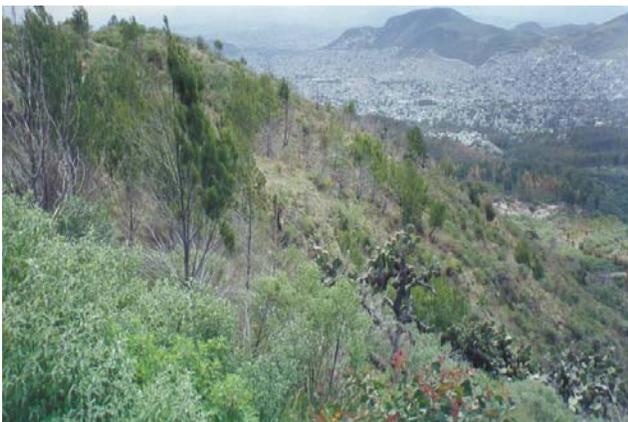
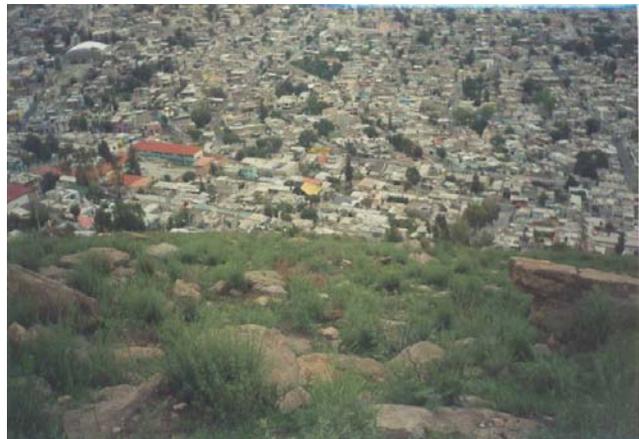
Terrazas agrícolas en el Parque Nacional
"El Tepeyac"



Terrazas agrícolas en la zona de "La Paloma"



La zona urbana en el C. El Chiquihuite



Reforestación con cedro y eucalipto en el
paraje "Arenillas"





Panorámica de la Sierra de Guadalupe



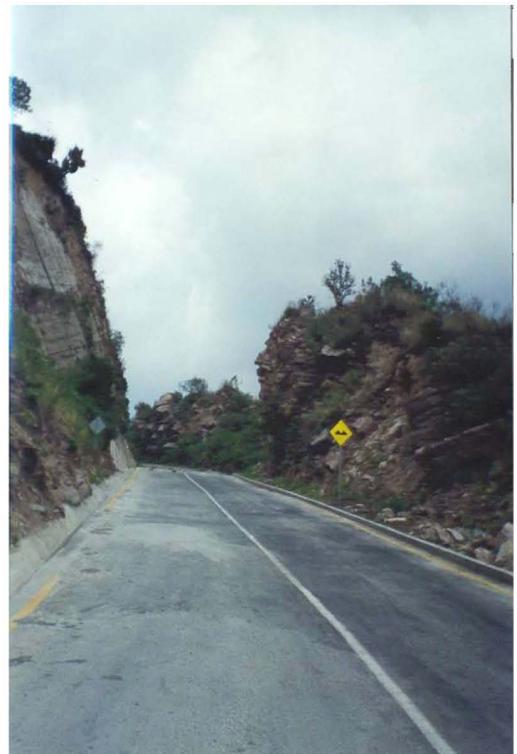
Los *Eucalyptus* sp. del C. Vicente Guerrero



Parcelas agrícolas en la zona de Picacho



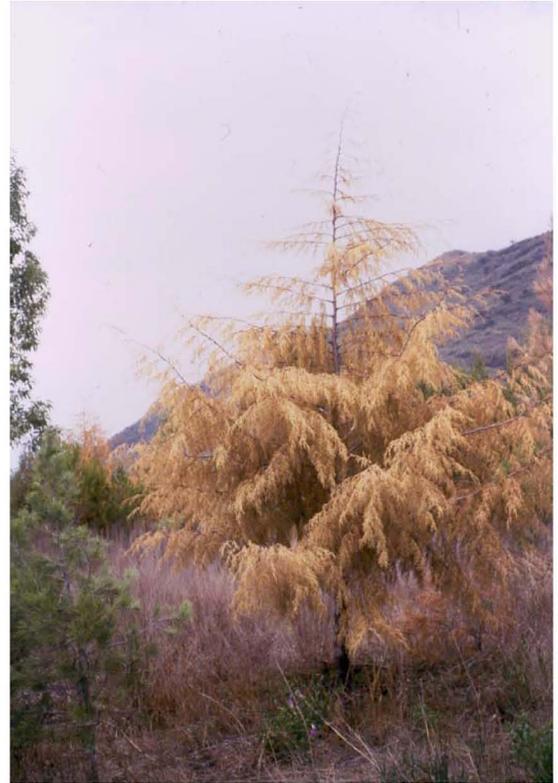
Los *Cupressus* sp. no están en buen estado



Las dacitas y andesitas del Chiquihuite



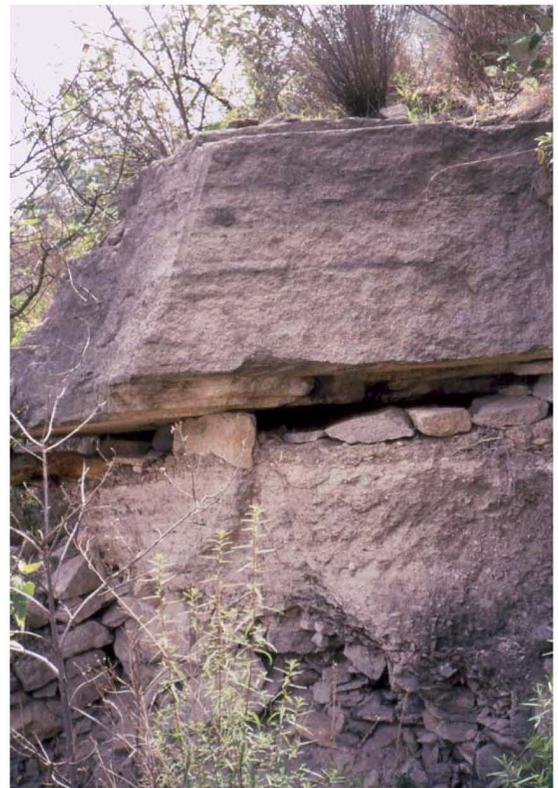
Mojonera y rocas de andesita en el Cerro Zacatenco



Reforestación con cedros en el Fraile



Panorámica de la zona de "Peña Gorda"



Fractura de andesitas en el C. Chiquihuite



Daños al arbolado por incendio en el C. Gachupines

Anexo 2

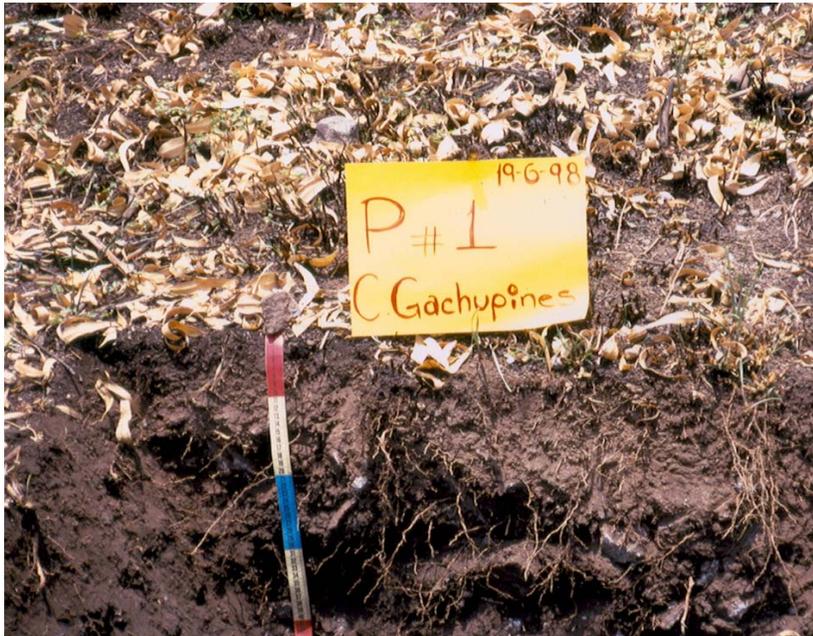
Descripciones Morfológicas de Suelos

PERFIL 1. LOS GACHUPINES.

Se encuentra en el piedemonte norte del cerro "Los Gachupines", en los 19°29'29" de latitud norte y 99°06'46" de longitud oeste, con una altitud de 2,280 msnm, aproximadamente a 30 metros del llamado "muro ecológico". La vegetación del lugar está compuesta principalmente por *Eucalyptus* spp "eucaliptos" y *Schinus molle* "pirul", así como diversas gramíneas predominando *Cynodon dactylon* "pata de gallo", *Hordeum jubatum* "cebada silvestre" y *Avena fatua* "avena loca".

El material parental esta formado por lavas de andesita, presentándose afloramientos en la parte sur del cerro, la profundidad del suelo fue de 36 cm hasta el contacto lítico. Es importante mencionar que parte del cerro presentaba daños por incendio, especialmente en la parte norte. También es conveniente indicar que se encuentra un campo para jugar fútbol y que se realiza durante la época de semana Santa el Vía crucis en este lugar.

Además en la parte superior del cerro se encuentra una capilla con la imagen de la Virgen de Guadalupe, por lo que esta zona está expuesta a un gran impacto por la cantidad de visitantes que recibe.



Fotografía del P-1 Los Gachupines

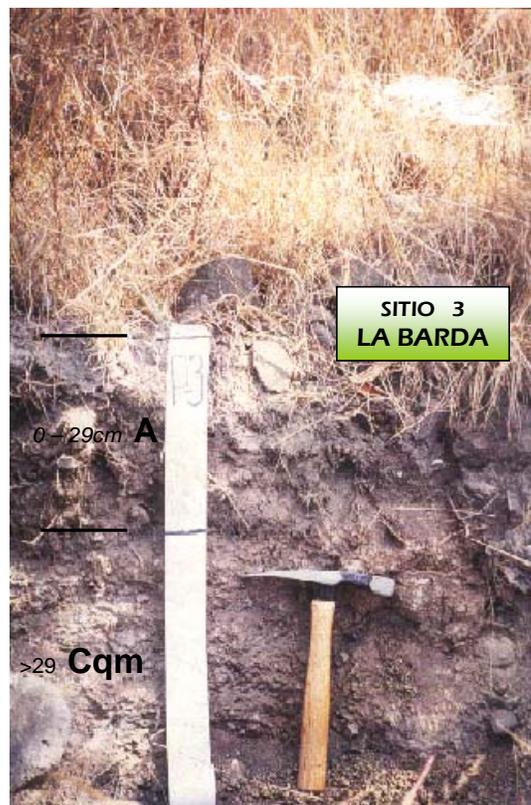
Descripción Morfológica del P-1 Los Gachupines

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-34	Su transición con la siguiente capa es marcada de forma horizontal; estaba ligeramente seco; su consistencia es ligeramente duro en seco y friable en húmedo; color es pardo grisáceo oscuro en seco (10YR 4/2) y gris muy oscuro en húmedo (10YR 2/1); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; con pocos poros muy finos de forma vesicular; la permeabilidad se considera rápida; presenta abundantes raíces delgadas y finas; es muy pedregoso, las piedras son grandes con aristas de origen adesítico; este suelo se considera bien drenado y la erosión que se presenta es hídrica laminar.
R	>34	Lecho rocoso, formado por andesitas poco alteradas.

PERFIL 3. LA BARDA.

Este sitio se encuentra en las siguientes coordenadas UTM 488803E y 2156159N, a una altitud de 2340 msnm, en la parte sur-oeste del cerro "El Guerrero", aproximadamente a 30m del "Muro Ecológico", dentro del Parque Nacional "El Tepeyac", en el Distrito Federal. El sitio presenta un relieve convexo; con una pendiente del 25%, la exposición del perfil es al sureste; su drenaje superficial se considera normal, ya que recibe la misma cantidad de agua de la pendiente superior que la que pierde por escurrimiento hacia abajo; el material parental está integrado por rocas de origen básico como andesitas alteradas.

La vegetación está integrada por varias especies de gramíneas particularmente *Cynodon dactylon* "pata de gallo" o "grama" y *Hordeum jubatum* "cebada silvestre". Este sitio se caracteriza porque ha sido objeto de varios programas de reforestación, por lo que se encuentran ejemplares de *Cupressus lindleyi* "cedro blanco", *Acacia filiforme* "acacia", *Casuarina equisetifolia* "casuarina", *Eucalyptus* sp. y *Schinus molle* "pirú". El tamaño promedio de los árboles es de 10m de altura, siendo la especie dominante el *Eucalyptus* sp. La erosión del lugar es hídrica laminar en grado moderado.



Fotografía del P-3 La Barda

Descripción Morfológica del P-3 La Barda

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-29	La transición a la siguiente capa es marcada, ya que el cambio al siguiente estrato se realiza dentro de una distancia mínima de 2cm.; su consistencia en seco es suelta; el color en seco es Gris (5Y 6/1) y en húmedo (10YR 3/2); es un horizonte muy pedregoso, ya que presentó un porcentaje de piedras entre el 20 y el 50%, predominando las rocas andesitas y basalto de tamaño grande (10 a 20cm. de Ø), de forma subangular; su estructura es grumosa, débilmente desarrollada; hay numerosos poros (más de 200dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø) y medianos (2 a 5mm de Ø) dentro y fuera de los agregados; su permeabilidad se considera muy rápida; Presenta abundantes raíces (100 a 500 por 3dm ²) de tamaño delgado (1 a 3mm de diámetro); se observó la existencia de miriápodos; el drenaje del perfil es excesivo y la erosión que se presenta es hídrica laminar moderada.
Cqm	>29	Su color es gris muy oscuro (10YR 3/1) en seco y pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; su consistencia es ligeramente dura en seco; es ligeramente pedregoso (1 al 5%); el tamaño de las piedras es pequeño (1 a 5cm de Ø), de forma subangular derivadas de andesita y basalto; hay numerosos poros (más de 200dm ²) de tamaño muy fino (de 0.075 a 1mm de Ø); su permeabilidad es moderada; así como la cantidad de raíces (3 a 5 por 3dm ²) de tamaño delgado (1 a 3mm de Ø).

SITIO 5. EL CENTRO.

Este sitio se localiza a 50 m. de las instalaciones del Centro de Conservación de Recursos Naturales de la CORENA, en la parte suroeste del cerro Zacatenco. El sitio se encuentra a una altitud de 2320 msnm. El relieve del sitio es convexo, con una pendiente del 40%, el drenaje se considera normal ya que la pendiente recibe la misma cantidad de agua en la pendiente superior que la que se pierde por escurrimiento hacia abajo. La geoforma corresponde a un domo volcánico, estando constituida la roca madre por un conglomerado de basalto, andesitas y otros minerales en una matriz de color blanco. El suelo es de origen coluvial; es excesivamente pedregoso y las piedras tienen cantos redondeados con tamaños de 20 a 40 cm. de diámetro.

La vegetación de este sitio es producto de reforestaciones artificiales, pero básicamente en esta parte predominan los árboles de *Schinus molle* "pirú"; en el estrato arbustivo se encuentran *Prosopis juliflora* "huizache" *Mimosa biuncifera* "uña de gato" y *Opuntia ficus indica* "nopal", esta última plantada en contorno siguiendo las curvas de nivel con fines de conservación de suelo. Entre las gramíneas *Cynodon dactylon* "grama", *Bouteloa filiformes*, *B. procumbens*, *Setaria geniculata* y *Avena fatua* "avena loca", entre otras. También se encuentran en la zona algunos ejemplares de *Agave sp.* "magüey". La exposición del perfil es al suroeste. En campo este suelo se clasificó con base en WRB (1999) como Lepthosol (Lp).

En campo la descripción morfológica que se elaboró de este perfil es la siguiente:



Fotografía del P-5 El Centro

Descripción Morfológica del P-5 El Centro

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-37	su separación a la capa siguiente es abrupta (< 2.5 cm) de forma horizontal; este horizonte en el momento de su descripción estaba seco; el color es gris muy oscuro (5Y 3/1) en seco y negro (5Y 2/1) en húmedo; su consistencia en seco es dura; la estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; presenta gravas (0.2 a 7.5cm de Ø) subredondeadas; presenta grietas (>3mm de ancho); tiene numerosos poros (+ de 200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado fuerte
R	>37	A partir de esta profundidad, se encontró el lecho rocoso "horizonte R" el cual esta formado por un conglomerado de andesitas y basaltos, principalmente.

SITIO 7. EL PANAL.

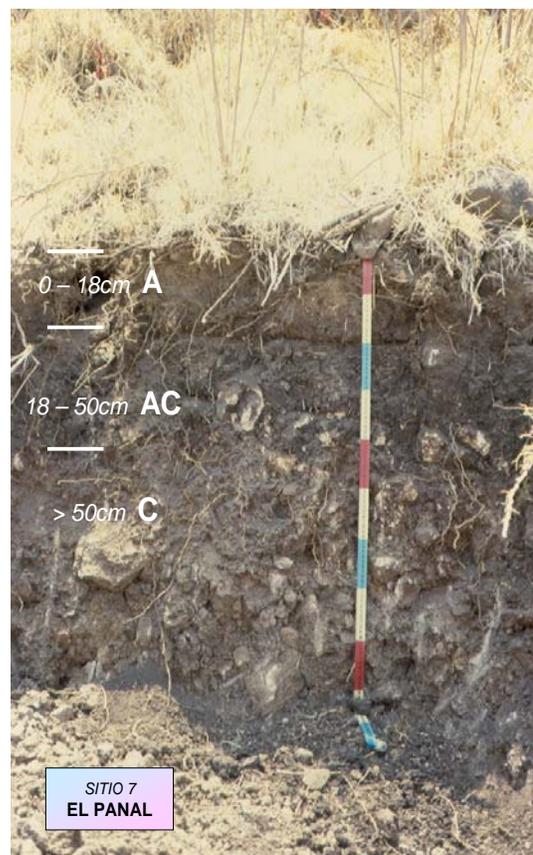
Este sitio se localiza en el paraje "El Panal", aproximadamente a 400 m. del acceso por Chalma de Guadalupe, sobre el camino de terracería que va de "Puerto Metate" a "Peña Gorda". Se localiza a una altitud de 2,500 msnm. El relieve del sitio es convexo, con una pendiente del 25%, el drenaje se considera normal ya que la pendiente recibe la misma cantidad de agua de la pendiente superior que la que se pierde por escurrimiento hacia abajo.

La vegetación que se encuentra en este sitio es producto de reforestaciones artificiales, pero en general en el estrato arbóreo existen ejemplares de *Cupressus lindleyi* "cedro blanco", *Eucalyptus globulus* "eucalipto" y *Schinus molle* "pirú"; en el estrato arbustivo se encuentran *Quercus mycrophylla*, *Prosopis juliflora* "huizache" y *Mimosa biusifera* "uña de gato". Entre las gramíneas *Cynodon dactylon* "grama", *Bouteloua filiformes*, *B. procumbens* "navajita", *Setaria geniculata* y *Avena fatua* "avena loca", entre otras.

Es conveniente destacar que hay también plantado *Vetiveria zizanioides* "pasto vetiver", con fines de conservación de suelo siguiendo las curvas a nivel. También se encuentran algunos ejemplares de *Agave filifera* "maguey" y *Opuntia* sp. "nopales".

El material parental está formado por andesitas alteradas. La cara que se describió del suelo tiene una exposición al poniente. El suelo es pedregoso ya que presenta el 10% de la superficie piedras. El modo de formación del suelo es *in situ-coluvial*.

En campo este suelo se clasificó con base en WRB (1999), como Phaeozem háplico (Hh). A continuación se presenta la descripción morfológica hecha en campo de cada uno de los horizontes que integran este suelo.



Fotografía del P-7 El Panal

Descripción Morfológica del P-7 El Panal

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-18	Es bastante pedregoso, siendo el tamaño de las piedras entre 5 a 30 cm. de Ø; la separación a la siguiente capa es marcada, ya que el cambio se realiza a una distancia menor de 2 cm. y su forma es horizontal; esta capa en el momento de su descripción estaba seca; su color es pardo grisáceo oscuro (2.5Y 4/2) en seco y pardo oscuro (7.5Y 3/2) en húmedo; su consistencia en seco es dura; ligeramente adhesivo; no es plástico; presenta pocas piedras (alrededor del 1%) de tamaño pequeño (1 a 5cm de Ø), forma subangular de clase andesítica; su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; presenta numerosos poros (+ de 200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; su permeabilidad es muy rápida; tiene abundantes raíces (100 a 500 por cada 3dm ²), de tamaño fino (< 1mm de Ø), no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado fuerte
AC	18-50	presenta una transición a la siguiente capa es tenue de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; presenta una consistencia dura; no es adhesivo ni plástico; no presenta cutanes por sesquióxidos; no hay pedregocidad; tiene una permeabilidad muy rápida; las raíces son comunes (10 a 100 por 3dm ²), de tamaño fino (<1mm de Ø) y medio (3 a 10mm de Ø); es un horizonte bien drenado y no se detectó presencia de fauna edáfica. Por último la capa C a partir de los 50cm de profundidad, es un horizonte seco; no adhesivo; no plástico; con presencia de sesquióxidos; libre de pedregocidad; sin estructura; permeabilidad muy rápida; con muy raras raíces (menos de 1 por cada 3dm ²), de tamaño delgado (1 a 3mm de Ø); capa bien drenado
C	>50	A partir de esta profundidad, se encontró el lecho rocoso "horizonte R" el cual esta formado por un conglomerado de andesitas y basaltos, principalmente.

PERFIL 12. ARENILLAS.

Se encuentra en lo que se conoce como la Mina Arenillas, la pendiente es del 20%, presenta un buen drenaje superficial, no hay evidencias de pedregocidad superficial, la erosión es hídrica laminar en grado moderado. Entre la vegetación se puede encontrar *Prosopis. sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Pinus sp*, *Opuntia sp*, *Agave sp.*



Fotografía del P-11 La Caseta del Panal

Descripción Morfológica del P-11 La Caseta del Panal

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-20	La transición con la siguiente capa es tenue de forma horizontal; este horizonte en el momento de su descripción se encontraba seco; su consistencia es ligeramente dura en seco y muy friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; tiene numerosos poros (>200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; en cuanto a las raíces estas son abundantes (10 a 100dm ²), finas y delgadas, no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado leve.
AC	20-50	La transición a la siguiente capa es tenue de forma ondulada; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es migajón-arcillo-limosa; su consistencia en seco es dura y firme en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregocidad; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (>200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son pocas, de tamaño medio y grueso; es un horizonte bien drenado.
C	>50	Esta capa corresponde a material de origen tobáceo

Perfil 13. Joya de Nieves.

Se encuentra en el paraje conocido como “Joya de Nieves”, presenta una pendiente del 10% con un buen drenaje superficial, no hay evidencias de pedregocidad superficial, aunque existen materiales piroclásticos no consolidados “tipo arenas”, con algunos afloramientos de andesitas. La erosión es hídrica laminar en grado moderado. Entre la vegetación se puede encontrar *Prosopis*, *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp, *Opuntia* sp y *Agave* sp.



Fotografía del P-13 Joya de Nieves

Descripción Morfológica del P-13 Joya de Nieves

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A11	0-10	<p>La transición con la siguiente capa es tenue de forma horizontal; este horizonte en el momento de su descripción se encontraba seco; su consistencia es ligeramente dura en seco y muy friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; tiene numerosos poros (>200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; en cuanto a las raíces estas son abundantes (10 a 100dm²), finas y delgadas, no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado leve.</p>
A12	20-40	<p>La transición a la siguiente capa es tenue de forma ondulada; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es migajón-arcillo-limosa; su consistencia en seco es dura y firme en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregocidad; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (>200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son pocas, de tamaño medio y grueso; es un horizonte bien drenado.</p>

(Continuación) Descripción Morfológica del P-13 Joya de Nieves

AC1	40-62	La transición a la siguiente capa es tenue de forma ondulada; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es migajón-arcillo-limosa; su consistencia es seco es dura y firme en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregocidad; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (>200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son pocas, de tamaño medio y grueso; es un horizonte bien drenado.
AC2	62--100	La transición a la siguiente capa es tenue de forma ondulada; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es migajón-arcillo-limosa; su consistencia es seco es dura y firme en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregocidad; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (>200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son pocas, de tamaño medio y grueso; es un horizonte bien drenado.
C	>100	Esta capa corresponde a una toba poco alterada.

Perfil 14. Lucas Patoni

Se encuentra en como a 200 m del depósito de agua del poblado conocido como Lucas Patoni. Presenta una pendiente del 15% con un buen drenaje superficial, no hay evidencias de pedregocidad superficial, aunque existen materiales piroclásticos no consolidados, con algunos afloramientos de andesitas. La zona se caracteriza por la presencia de algunas cuevas. La erosión del sitio se considera es de origen hídrico laminar en grado moderado. Entre la vegetación se puede encontrar *Schinus molle* "Pirul", *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp, *Opuntia* sp, *Agave* sp.



Fotografía del P-14 Lucas Patoni

Descripción Morfológica del P-14 Lucas Patoni

Hz	Prof. <i>(cm)</i>	Descripción
A11	0-10	<p>La transición con la siguiente capa es tenue de forma horizontal; este horizonte en el momento de su descripción se encontraba ligeramente seco; la textura al tacto es arcillo-limosa; su consistencia es suelta en seco y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; es ligeramente pedregoso, ya que se encontraron piedras pequeñas y grandes de forma angular y redondeadas tiene numerosos poros (>200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; en cuanto a las raíces estas son abundantes (10 a 100dm²) de tamaño fino, se observaron algunos miriápodos y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado fuerte.</p>
A12	10-26	<p>La transición a la siguiente capa es media de forma ondulada; este horizonte se encontraba ligeramente seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es limo-arcilloso; su consistencia en seco es ligeramente dura y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; es ligeramente pedregoso al presentar piedras de tamaño grande de forma angular u subangular de origen andesítico; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (>200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son abundantes, finas y delgadas; es un horizonte bien drenado.</p>

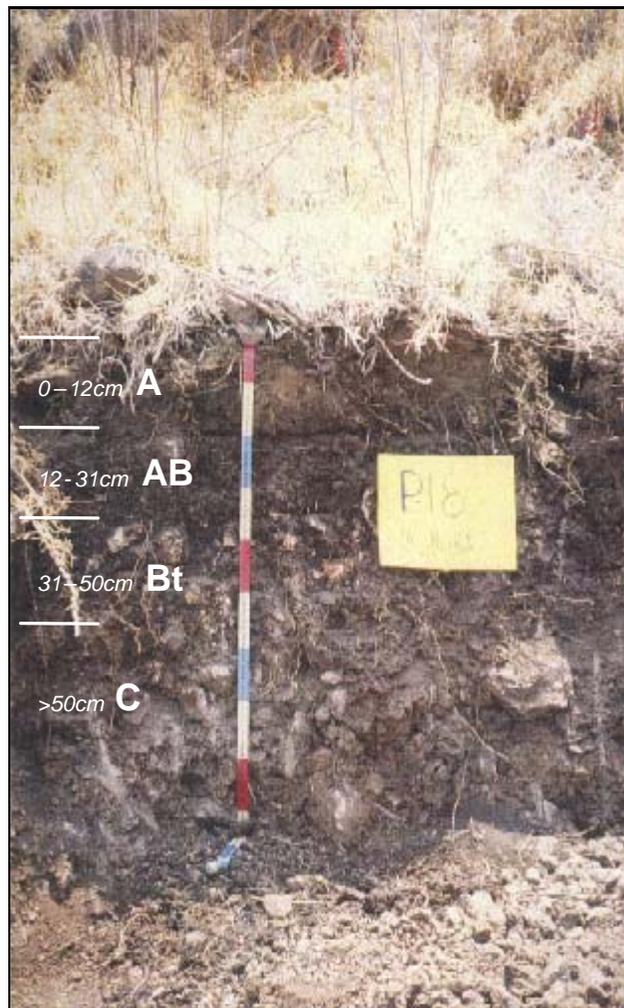
(Continuación) Descripción Morfológica del P-14 Lucas Patoni

AC	26-80	La transición a la siguiente capa es media de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es limo-arcillosa; su consistencia es seco es dura y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregocidad; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (>200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son comunes, tamaño fino; es un horizonte bien drenado.
----	-------	--

PERFIL 18. LA MORA

Este sitio es conocido como "La Mora", dicho paraje se encuentra al pie del cerro "Iglesia Vieja", geográficamente se localiza en las siguientes coordenadas UTM 487790E y 2162848N a una altitud de 2,632 msnm. El relieve del sitio es convexo, con una pendiente del 10%; la vegetación que se encuentra en este sitio, en general esta representada por ejemplares de *Eucalyptus globulus* "eucalipto" *Prunus capulli* "capulín" y *Schinus molle* "pirú"; en el estrato arbustivo se encuentran *Prosopis juliflora* "huizache" *Mimosa biusifera* "uña de gato" y *Opuntia imbricata* "nopal". Entre las gramíneas *Cynodon dactylon* "grama", *Bouteloa filiformes*, *B. procumbens*, *Setaria geniculata* y *Avena fatua* "avena loca", entre otras. También se encuentran algunos ejemplares de *Agave filifera* "maguey".

El material parental está formado principalmente por tobas y andesitas alteradas. La cara que se describió del suelo tiene una exposición al poniente. En campo este suelo se clasificó con base en WRB (1999) como Phaeozem háplico (Hh).



Fotografía del P-18 La Mora

A continuación se presenta la descripción morfológica de este suelo.

Descripción Morfológica del P-18 La Mora

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-12	La separación con la siguiente capa es marcada de forma es horizontal; este horizonte en el momento de su descripción se encontraba seco; la textura al tacto es migajón-arenosa; su consistencia en seco es blanda y muy friable en húmedo; es ligeramente adhesivo; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (+ de 200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; en cuanto a las raíces estas son comunes (10 a 100dm ²), de tamaño delgado (de 1 mm de Ø), no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado leve.
AB	12-31	La transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es migajón-arcillo-limosa; su consistencia en seco es ligeramente dura y firme en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregocidad; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (+ de 200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son comunes (10 a 100dm ²), de tamaño finas, delgadas y medias; es un horizonte bien drenado.

(Continuación). Descripción Morfológica del P-18 La Mora

Bt 31-50 La transición a la siguiente capa es tenue de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su consistencia es seco es y firme en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; no presenta pedregocidad su color, gris pardusco claro (10YR 6/2) en seco y pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; su textura al tacto es arcillosa; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (+ de 200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son comunes (10 a 100dm²), de tamaño finas, delgadas y medias; es un horizonte bien drenado.

C >50 Se encuentra a partir de los 50cm de profundidad; esta capa se encontraba seco al momento de su descripción; su consistencia es seco es dura y muy firme en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregocidad su color es pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco y pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; su textura al tacto es migajón-limosa; presenta pocos poros (1 a 50 por dm²) de tamaño fino (1 a 2mm Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados, con forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son pocas (de 5 a 10 por dm²), de tamaño medio (de 3 a 10mm de Ø).

Perfil 18a (19). Iglesia Vieja.

Este sitio se encuentra al pie del cerro "Iglesia Vieja", geográficamente se localiza en las siguientes coordenadas UTM 487790E y 2162848N a una altitud de 2,632 msnm. El relieve del sitio es convexo, con una pendiente del 10%; la vegetación que se encuentra en este sitio, en general esta representada por ejemplares de *Eucalyptus globulus* "eucalipto" *Prunus capulli* "capulín" y *Schinus molle* "pirú"; en el estrato arbustivo se encuentran *Prosopis juliflora* "huizache" *Mimosa biusifera* "uña de gato" y *Opuntia imbricata* "nopal". Entre las gramíneas *Cynodon dactylon* "grama", *Bouteloa filiformes*, *B. procumbens*, *Setaria geniculata* y *Avena fatua* "avena loca", entre otras. También se encuentran algunos ejemplares de *Agave filifera* "maguey".

El material parental está formado principalmente por tobas y andesitas alteradas. La cara que se describió del suelo tiene una exposición al poniente. En campo este suelo se clasificó con base en WRB (1999) como Phaeozem háplico (Hh).



Fotografía del P-18a Iglesia Vieja

Descripción Morfológica del P-19 (18^a). Iglesia Vieja

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-12	<p>La separación con la siguiente capa es marcada de forma es horizontal; este horizonte en el momento de su descripción se encontraba seco; la textura al tacto es migajón-arenosa; su consistencia en seco es blanda y muy friable en húmedo; es ligeramente adhesivo; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (+ de 200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2 mm de Ø) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; en cuanto a las raíces estas son comunes (10 a 100 dm²), de tamaño delgado (de 1 mm de Ø), no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado leve.</p>
AB	12-31	<p>El horizonte AB, se encuentra a una profundidad de 12 a 31 cm; la transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es migajón-arcillo-limosa; su consistencia en seco es ligeramente dura y firme en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregosidad; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (+ de 200 por dm²) de tamaño fino (1 a 2 mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son comunes (10 a 100 dm²), de tamaño finas, delgadas y medias; es un horizonte bien drenado.</p>

(Continuación) Descripción Morfológica del P-19 (18^a). Iglesia Vieja

Bt	31-50	El horizonte Bt, se encuentra a una profundidad de 31 a 50cm; la transición a la siguiente capa es tenue de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su consistencia es seco es y firme en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; no presenta pedregosidad su color, gris pardusco claro (10YR 6/2) en seco y pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; su textura al tacto es arcillosa; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; tiene numerosos poros (+ de 200 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2 mm de Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son comunes (10 a 100 dm ²), de tamaño finas, delgadas y medias; es un horizonte bien drenado.
----	-------	--

C	>50	El horizonte C, se encuentra a partir de los 50cm de profundidad; esta capa se encontraba seco al momento de su descripción; su consistencia es seco es dura y muy firme en húmedo; es ligeramente adhesivo; no presenta pedregosidad su color es pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco y pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; su textura al tacto es migajón-limosa; presenta pocos poros (1 a 50 por dm ²) de tamaño fino (1 a 2 mm Ø), que se encuentran dentro y fuera de los agregados, con forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son pocas (de 5 a 10 por dm ²), de tamaño medio (de 3 a 10 mm de Ø).
---	-----	--

Perfil 21. Tlalayotes.

Este sitio se encuentra en el paraje conocido como "Tlalayotes" a una altitud de 2,632 msnm. El relieve del sitio es convexo, con una pendiente del 60% la vegetación que se encuentra en este sitio, en general esta representada por ejemplares de *Eucalyptus globulus* "eucalipto" *Prunus capulli* "capulín" y *Schinus molle* "pirú"; en el estrato arbustivo se encuentran *Prosopis juliflora* "huizache" *Mimosa biusifera* "uña de gato" y *Opuntia mbricata* "nopal". Entre las gramíneas *Cynodon dactylon* "grama", *Bouteloa filiformes*, *B. procumbens*, *Setaria geniculata* y *Avena fatua* "avena loca", entre otras. También se encuentran algunos ejemplares de *Agave filifera* "maguey".

El material parental está formado principalmente por tobas y andesitas alteradas. La cara que se describió del suelo tiene una exposición al poniente. En campo este suelo se clasificó con base en WRB (19999) como Phaeozem háplico (Hh).



Fotografía del P-21 Tlalayotes

Descripción Morfológica del P-21. Tlalayotes

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-24	La separación con la siguiente capa es marcada de forma irregular; este horizonte en el momento de su descripción se encontraba ligeramente húmedo; la textura al tacto es migajón-limoso; su consistencia en seco es blanda y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; los poros son frecuentes muy finos (< 1mm de Ø) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; presenta muy pocas piedras, las cuales son de tamaño medio angulares de andesita; en cuanto a las raíces estas son abundantes, finas y delgadas (de 1 mm de Ø), no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado leve.
AC	24-62	La transición a la siguiente capa es marcada de forma irregular; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es migajón-limoso; su consistencia en seco es ligeramente dura y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo; es extremadamente pedregoso, predominan las piedras de tamaño medio y grandes de forma angular de andesita; su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; los poros son frecuentes de tamaño muy fino, mismos que se encuentran dentro y fuera de los agregados de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; las raíces son comunes (10 a 100 dm ²), de tamaño finas, delgadas y medias; es un horizonte bien drenado.
R	>62	El lecho rocoso está compuesto por andesitas.

Perfil 24. El Guerrero.

Este sitio se encuentra en la parte norte del cerro Vicente Guerrero y al parecer es la zona donde que sirvió de depósito de todos los materiales que se extrajeron durante la construcción de la estación del metro "Indios Verdes". El relieve del sitio es convexo, con una pendiente del 25% la vegetación que se encuentra en este sitio, en general esta representada por ejemplares de *Eucalyptus globulus* "eucalipto" y *Schinus molle* "pirú". Entre las gramíneas se encuentran *Cynodon dactylon* "grama", *Bouteloa filiformes*, *B. procumbens*, *Setaria geniculata* y *Avena fatua* "avena loca", entre otras. También se encuentran algunos ejemplares de *Agave filifera* "magüey", cerca de las bardas de las casas que se encuentran en el lugar. El material parental está formado principalmente por andesitas basálticas. La cara que se describió del suelo tiene una exposición al poniente. En campo este suelo se clasificó con base en WRB (1999) como Phaeozem háplico (Hh).



Fotografía del P-24 El Guerrero

Descripción Morfológica del P-24. El Guerrero

Hz	Prof. (cm)	Descripción
A	0-22	<p>La separación con la siguiente capa es marcada de forma ondulada; este horizonte en el momento de su descripción se encontraba seco; la textura al tacto es franca; su consistencia en seco es blanda y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; su color en seco es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; se observaron pocos poros muy finos (< 1mm de Ø) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; es muy pedregoso, al tener piedras pequeñas de forma angular de andesita y basalto; en cuanto a las raíces son abundantes, finas y delgadas (de 1 mm de Ø), no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado leve.</p>
2AC	22-55	<p>La transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; este horizonte se encontraba seco al momento de su descripción; su color es pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; su textura al tacto es arcillo-arenosa; se observaron pocos poros muy finos (< 1mm de Ø) encontrándose dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; la permeabilidad es rápida; es muy pedregoso, al tener piedras pequeñas de forma angular de andesita y basalto; en cuanto a las raíces son comunes, finas y delgadas (de 1 mm de Ø), no se detectó la presencia de fauna edáfica y el grado de erosión que presenta este perfil es hídrica laminar en grado leve</p>
3R	55-84	<p>El lecho rocoso está compuesto por andesitas.</p>

Anexo 3

Resultados de los Análisis de Suelos

Determinaciones Físicas de los Suelos

Muestra	Perfil	Localización	Prof	Hz	Color			Densidad		
					Seco	Húmedo	Aparente	Real		
			- cm -					-- g/cm ³ --		
5	3	C. Guerrero	0-29	A	5Y 6/1	Gris	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	0.93	2.09
6	3	C. Guerrero	>29	C	10YR 7/2	Gris claro	10YR 5/4	Pardo amarillento	1.08	1.89
7	5	C. Zacatenco	0-37	A	5YR 3/1	Gris muy oscuro	5Y 2/1	Negro	0.89	1.73
8	5	C. Zacatenco	>37	C	7.5YR 7/2	Gris rosáceo	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	0.92	1.89
9	9	Pto. "El Panal"	0-18	A	2.5Y 4/2	Pardo grisáceo oscuro	7.5YR 3/2	Pardo oscuro	0.88	1.66
10	9	Pto. "El Panal"	18-50	AC	10YR 5/4	Pardo anarillento	10YR 4/4	Pardo amarillento oscuro	1.11	1.68
11	9	Pto "El Panal"	>50	C	2.5Y 6/6	Amarillo olivo	2.5Y 4/4	Pardo olivo	1.15	1.68
16	10a	La Caseta	0-13	A11	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	2.5Y 4/2	Pardo grisáceo oscuro	0.71	1.75
17	10a	La Caseta	13-53	A12	10YR 5/2	Pardo grisáceo	2.5Y 4/2	Pardo grisáceo oscuro	0.86	1.81
18	10a	La Caseta	53-68	AC	10YR 6/1	Gris	2.5Y 5/2	Pardo grisáceo	0.94	1.86
19	10a	La Caseta	>68	C	5Y 6/3	Olivo pálido	5Y 5/3	Olivo	0.95	1.82
20	12	Arenillas	0-20	A	5Y 5/2	Gris olivo	2.5Y 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	0.92	1.71
21	12	Arenillas	20-50	AC	5YR 7/2	Gris rosáceo	10YR 5/2	Pardo grisáceo	1.11	1.70
22	12	Arenillas	>50	C	5Y 7/1	Gris claro	10YR 5/2	pardo grisáceo	1.10	1.73
23	13	Joya de Nieves	0-10	A11	10YR 5/2	Pardo grisáceo	2.5Y 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	0.83	1.90
24	13	Joya de Nieves	10-40	A12	7.5YR 5/2	Pardo	10YR 4/4	Pardo amarillento oscuro	0.98	1.68
25	13	Joya de Nieves	40-62	AC1	10YR 7/3	Pardo muy pálido	5Y 5/3	Olivo	0.95	1.76
26	13	Joya de Nieves	62-100	AC2	7.5YR 6/4	Pardo claro	7.5YR 5/4	Pardo	1.01	1.70
27	13	Joya de Nieves	>100	C	7.5YR 5/4	Pardo	7.5YR 4/4	Pardo oscuro	1.11	1.74
30	1	C. Gachupines	0-34	A	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10YR 2/1	Negro	1.05	2.00
33	4	C. Zacatenco	0-6	A11	7.5YR 3/2	Pardo oscuro	5YR 2/1	Pardo rojizo oscuro	0.89	1.74

Determinaciones Físicas de los Suelos

Muestra	Perfil	Localización	Prof	Hz	Color			Densidad		
					Seco	Húmedo	Aparente	Real		
			- cm -					-- g/cm ³ --		
34	4	C. Zacatenco	6-30	A12	7.5YR 3/2	Pardo oscuro	10YR 4/4	Pardo amarillento osc.	0.91	2.05
37	24	C. Guerrero	0-22	A	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy osc.	10YR 2/1	Negro	0.92	2.08
38	24	C. Guerrero	22-55	C ₁	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/3	Pardo oscuro	0.93	2.17
39	24	C. Guerrero	55-84	C ₂	10 YR 8/3	Pardo muy claro	5YR 4/1	Pardo amarillento claro	0.81	2.24
40	14	Lucas Patoni	0-10	A11	10YR 4/1	Gris oscuro	10YR 2/1	Negro	0.83	1.64
41	14	Lucas Patoni	10-26	A12	10YR 3/1	Gris muy oscuro	10YR 2/1	Negro	1.00	2.27
42	14	Lucas Patoni	26-80	AC	10YR 3/1	Gris muy oscuro	5YR 4/1	Gris oscuro	0.99	2.00
47	8	El Tenayo	0-28	A	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10YR 2/1	Negro	0.95	2.21
53	18	Iglesia Vieja	0-5	A	2.5Y 3/2	Pardo grisáceo muy osc.	10YR 2/1	Negro	0.97	2.50
54	18	Iglesia Vieja	5-20	AB	2.5Y 3/2	Pardo grisáceo muy osc.	10YR 2/1	Negro	1.04	2.10
55	18	Iglesia Vieja	20-36	Bt	10YR 4/1	Gris oscuro	10YR 2/1	Negro	1.36	2.20
56	18	Iglesia Vieja	36-61	C1	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy osc.	1.02	2.10
57	18	Iglesia Vieja	>61	C2	10YR 5/2	Pardo grisáceo	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	1.09	2.20
58	18a	La Mora	0-12	A	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy osc.	0.82	2.00
59	18a	La Mora	12-31	AB	10YR 5/2	Pardo grisáceo	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	0.85	2.38
60	18a	La Mora	31-50	Bt	10YR 6/2	Gris pardusco claro	10YR 5/2	Pardo grisáceo	0.99	2.38
61	18a	La Mora	>50	C	10YR 6/4	Pardo amarillento claro	10YR 5/4	Pardo amarillento	1.01	2.08
66	21	Tlalayotes	0-24	A11	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	0.83	2.15
67	21	Tlalayotes	24-62	A12	7.5YR	Pardo	5YR 4/2	Gris rojizo oscuro	1.03	2.16
68	21	Tlalayotes	>62	C	2.5YR 6/2	Rojo pálido	2.5YR 5/2	Rojo muy pálido	1.15	2.32
72	6	Las Antenas	0-22	A	5YR 4/1	Gris oscuro	10YR 2/1	Negro	0.90	2.31
73	6	Las Antenas	22-75	AC	10YR 3/1	Gris muy oscuro	10YR 2/1	Negro	1.05	2.42

Determinaciones Físicas de los Suelos

Muestra	Perfil	Localización	Prof	Hz	Porosidad	Partículas			Clasificación Textural
						Arenas	Limos	Arcillas	
			- cm -		-- % --	----- % -----			
26	13	Joya de Nieves	62-100	AC ₂	40.58	45.86	30.76	23.38	Franco
27	13	Joya de Nieves	>100	C	36.20	61.88	23.89	14.23	Migajón-Arenoso
28	10a	La Caseta A	>48	---	50.91	0.87	95.98	3.14	Limoso
29	---	La Caseta B	---	---	46.71	32.10	60.19	7.68	Migajón-Limoso
30	1	C. Gachupines	0-34	A	47.50	28.73	44.99	26.27	Franco
31	1a	C. Gachupines	0-5	A11	55.67	13.06	51.18	35.74	Migajón-Arcillo-Limoso
32	1a	C. Gachupines	5-36	A12	60.07	17.35	47.02	35.62	Migajón-Arcillo-Limoso
33	4	C. Zacatenco	0-6	A11	48.85	22.31	40.77	39.92	Migajón-Arcilloso
34	4	C. Zacatenco	6-30	A12	51.33	22.66	38.79	38.58	Migajón-Arcilloso
35	4a	C. Zacatenco	0-29	A	46.20	27.87	42.93	29.18	Migajón-Arcilloso
36	4a	C. Zacatenco	> 29	C	55.52	37.94	39.03	23.03	Franco
37	24	C. Guerrero	0-22	A	55.76	13.73	43.14	43.14	Arcillo-Limoso
38	24	C. Guerrero	22-55	C1	57.14	30.32	21.06	48.61	Arcilloso
39	24	C. Guerrero	55-84	C2	63.83	60.53	22.27	17.19	Migajón-Arenoso
40	14	Lucas Patoni	0-10	A11	49.39	21.51	34.40	44.14	Arcilloso
41	14	Lucas Patoni	10-26	A12	55.94	19.43	38.40	42.16	Arcilloso
42	14	Lucas Patoni	26-80	AC	50.50	19.22	22.10	58.67	Arcilloso
43	15	El Fraile	0-7	A	57.63	14.56	44.43	40.98	Arcillo-Limoso
44	15	El Fraile	7-39	Bt	58.84	9.75	21.91	68.33	Arcilloso
45	15	El Fraile	39-56	C1	60.08	8.44	74.35	17.20	Migajón-Arcilloso
46	15	El Fraile	56-78	C2	58.03	10.18	72.59	17.23	Migajón-Limoso
47	8	El Tenayo	0-28	A	57.01	32.94	34.43	32.60	Migajón-Arcilloso

Determinaciones Físicas de los Suelos

Muestra	Perfil	Localización	Prof	Hz	Porosidad	Partículas			Clasificación Textural
						Arenas	Limos	Arcillas	
			- cm -		-- % --	----- % -----			
48	16	Moctezuma	0-40	A	58.82	13.56	49.04	37.40	Migajón-Arcillo-Limoso
49	16	Moctezuma	40-63	AC11	59.60	4.75	87.87	7.38	Migajón-Limoso
50	16	Moctezuma	63-90	AC12	48.88	16.96	61.48	21.57	Migajón-Limoso
51	16	Moctezuma	90-139	C	50.90	20.73	45.13	34.13	Migajón-Arcilloso
52	16	Moctezuma	>139	R	---	---	---	---	---
53	18	Iglesia Vieja	0-5	A	61.20	28.10	35.04	36.84	Migajón-Arcilloso
54	18	Iglesia Vieja	5-20	AB	50.47	26.36	36.81	36.82	Migajón-Arcilloso
55	18	Iglesia Vieja	20-36	Bt	38.18	27.37	34.39	38.25	Migajón-Arcilloso
56	18	Iglesia Vieja	36-61	C1	51.42	36.66	26.44	36.91	Migajón-Arcilloso
57	18	Iglesia Vieja	>61	C2	50.45	26.36	48.29	25.34	Franco
58	18a	La Mora	0-12	A	59.00	10.36	38.78	50.87	Arcilloso
59	18a	La Mora	12-31	AB	64.28	7.45	60.92	31.62	Migajón-Arcillo-Limoso
60	18a	La Mora	31-50	Bt	58.48	28.25	31.09	40.66	Arcilloso
61	18a	La Mora	>50	C	51.49	20.00	63.98	16.02	Migajón-Limoso
62	20	Tlalpexco	0-34	A	52.40	21.63	38.73	39.64	Migajón-Arcilloso
63	20	Tlalpexco	34-60	AC	54.58	24.00	16.23	59.75	Arcilloso
64	20	Tlalpexco	60-110	C2	51.36	16.05	65.31	18.64	Migajón-Limoso
65	20	Tlalpexco	>110	R	52.81	24.68	37.20	38.12	Migajón-Arcilloso
66	21	Tlalayotes	0-24	A11	61.39	29.65	38.69	31.64	Migajón-Arcilloso
67	21	Tlalayotes	24-62	A12	52.31	27.19	62.09	10.71	Migajón-Limoso
68	21	Tlalayotes	>62	C	50.43	49.49	29.87	20.63	Franco

Determinaciones Físicas de los Suelos

Muestra	Perfil	Localización	Prof	Hz	Porosidad	Partículas			Clasificación Textural
						Arenas	Limos	Arcillas	
			- cm -		-- % --	----- % -----			
69	22	La Paloma	0-20	Ap	58.74	14.69	64.45	21.68	Migajón-Limoso
70	22	La Paloma	20-80	AC	57.57	25.02	54.38	20.58	Migajón-Limoso
71	22	La Paloma	>80	Cqm	45.58	59.63	24.08	16.23	Migajón-Arenoso
72	6	Las Antenas	0-22	A	60.82	19.21	37.43	43.33	Migajón-Limoso
73	6	Las Antenas	22-75	AC	56.61	7.88	53.04	39.07	Migajón-Arcillo-Limoso
74	7	El Chiquihuite	0-10	A	49.73	26.41	49.01	24.58	Franco
75	7	El Chiquihuite	10-59	AC1	54.92	34.97	34.05	30.97	Migajón-Arcilloso
76	7	El Chiquihuite	59-70	AC2	46.58	28.39	57.87	13.72	Migajón-Limoso
77	7	El Chiquihuite	>70	R	62.82	72.92	14.45	12.62	Migajón-Arenoso

Determinaciones Químicas de los Suelos

Muestra	Perfil	Localización	Prof	Hz	pH 1:2.5	M.O.	C	CIC	Bases intercambiables (<i>cmol+/kg</i>)			
									Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
			- cm -				----- % -----		----- <i>cmol+/kg</i> -----			
5	3	C. Guerrero	0-29	A	8.3	3.76	2.18	54.11	15.0	29.0	0.86	1.48
6	3	C. Guerrero	>29	C	8.6	0.69	0.40	44.86	4.0	24.0	0.86	0.74
7	5	C. Zacatenco	0-37	A	7.3	3.84	2.23	35.15	4.0	15.0	0.91	0.42
8	5	C. Zacatenco	>37	C	7.7	0.32	0.18	30.06	6.0	16.0	1.60	0.39
9	9	Pto. "El Panal"	0-18	A	6.5	4.14	2.30	30.06	5.0	17.0	0.86	0.61
10	9	Pto. "El Panal"	18-50	AC	7.2	0.56	0.32	47.17	5.0	22.0	0.69	0.35
11	9	Pto "El Panal"	>50	C	7.4	0.25	0.14	48.05	8.0	15.0	0.65	0.33
16	10a	La Caseta	0-13	A11	6.8	5.93	3.44	47.63	9.0	25.0	1.06	1.94
17	10a	La Caseta	13-53	A12	7.0	2.38	1.38	55.73	13.0	46.0	0.81	1.12
18	10a	La Caseta	53-68	AC	7.0	0.83	0.48	51.80	11.0	60.0	1.08	0.86
19	10a	La Caseta	>68	C	7.1	0.06	0.03	47.63	8.0	52.0	1.14	0.66
20	12	Arenillas	0-20	A	7.2	3.26	1.89	30.98	7.0	51.0	0.89	0.97
21	12	Arenillas	20-50	AC	8.2	0.37	0.21	32.83	3.0	16.0	1.13	0.33
22	12	Arenillas	>50	C	9.0	0.43	0.24	35.61	4.0	19.0	3.95	0.53
23	13	Joya de Nieves	0-10	A11	7.3	4.13	2.39	85.56	13.0	32.0	0.74	1.40
24	13	Joya de Nieves	10-40	A12	7.2	1.67	0.97	50.45	15.0	39.0	0.91	1.68
25	13	Joya de Nieves	40-62	AC1	8.0	0.19	0.11	95.13	13.0	42.0	1.47	1.73
26	13	Joya de Nieves	62-100	AC ₂	8.4	0.19	0.11	85.04	14.0	35.0	2.67	1.81
27	13	Joya de Nieves	>100	C	8.3	0.12	0.07	57.17	17.0	33.0	1.04	2.22
30	1	C. Gachupines	0-34	A	6.6	2.17	1.26	23.58	25.2	8.4	2.60	0.67

Determinaciones Químicas de los Suelos

Muestra	Perfil	Localización	Prof	Hz	pH 1:2.5	M.O.	C	CIC	Bases intercambiables (cmol+/kg)			
									Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
			- cm -	----- % -----			----- cmol+/kg -----					
37	24	C. Guerrero	0-22	A	6.7	3.16	1.83	39.31	24.5	7.0	1.39	1.03
38	24	C. Guerrero	22-55	C1	7.5	1.84	1.06	67.75	46.9	18.2	2.69	0.67
39	24	C. Guerrero	55-84	C2	8.3	0.46	0.26	62.43	74.9	14.7	2.43	0.51
40	14	Lucas Patoni	0-10	A11	6.4	4.25	2.47	43.93	23.1	9.8	1.56	1.42
41	14	Lucas Patoni	10-26	A12	7.0	1.94	1.12	33.63	24.5	14.7	1.69	0.58
42	14	Lucas Patoni	26-80	AC	7.5	0.56	0.32	45.16	23.1	16.8	2.93	0.60
47	8	El Tenayo	0-28	A	6.7	3.35	1.94	32.19	30.8	0.7	2.10	0.73
53	18	Iglesia Vieja	0-5	A	6.4	2.55	1.48	16.18	21.0	12.6	1.52	2.02
54	18	Iglesia Vieja	5-20	AB	5.6	1.85	1.07	34.68	16.8	14.7	1.63	0.32
55	18	Iglesia Vieja	20-36	Bt	6.2	1.65	0.95	59.20	18.9	7.0	0.89	1.02
56	18	Iglesia Vieja	36-61	C1	6.2	0.66	0.38	33.30	18.6	20.3	1.84	0.23
57	18	Iglesia Vieja	>61	C2	6.7	0.49	0.28	12.60	22.4	16.1	2.52	0.52
58	18a	La Mora	0-12	A	5.3	3.68	2.13	36.53	22.4	18.9	1.41	1.41
59	18a	La Mora	12-31	AB	6.0	1.09	0.63	49.95	33.6	17.5	2.52	1.03
60	18a	La Mora	31-50	Bt	6.5	0.59	0.34	45.64	28.0	20.3	1.76	0.43
61	18a	La Mora	>50	C	8.1	0.36	0.20	51.80	47.6	14.7	1.58	0.51
66	21	Tlalayotes	0-24	A11	6.3	7.04	4.08	30.75	19.6	6.3	0.69	1.28
67	21	Tlalayotes	24-62	A12	6.1	1.95	1.13	33.30	16.8	11.9	0.69	0.51
68	21	Tlalayotes	>62	C	6.9	0.20	0.11	29.60	18.2	9.8	0.80	0.58
72	6	Las Antenas	0-22	A	6.7	4.28	2.48	33.30	19.6	7.0	0.89	0.64
73	6	Las Antenas	22-75	AC	7.1	1.65	0.95	37.92	26.6	4.9	1.34	0.55
77	6	Las Antenas	>75	R	7.3	0.13	0.07	14.80	5.6	12.6	1.08	0.29

Determinaciones Químicas de los Suelos

Muestra	Perfil	Localización	Prof	Hz	pH 1:2.5	M.O.	C	CIC	Bases intercambiables (cmol+/kg)			
									Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
			- cm -			----- % -----			----- cmol+/kg -----			
74	7	El Chiquihuite	0-10	A	6.3	4.62	2.67	25.90	14.0	5.6	0.65	1.88
75	7	El Chiquihuite	10-59	AC1	7.2	0.41	0.23	21.29	8.4	7.0	0.82	1.33
76	7	El Chiquihuite	59-70	AC2	7.3	2.27	1.31	25.92	11.2	10.5	0.82	0.47