



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

“ESTUDIO EDAFOLOGICO DE UN SECTOR
DE LA SIERRA NEGRA DEL ESTADO DE PUEBLA”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EDAFOLOGÍA

P R E S E N T A

EDGARDO TORRES TREJO

DIRECTOR DE TESIS: DOCTOR JESUS ARMANDO RUIZ CAREAGA

MÉXICO, D.F.

MARZO, 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Agradezco AL Dr. Jesús Ruiz Careaga por ser el mi director de tesis y por su apoyo en la realización de esta tesis.

De igual manera agradezco al M en C. Miguel Ángel Valera Pérez por sus atinadas sugerencias y su interés por apoyarme en la terminación de esta tesis.

Agradezco al Dr. Jorge Enrique Gama Castro por su tutoría en la elaboración de esta tesis.

Quiero también destacar el apoyo brindado por la Dra. Norma Eugenia García Calderón por sus atinadas sugerencias y criticas en la realización de este trabajo.

A mi esposa Alma por ser el apoyo, paciencia y comprensión y sobre todo por su amor, gracias.

A mis hijos, Edgar, Daniel y Josué que son para mí un orgullo.

A mis padres que aunque ya no están son para mi, padres ejemplares.

A mis maestros de la UNAM por sus enseñanzas.

A mis compañeros del departamento de Investigaciones en Ciencias Agrícolas.

	Pág.
RESUMEN.....	1
CAPITULO I	
I.1.- Introducción.....	3
I.2.- Justificación.....	5
I.3.- Hipótesis.....	6
I.4.- Objetivos.....	6
CAPÍTULO II	
CONDICIONES NATURALES DEL ENTORNO DE LA ZONA DE ESTUDIO Y PERFIL SOCIODEMOGRAFICO.....	7
II.1.- Localización Geográfica	7
II.2.- Geología	9
II.3.- Hidrología.....	12
II.4.- Clima.....	14
II.5.- Vegetación.....	14
II.5.1.- Selva Baja Caducifolia.....	15
II.5.2.- Bosque de Encino.....	16
II.5.3.- Bosque de Pino Encino.....	16
II.5.4.- Bosque de Pino.....	17
II.5.5.- Bosque Mesófilo de Montaña.....	17
II.5.6.- Pastizal Inducido.....	17
II.5.7.- Matorral Crasicaule.....	18
II.5.8.- Mezquital.....	18
II.6.- Perfil sociodemográfico de la región.....	20
II.6.1.- Ajalpan.....	20
II.6.2.- Coxcatlán.....	21
II.6.3.- Coyomeapan.....	22
II.6.4.- San Antonio Morelos Cañada.....	23
II.6.5.- Vicente Guerrero.....	24
II.6.6.- Zoquitlán.....	25

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
III.1.- Recopilación de Información y trabajo Cartográfico.....	27
III.1.1. - Elaboración de Premapas – Fotointerpretación – Digitalización.....	28
III.2.- Trabajo de Campo.....	30
III.2.1.- Verificación en campo de la fotointerpretación.....	30
III.2.2.- Descripción de los perfiles de suelo y muestreo.....	31
III.3.- Trabajo de Laboratorio Caracterización física y química de las muestras de suelo.....	31
III.3.1.- Preparación de las muestras de suelo para su análisis.....	31
III.3.2.- Caracterización física de las muestras de suelo.....	32
III.3.3.- Caracterización química de las muestras de suelo.....	32

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	34
IV.1.- Unidades de suelo identificadas en la región estudiada.....	34
IV.2.- Condiciones ambientales y morfología de los suelos.....	40
IV.3.- Evaluación de las condiciones climáticas y sus efectos sobre la dinámica de los suelos.....	61
IV.3.1.- Determinación del régimen de temperatura y el régimen de humedad de suelo	64
IV.3.2.- Climogramas.....	66
IV.3.3.- Climogramas complementarios.....	68
IV.4.- Propiedades físicas y Químicas de los Suelos... ..	74
IV.4.1.- Propiedades Físicas de los Suelos.....	75
IV.4.1.1.- Color del suelo.....	75
IV.4.1.2.- Textura del suelo... ..	81
IV.4.1.3.- Densidad Real.....	84
IV.4.1.4.- Densidad Aparente.....	86
IV.4.2.- Propiedades Químicas de los Suelos.....	87

IV.4.2.1.- Reacción del suelo.....	87
IV.4.2.1.1.- pH y Δp	90
IV.4.2.2.- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y porcentaje de saturación de bases (%V).....	93
IV.4.2.3.- Porcentaje de saturación en bases.....	94
IV.4.2.4.- Materia Orgánica.....	95
IV.4.2.4.1.- Efecto de la Materia Orgánica sobre las propiedades Físicas del suelo...	95
IV.4.2.4.2.- Descomposición de la Materia Orgánica.....	98
IV.4.2.5.- Interpretación de resultados de laboratorio.....	98
IV.5.- Clasificación de Suelos.....	108
IV.5.1.- Clasificación de Suelos Soil Taxonomy.....	108
IV.5.2.- Clasificación de los Suelos WRB.....	115
V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....	122

RESUMEN

La Sierra Negra se encuentra localizada al sureste del Estado de Puebla, entre los paralelos 18° 00' y 18° 30' de Latitud Norte y los meridianos 97° 00' y 97° 15' Longitud Oeste. Se realizó un estudio edafológico en un sector de la Sierra, para identificar las unidades de suelo, fue necesaria la fotointerpretación de fotografías aéreas (escala 1:50,000 en blanco y negro, INEGI 1987) de la zona de estudio; en el campo se evaluó el entorno, se seleccionaron los perfiles más conservados, es decir aquellos que han sufrido en menor grado los efectos de la erosión, siempre tomando aquellos que aún están protegidos por bosque; se describieron perfiles de suelo utilizando como guía el manual sobre descripción de perfiles de suelos y evaluación del entorno (Ruiz et al. 1999), y localizados con GPS, fueron delimitadas unidades de suelo y con la descripción realizada de campo, eligiendo los perfiles representativos, que fueron analizados en laboratorio y finalmente se elaboró el mapa de suelos correspondiente. Este se trazó de acuerdo a las características físicas y químicas estudiadas, encontrándose 4 unidades de suelo, que fueron clasificadas de acuerdo a la Soil Taxonomy 2006 y a WRB (World Reference base) 2006.

En la zona de estudio presenta relieve montañoso con pendientes de 20%, en mesetas a 60% o más en lugares dedicados a la agricultura intensiva de maíz, frijol, alverjón, cebada y haba, combinados con pequeños rebaños de ganado vacuno y ovino.

Estos suelos presentan factores limitantes importantes para su explotación agrícola:

- Pendiente
- Deforestación
- Erosión
- Tecnologías de explotación
- Precipitaciones Abundantes
- Profundidad del suelo
- Compactación

Por estas razones surge la necesidad de realizar un diagnóstico del estado actual de los suelos, y partir de dicha información para implementar medidas de conservación en los sectores degradados.

El presente trabajo servirá como un instrumento técnico-científico de planificación del uso del suelo de acuerdo a su aptitud, tomando en cuenta sus factores limitantes.

CAPITULO I

I.1.- Introducción

Los recursos naturales del planeta presentan un gran deterioro que ha sido provocado por la actividad humana incontrolada desde hace muchos miles de años; en un inicio, cuando el hombre apenas se contaba en unos pocos cientos de seres; la actividad humana no presentaba un riesgo para el equilibrio ecológico establecido de forma natural durante el proceso de transformación ocurrido en la Tierra; aquellos hombres se alimentaban de la colecta de frutas y de la caza; vivían en cavernas como lo siguen haciendo hoy los animales salvajes. Con el tiempo la población se incrementó; el hombre pasó de vivir en cavernas a construir sus propias casas para lo cual necesitó utilizar madera del bosque; ya no se alimentaba solo de frutas y de los animales que cazaba, aprendió a cultivar la tierra y a producir alimentos que enriquecieron su dieta; su intelecto y las necesidades crecientes fueron motivos de avances cada vez más espectaculares llegando el momento que sus avances le permitían combatir con éxito enfermedades que antes los mataba; los avances en la medicina; la construcción de maquinarias y herramientas les abrieron las puertas a un mundo desarrollado de incalculables logros; sin embargo, al parecer el éxito acumulado durante años lo hizo creerse dueño de la naturaleza; olvidando su origen y su dependencia ancestral de los recursos naturales; su afán de lucro y la avaricia incontrolada ha podido más que el sentido común que debe guardar hacia los recursos del entorno los cuales en lugar de protegerlos, los ha acabado hasta tal punto que muchas regiones que antes estaban cubiertas por bosque hoy se han convertido en zonas áridas y desiertos improductivos.

Desde hace unas décadas se inició una recuperación de la conciencia humana y se comenzó a pensar que no es posible la vida en la Tierra si no preservamos la diversidad de las especies animales, vegetales y cuidamos la calidad de los suelos; cuerpos de agua y el aire.

A partir de la Cumbre para la Tierra +5, celebrada en Río de Janeiro Brasil, en el año 1992, (Cumbre para la Tierra 1992); los gobiernos de la mayoría de los países se tratan de poner de acuerdo para trabajar en el saneamiento

ambiental del planeta; cada país se compromete a luchar por el desarrollo sostenible de la sociedad. Acuerdos como la lucha contra la desertificación y el desarrollo de las zonas montañosas fueron tomados de manera unánime, en un documento conocido como “Agenda 21”; que consiste en un plan Mundial para promover el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas 1997).

En este marco se pretende incluir el trabajo realizado y contribuir al mejoramiento de las condiciones naturales de esta región, evitar que se siga con la tala inmoderada de bosques y el cultivo de tierras no aptas para la agricultura con métodos inadecuados para zonas montañosas.

La pérdida del suelo debe constituir una de las mayores preocupaciones de cualquier país, debido a que este recurso se encuentra asociado con factores como la producción de biomasa, ciclos hidrológicos, fijación de energía, biodiversidad y amortiguamiento de cambios climáticos, entre otros (Morgan, 1997, Toledo y Leal, 1998).

A partir de 1945, se han erosionado más de 12 millones de km² de suelos superficiales, como consecuencia del sobre pastoreo (35%), deforestación (30%) y explotación agrícola incorrecta; este proceso de erosión se acentúa por el cambio de uso del suelo, métodos de explotación y agricultura en laderas (Enkerlin *et al.*; 1997; SEMARNAT, 2000).

Muchos reportes de investigación, han situado a México entre los países de Latinoamérica que presentan mayores problemas de erosión, debido a que de las 200 millones de hectáreas que componen el territorio nacional, 154 millones padecen de diversos grados de erosión, equivalentes a casi el 80% del área total de la superficie del país, de las cuales 30 millones, es decir el 15% están erosionadas en un grado de severo a muy severo (Mass y García-Oliva, 1990; SEMARNAP/INEGI, 1997; Brañes, 2000), esto es debido a diversos factores que se conjugan en primer lugar, en nuestro país existen muchas cadenas montañosas, muy escarpadas, que se distribuyen a lo largo del territorio nacional, más del 65% de ellas se elevan por encima de la cota de los 1000 msnm y aproximadamente el 47% de la superficie de éstas presenta pendientes superiores al 27% (SEMARNAT/INEGI, 1997). Otro aspecto importante que se debe tomar en consideración es que el crecimiento demográfico, en las últimas décadas, ha provocado que en las áreas

montañosas del centro del país haya un incremento en el cambio de uso del suelo.

La falta de recursos económicos obligan al campesino a la sobreexplotación de los recursos naturales para sobrevivir, talan el bosque para consumo doméstico y cultivan en laderas con pendientes pronunciadas sin tomar en cuenta la protección de los suelos; estas actividades afectan la cobertura vegetal, dejando el suelo sin protección y acelerando la erosión (Ruiz *et al.*, 2001).

I.2.- Justificación

La erosión de los suelos en las zonas montañosas es el resultado de una falta de estrategias en el manejo de este recurso natural. Existe en la actualidad un marcado abandono de estas zonas, que atenta contra su desarrollo y de continuarse con el empleo de tecnologías de explotación inadecuadas en estas zonas, donde existe un equilibrio ecológico frágil, en pocas décadas muchas regiones montañosas, sufrirán o padecerán de un desastre ecológico.

Al sur del Estado donde se localizan dos zonas muy diferentes: la Mixteca Poblana (zona árida) y la Sierra Negra (zona boscosa y húmeda). Entre estas dos regiones existe una franja de varios kilómetros de ancho a manera de interfase o en contorno, la cual es sometida desde hace varias décadas, a la tala indiscriminada de árboles y al establecimiento de cultivos en pendientes, provocando la erosión acelerada de los suelos y la consecuente degradación del entorno. Cada año, esta franja avanza más hacia el este sobre sectores conservados de la Sierra Negra y de no tomarse medidas urgentes, en unas décadas más, muchos sectores de la Sierra Negra presentarán un paisaje similar al de la Mixteca Poblana.

La región de la Sierra Negra del estado de Puebla es un buen ejemplo de estas situaciones y por estas razones surge la necesidad profundizar en el conocimiento de la dinámica de los suelos en regiones montañosas y su relación con su medio ambiente, partiendo de dicha información se puedan implementar medidas apropiadas en uso sustentable, promoviendo la protección de los sectores aun preservados y la restauración de los sectores

degradados. Estas medidas deben ser orientadas a las comunidades que viven en las zonas afectadas, para tratar de conservar su medio.

I.3.- Hipótesis

El daño ocasionado por el hombre al suelo de regiones montañosas como la de un sector la Sierra Negra del estado de Puebla; es generado por el uso inadecuado de este recurso natural.

I.4.- Objetivos

Objetivo general

- Profundizar en el conocimiento de la dinámica de los suelos en regiones montañosas y su relación con su medio ambiente.

Objetivos particulares

- Clasificar los suelos en la región de estudio de acuerdo con los criterios de la Soil Taxonomy y la World Reference Base for Soil Resources.
- Determinar las propiedades de cada uno de los suelos de la región en estudio.
- Evaluar su uso actual y determinar su uso potencial.
- Proponer medidas de conservación y manejo sustentable de los suelos.

CAPITULO II

CONDICIONES NATURALES DEL ENTORNO EN LA REGIÓN DE ESTUDIO Y PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO

II.1.- Localización Geográfica

La región de estudio se localiza al sureste del Estado de Puebla, entre los paralelos 18° 00' y 18° 30' de Latitud Norte y los meridianos 97° 00' y 97° 15' Longitud Oeste (Fig. 1); colinda al norte con el estado de Veracruz (municipio de Omealca), al sur con el estado de Oaxaca (municipio de Teotitlán del Camino), al este con los municipios de Tlacotepec de Díaz y Eloxochitlán y al oeste con los municipios de Tehuacán, Altepexi y Zinacatepec. Tiene una extensión aproximada de 859.125 km² y comprende los municipios de Zoquitlán, Coyomeapan, Coxcatlán, Ajalpan y Vicente Guerrero.

La Sierra Negra forma parte de la Sierra Madre Oriental y es identificada como componente de las Sierras de Axuxco y de Zongolica. En la Sierra de Axuxco comprende los municipios de Tlacotepec de Díaz, Eloxochitlán, Coyomeapán y Zoquitlán, mientras que la Sierra de Zongolica, se encuentran los municipios de Zoquitlán, Coyomeapán, Coxcatlán, Ajalpan, Vicente Guerrero y San Antonio Cañada.

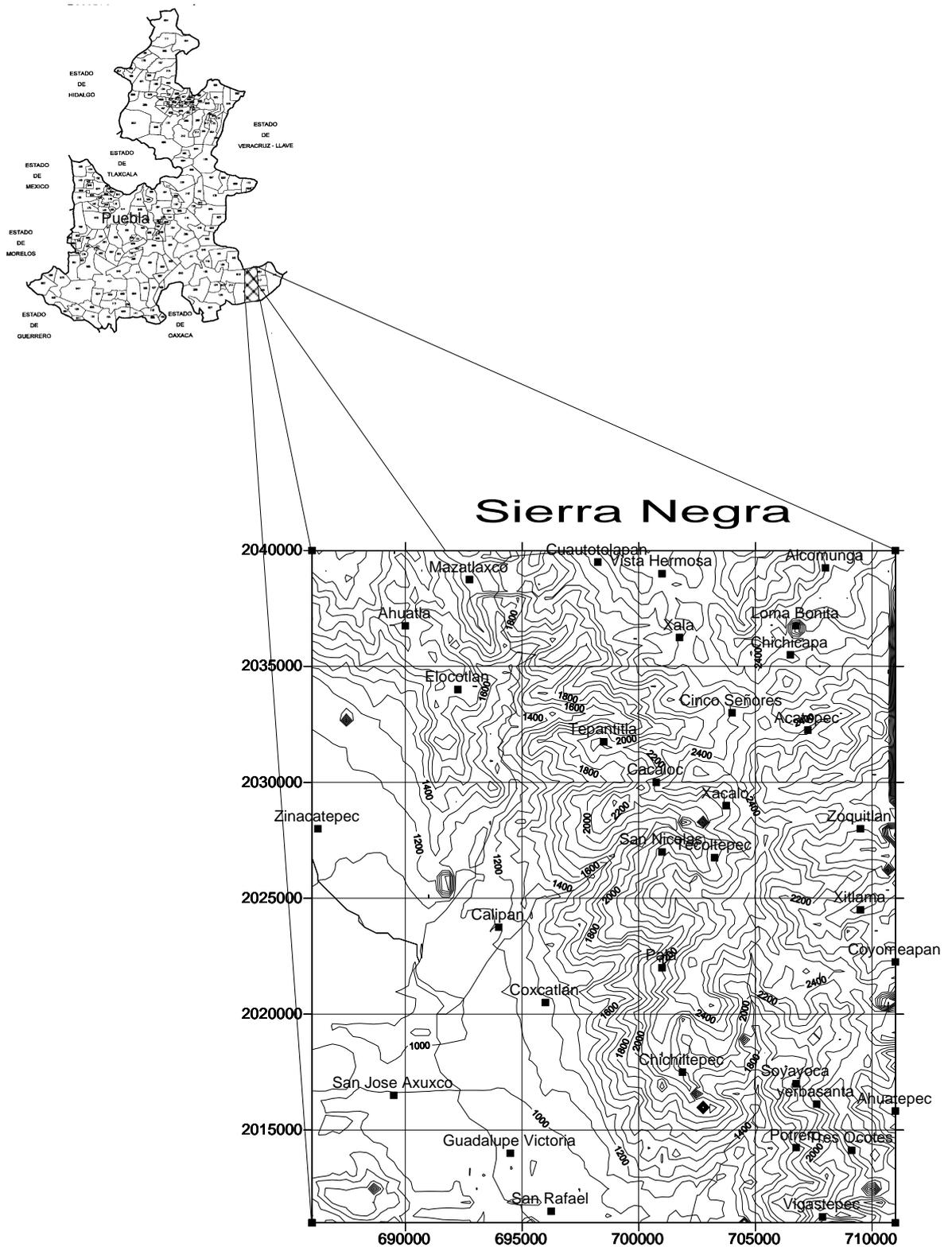


Fig. 1 Localización geográfica de la zona de estudio (Digitalizado por Edgardo Torres Trejo con base en la Información Cartográfica INEGI, 1994).

II.2.- Geología

Desde el punto de vista geológico, el Estado de Puebla presenta una gran diversidad de rocas pertenecientes a casi todas las eras geológicas.

En la Sierra Negra se localizan rocas metamórficas y sedimentarias (Fig. 2), las primeras por su gran extensión, son rocas metamórficas sedimentarias, esta unidad pertenece al "Complejo Cuicateco", y corresponde a secuencias sedimentarias con interrelaciones de colados que han sido deformados, pertenecientes posiblemente a una secuencia de arco- volcánica, todas estas rocas se encuentran muy plegadas y con un metamorfismo incipiente de esquistos verdes, incluyen conglomerados, caliza y escasos minerales a partir de andesitas cuyos minerales son andesinas, augita, clorita y magnetita. Subyacen a la unidad de cataclasitas y sobreyacen a una porción de la Formación Chivillas, afloran en la parte oeste de la zona de estudio en una franja que va desde la población de Vigastepec hasta Mazatlaxco. También están asociadas con rocas de tipo cataclasita, con metamorfismo dinámico pertenecientes al "Complejo Cuicateco", (Patiño, J. 1978 y Moreno, E. 1980), estas rocas sedimentarias, son de color gris con tonos pardos y claros, formadas por cuarzo, feldespatos y micas. Estas rocas forman pliegues recostados generalmente hacia el oriente se distribuyen en complejo con rocas sedimentarias y están cubiertas en forma irregular por conglomerados del terciario de la Formación Cuarteles sobreyaciendo por contacto tectónico a la unidad sedimentaria.

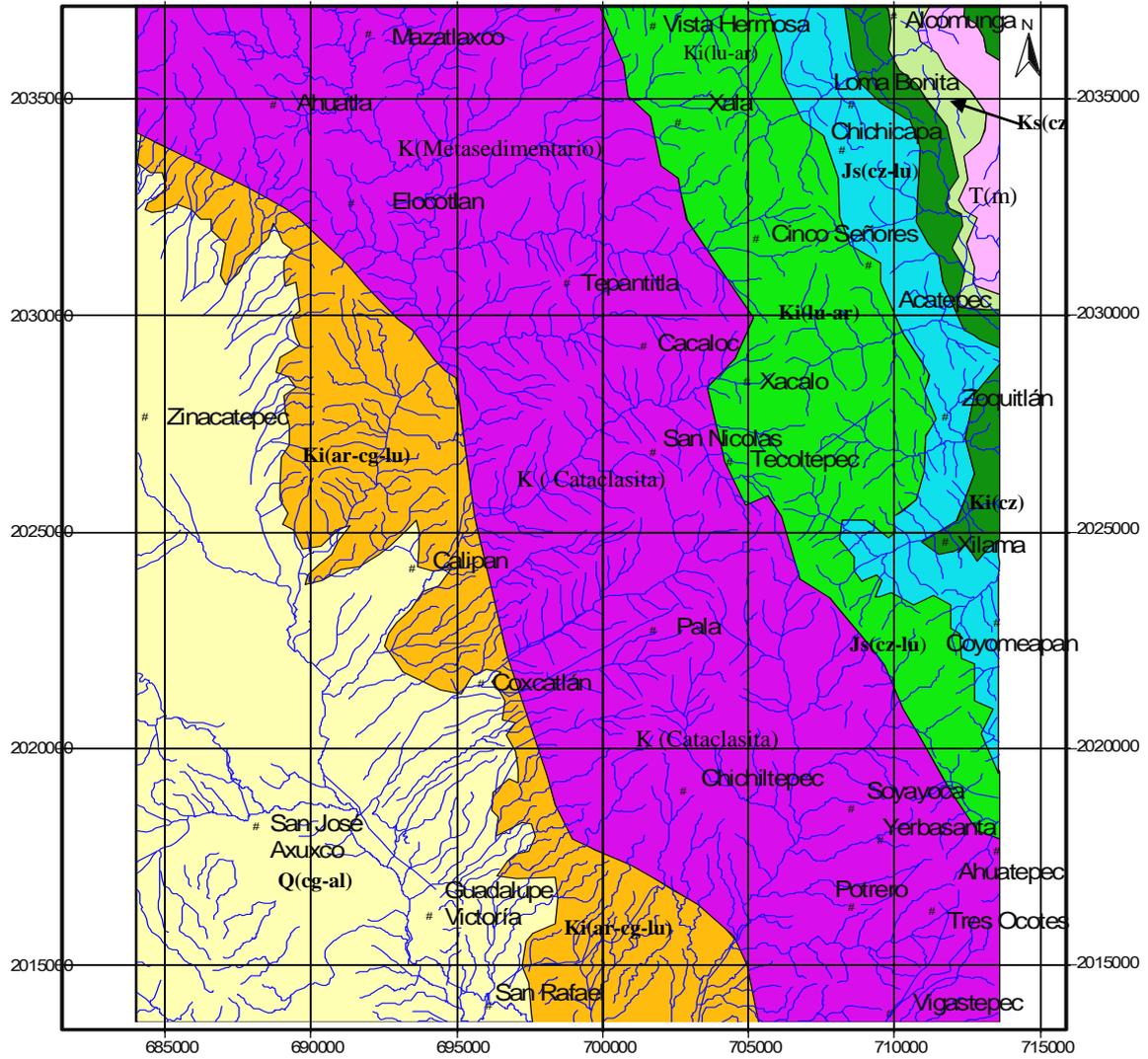
Las rocas más abundantes por su extensión son los conglomerados de origen continental, con pequeños trozos de calizas, areniscas, rocas ígneas y fragmentos de cuarzo y pedernal, englobados en una matriz arcilloso- arenosa, poco consolidada y pobremente cementada, con aristas redondas y subangulares; distribuidas en la parte baja de la Sierra Negra, donde se localizan las poblaciones de Coxcatlán, Calipan y Zinacatepec, San José Axuxco y Guadalupe Victoria.

Las que le siguen son rocas sedimentarias, ocupan el segundo lugar por su área en donde se encuentran lutitas y areniscas del Cretácico inferior. La expresión morfológica de esta unidad es la parte central de la sierra y son lutitas calcáreas con intercalaciones de areniscas calcáreas, en una franja de

norte a sur, localizadas en los poblados de Aguatepec, Acatepec, Cinco Señores y Vista Hermosa.

Otras rocas en el área son las calizas con lutitas del Jurásico superior, son de color oscuro, un poco bituminosas las calizas se encuentran en estratos de 10 a 30 centímetros, con textura de grano fino compuesta de arcilla. Las lutitas se encuentran intercaladas en capas de 5 a 10 centímetros, constituidas de limo y arcilla, esta unidad presenta un aspecto pizarroso, el depósito de estas rocas, posiblemente se originó en un ambiente de cuenca, sobreyace por contacto tectónico a las unidades del Cretácico inferior (Mena Rojas, 1960), localizadas en los poblados de Zoquitlán, Acatepec y Chichicapa.

También se tienen calizas del Cretácico inferior y superior, que van de color gris a gris claro de estratificación gruesa a masiva, de ambiente de plataforma lagunar a arrecife, que están localizadas al este de las poblaciones de Zoquitlán, Chichicapa y Loma Bonita. Las segundas son rocas calizas rojizas, esta formaciones encuentra fracturada, presenta vetillas de calcita, con bandas y nódulos de pedernal y está dispuesta en capas se localiza en la población de Alcomunga. Y por último se encuentran rocas metamórficas de color blanco a gris, contienen calcita, cuarzo mica, talco clorita y grafito, se encuentran en una porción desde el poblado de Ahuatla hasta la parte norte de Zoquitlán.



Esc. 1: 50,000

SIMBOLOGÍA

Q (Conglomerado y aluvial) (Caliza)	Ki (Arenisca-Conglomerado-Lutita)	K (Cataclasita - sedimentario)	Cz
Ki (Lutita - Arenisca)	Js (Caliza -Lutita)	Ks (Caliza)	T (Mármol)

Fig. 2 Mapa Geológico de la zona de estudio (Digitalizado por Edgardo Torres Trejo con base en la información cartográfica, INEGI. 1994).

II.3.- Hidrología

La configuración del territorio Poblano ha propiciado que la mayoría de sus corrientes, sean las formadoras de los importantes ríos que corren en los estados vecinos de Veracruz y Oaxaca.

Para describir con mayor amplitud la hidrografía del estado de Puebla este se dividió en tres zonas, tomando como base la regionalización hidrológica elaborada por las Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos (INEGI, 2000).

Estas zonas son:

Región Hidrológica “Río Balsas” (RH 18)

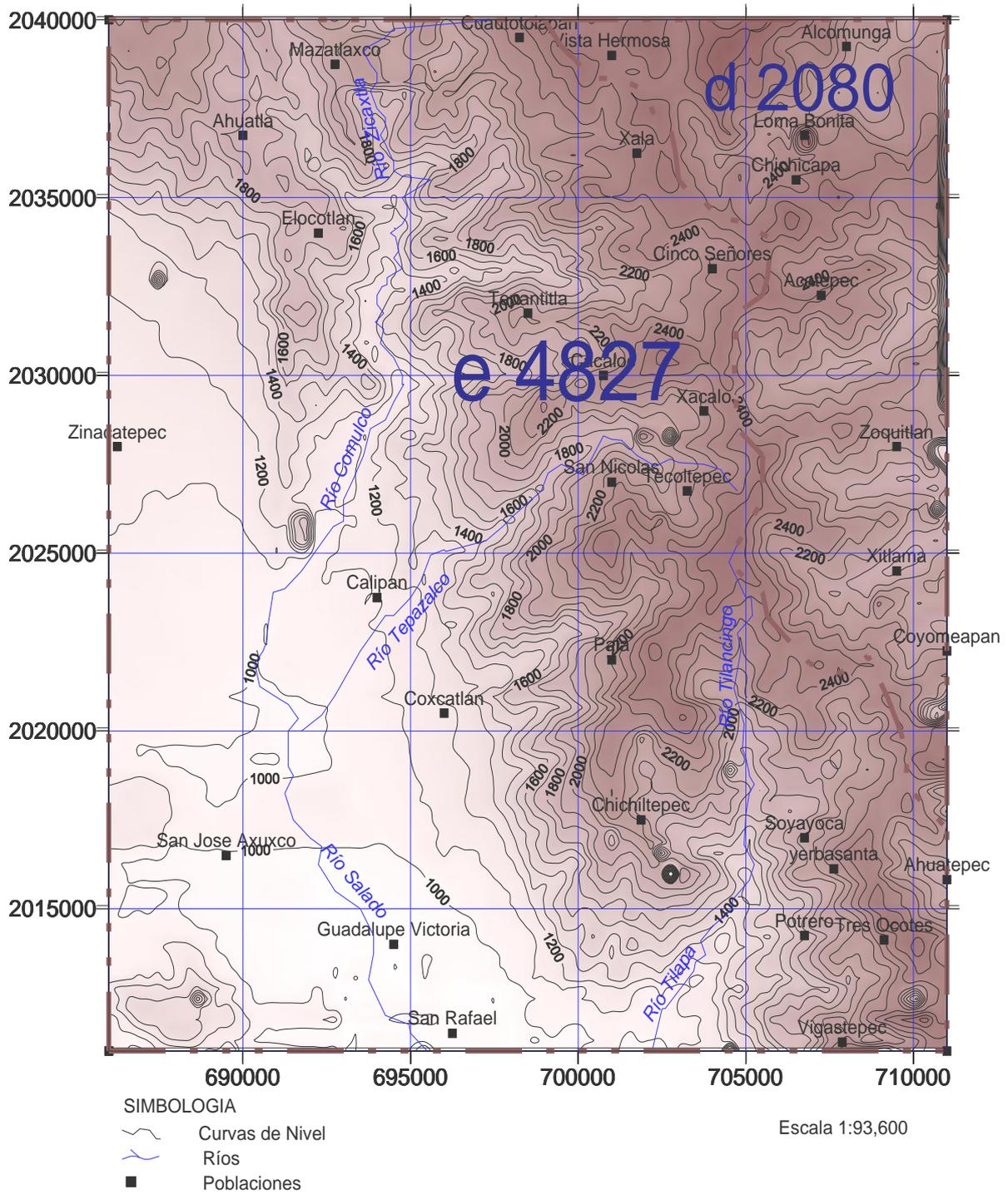
Región Hidrológica “Tuxpan-Nautla” (RH 27)

Región Hidrológica “Papaloapan” (RH 28)

La zona de estudio pertenece a la región hidrológica RH 28, denominada Papaloapan, que corresponde a los ríos Papaloapan y Jamapa, los cuales drenan al Golfo de México. Esta región hidrológica se subdivide en subcuencas, la C 4827 y d 2082 pertenecen a la Sierra Negra.

En la primera subcuenca, se localizan los ríos Comulco y Zicastla, que se unen antes de llegar a Calpina, el Tepazalco que pasa por Calpina, Azompa que cruza por Coxcatán y el Tilanzingo que atraviesa por la población de Tilaza. Todos estos nacen de las estribaciones de la Sierra Negra. En esta zona las corrientes tienen una disposición radial y paralela, controladas por las características de disección del paisaje. Estos ríos y escurrimientos son afluentes de los ríos Tehuacán y Salado.

La subcuenca d 2082, parte hacia el este de la Sierra Negra, en ella sólo existe el río Coyolapán que tiene su nacimiento en las poblaciones de Zoquitlán y Coyomepán. Este río y sus escurrimientos, desembocan en la presa Miguel Alemán del Estado de Veracruz (Fig. 3).



INEGI.

Fig. 3. Mapa Hidrológico (Región Hidrológica del Papaloapan RH28) (Digitalizado por Edgardo Torres Trejo, con base en la información cartográfica, INEGI. 1995).

II.4.- Clima

En la zona de estudio se identifican 4 grupos de climas que van desde el clima cálido seco hasta clima templado húmedo (INEGI1994).

C(m)(w) : Clima templado húmedo con lluvias todo el año, porcentaje de lluvia invernal de 5% y precipitaciones del mes más seco menor a 40mm; temperatura media anual de 16 a 18°C y una precipitación media anual de 900 a 1300mm y cubre los municipios de Ajalpan, Zoquitlán y Coyomeapan.

C(w₂)(w): Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, el más húmedo de los Cw, con porcentaje de lluvia invernal menor a 5; temperatura media anual de 16 a 18°C y una precipitación media anual de 500 a 800 mm. Este tipo de clima se encuentra entre los municipios de Ajalpan, Vicente Guerrero, Zoquitlán, Coyomeapan y Coxcatlán.

BS₁hw(w): Clima semicálido y semihúmedo con lluvias en verano; el menos seco de los BS, con porcentaje de lluvia invernal menor a 5, con invierno fresco, la temperatura media anual es de 18 a 22°C, la temperatura del mes más frío es menor a 18°C y una precipitación media anual entre 400 a 500mm. Se encuentra en los municipios de Ajalpan, Vicente Guerrero y Coxcatlán.

BS₁(h[^])hw(w): Clima cálido seco con lluvias en verano, el más seco de los BS, con un porcentaje de lluvia invernal menor al 5% anual, la temperatura media anual es de 18 a 22°C y una precipitación media anual menor a 450mm. Este tipo de clima se localiza en los municipios de Ajalpan y Coxcatlán.

II.5.- Vegetación

La vegetación se distribuye conforme al patrón de altura, el cual es también uno de los factores que inciden en las variaciones de los elementos del clima. Muchas de las áreas forestales han sido eliminadas por la tala indiscriminada, de tal manera que en la actualidad, la vegetación en general se encuentra en

diferentes etapas sucesionales de desarrollo, formando en el mejor de los casos, comunidades secundarias (INEGI. 1993), en la zona de estudio se localizan los siguientes tipos de vegetación y comunidades secundarias inducidas (Fig. 4).

II.5.1.- Selva Baja Caducifolia

Es una selva con árboles cuya altura está comprendida entre 4 -15 metros, de los cuales 75% pierden casi completamente sus hojas durante la época más seca del año. El área se encuentra ampliamente distribuida de norte a sur, de Teotitlán del Camino Oaxaca hasta San Antonio Cañada, entre 1000 y 2200 msnm de la Sierra Negra, limitado en la parte baja por agricultura de riego y en la parte alta agricultura de temporal, algunos pastizales inducidos y también bosque de encino, donde hay más humedad. Una de las características es que colinda con bosques de encino, que corren de norte a sur en las laderas de la Sierra, en áreas con precipitaciones que fluctúan entre de los 700 y 800 mm, sobre esquistos del Paleozoico, lutitas y areniscas del Jurásico, en suelos someros de buen drenaje.

Otra porción está localizada en la parte oeste de la carretera que va a Teotitlán del Camino, Oaxaca, desarrollándose entre los 920 y 1080 msnm, en áreas con precipitaciones que varían de 400 a 500 mm sobre rocas calizas del Cretácico inferior. En ésta aparece vegetación de selva baja espinosa caducifolia, entremezcladas con *Cercidium praecox*, *Ceiba parvifolia*, *Bursera morelensis*, *B. odorata*, *Fouquieria formosa* y con muchas cactáceas columnares como *Neubuxbamia tetetzo*, *Stenocereus stellatus*, *Pachycereushollianus*, caracterizándose esta comunidad como espinosa seca. Estos elementos se desarrollan en climas que van desde los secos muy cálidos y cálidos con lluvias en verano $BS_0(h')w(w)$, hasta el semiseco semicálido con lluvias en verano $BS_1hw(w)$.

II.5.2.- Bosque de Encino

Bosque formado por especies del género *Quercus* (encino roble), que se adapta muy bien a diferentes condiciones climáticas. En la zona de estudio se localizan en una franja de norte a sur, limitada en la parte baja por la selva baja caducifolia y en la superior por bosque de encino-pino, bosque pino-encino y bosque de pino. Las especies que predominan son:

- *Quercus crassifolia*.
- *Quercus sideroxylon*.
- *Quercus eugeniaefolia*.
- *Quercus galiotti*.

Estas especies se desarrollan en áreas de clima semiseco semifrío, con lluvias en verano $BS_1kw(w)$ y templado subhúmedo con lluvias en verano $C(w_2)(w)$ y precipitaciones de 800 a 1000 mm.

II.5.3.- Bosque de Pino Encino

Comunidades de árboles formadas por diferentes especies de *Pinus spp* (pino) y *Quercus spp* (encino), predominando los primeros. Estos se encuentran en casi todos los sistemas montañosos del país, principalmente localizados entre 1000 a 2800 msnm. En la Sierra se encuentran en altitudes entre 2300 y 2600 m aproximadamente, limitados por los bosques de pino encino y bosques mesófilos, las especies que predominan en esta área son: *Pinus patula*, *Pinus teocote*, *Quercus scytophylla* y *Quercus conglomerata*.

Estos bosques son de clima templado subhúmedo con lluvias en verano $C(w_0)(w)$ y su precipitación media anual entre los 800 y 1500 mm, se desarrollan sobre esquistos del Paleozoico, lutitas y areniscas del Jurásico.

II.5.4.- Bosque de Pino

Esta vegetación arbórea está constituida por varias especies del genero *Pinus*, que se desarrollan en montañas a una altura de 300 a 4200 m aproximadamente. Se localizan en la Sierra a 2700 m, como un último tipo de vegetación de acuerdo a la máxima altura de la Sierra. Está limitada en la parte inferior por bosque de pino-encino y bosque de encino-pino, donde las especies dominantes son: *Pinus teocote* y *Pinus rudis*. Estos bosques son de clima templado subhúmedo, con abundantes lluvias en verano C(m)(w), y templados subhúmedos con lluvias en verano C(w₂)(w) y precipitaciones de 1500 a 2000 mm, ubicados sobre lutitas y areniscas del Jurásico y calizas del Cretácico inferior.

II.5.5.- Bosque Mesófilo de Montaña

Vegetación arbórea densa que se encuentra en las laderas de montaña, barrancas y otros sitios en condiciones de humedad más favorable, por tal motivo se distingue del resto de la vegetación que la rodea. Se localiza en una pequeña franja en la parte más alta y con mucha humedad, hacia el este del poblado de Soyayoga, aproximadamente a 2650 msnm sobre el nivel medio del mar y presenta clima templado subhúmedo con lluvias en verano C(w₂)(w), con precipitaciones medias anuales de 1200 a 2000 mm, se asientan sobre rocas del Jurásico y esquistos del Paleozoico.

II.5.6.- Pastizal inducido

Este pasto surge como consecuencia de la deforestación y abandono de áreas agrícolas que han perdido su potencial productivo o en áreas con incendios frecuentes. Se localiza en el límite del bosque de encino y las selvas bajas caducifolias, en áreas donde se eliminó la vegetación y en sectores afectados por la erosión del suelo.

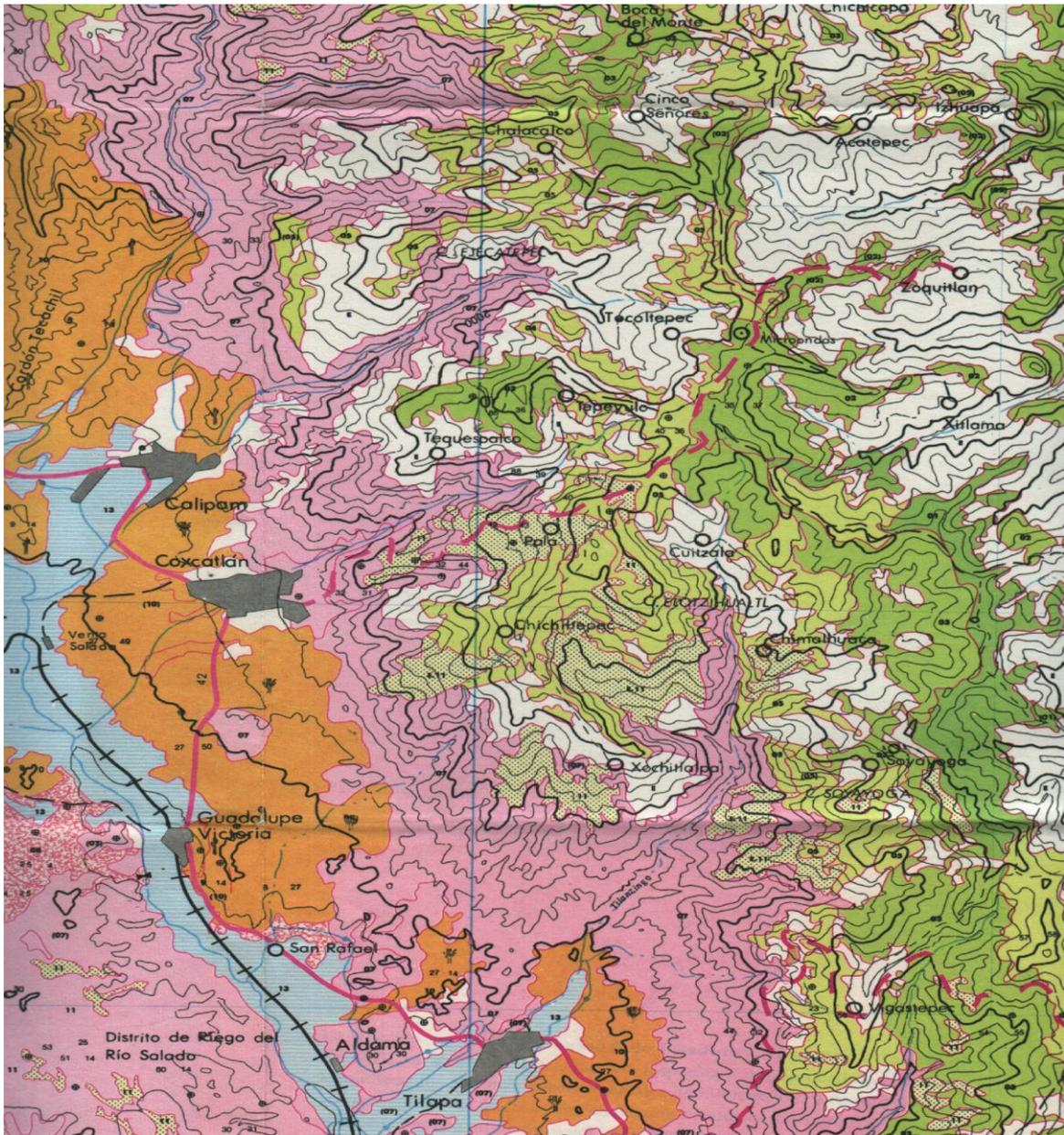
En los lugares con pendientes pronunciadas, aparecen con frecuencia en zonas afectadas por la erosión, como ocurre en el tramo del poblado de Tala hacia Zoquitlán.

II.5.7.- Matorral Crasicaule

Los matorrales crasicaules con fisonomía de techeras, se localizan en la parte central del Valle de Calipan sobre areniscas y conglomerados del Terciario y en la parte sur del valle del Axuxco, sobre calizas del Cretácico inferior. Apareciendo una asociación con dominancia muy marcada de *Neuxubaumia tetezo*, donde se encuentran asociadas algunas especies de selva baja caducifolia como: *Cercidium praecox*, *Bursera morelensis*, *Bursera odorata*, *Bursera submoniliformis*, *Ceiba parvifolia*, *Fouquieria formosa*, *Echtia podantha* y *Bursera spp.*(NEGI 1993).

II.5.8.- Mezquital

Se caracteriza por el predominio de Mezquite (*Prosopis laevigata*), constituyendo los llamados mezquiales. Es una comunidad arbórea casi homogénea de leguminosas espinosas. Generalmente colinda con agricultura de riego y aparece en las laderas de la Sierra al este de Zinacatepec y al sur en la población de San Rafael. Las especies son: *Prosopis laevigata*, *Scontria chiotilla*, *Mirtilocactus geometrizzans*, *Stenocereus weber* y *Cercidium praecox*.



Fuente: Carta de Vegetación del Valle de Tehuacán, Revista de Geografía de INEGI 1990.

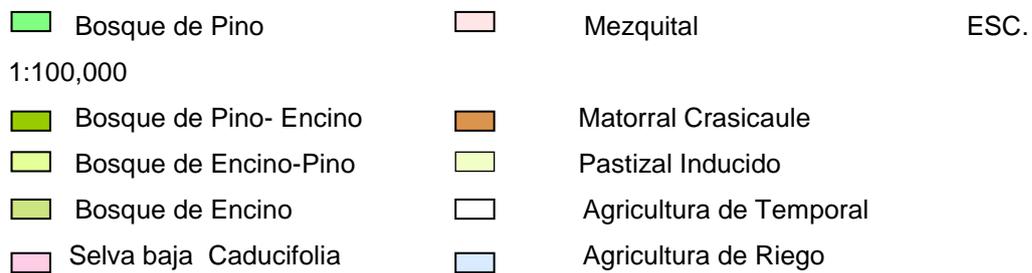


Fig. 4 Mapa de Vegetación

II.6.- Perfil sociodemográfico de la Región

La agricultura es la actividad económica más importante de la región, sin embargo, los mayores ingresos provienen de las remesas enviadas por los habitantes que emigran temporal o permanentemente a los Estados Unidos de Norte América. La población campesina alcanza el 10% de los habitantes del estado y en la Sierra Negra, desde 1970 hasta la fecha, se ha incrementado en un 15%. La mayor parte de la población juvenil en edad laboral, emigra en busca de mejores condiciones de vida, el resto de la población está obligada a dedicarse fundamentalmente a las labores agrícolas, sin contar con una capacitación adecuada. Se cultivan los suelos situados en las laderas, utilizando técnicas que no tienen en cuenta su conservación.

En la región en estudio, el 100 % de la agricultura es de temporal, se siembra maíz, frijol, haba, trigo, avena y cebada. En cuanto a la fruticultura encontramos: aguacate, durazno, membrillo, ciruelo y manzano (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Puebla 2005). Sobresale el maíz, tanto por su importancia en la dieta como por la superficie que ocupa, se siembra solo o intercalado con haba, trigo, cebada y avena, estos cultivos ocupan siempre superficies pequeñas y en el mismo terreno se siembran árboles frutales como manzano, pera, ciruelo, durazno, etc.

A continuación se describe el perfil socio demográfico de cada municipio comprendido en la región estudiada (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Puebla 2005).

II.6.1.- Ajalpan

De acuerdo al Censo de Población 1995 del INEGI el municipio tiene 42,183 habitantes, siendo 20,812 hombres y 21,371 mujeres, con una densidad de población de 130 habitantes por kilómetro cuadrado, teniendo una tasa de crecimiento anual de 3.33%. Se estima que para el año 2010 la población sea de 57,202 calculándose una densidad de población de 200 habitantes/Km².

Con respecto a marginación tiene un índice de 1.166, esto quiere decir que su grado de marginación es muy alto, por lo que ocupa el lugar 34 de los municipios del estado.

Tiene una tasa de natalidad de 29.4%; una tasa de mortalidad de 4.7% y una tasa de mortalidad infantil de 27.9%.

La actividad económica desarrollada en el municipio es la siguiente:

- Agricultura

El municipio produce granos como frijol, maíz, haba, trigo y arvejón, en fruticultura produce manzana, aguacate, caña de azúcar, durazno, naranja y capulín. En hortaliza produce cebolla, jitomate, papa, tomate verde y chícharo. En cuanto a forraje produce cebada y alfalfa.

- Ganadería

El ganado vacuno, ovino, porcino, caprino, asnal y mular y además se cría aves de corral.

- Industria

Cuenta con industrias manufactureras en la fabricación de artículos de palma, vara, carrizo y mimbre; molinos de nixtamal, fabricación de ladrillos, tabique y tejas no refractarios, así como tortillerías, fabricación de alimentos y productos de minerales no metálicos.

II.6.2.- Coxcatlán

El municipio tiene 17,399 habitantes, siendo 8,634 hombres y 8,765 mujeres, con una densidad de población de 57 habitantes/km², teniendo una tasa de crecimiento anual de 1.63%. Se estima que para el año 2006 la población sea de 19,112 calculándose una densidad de población de 66 habitantes/Km².

Con respecto a la marginación tiene un índice de -0.053, esto quiere decir que su grado de marginación es media, por lo que ocupa el lugar 154 con respecto al resto del estado.

Tiene una tasa de natalidad de 28.7%; una tasa de mortalidad de 5.9% y una tasa de mortalidad infantil 24.2%.

La actividad económica desarrollada en el municipio es la siguiente:

- Agricultura

Dentro del municipio el principal grano que se produce es el maíz y frijol de temporal y agricultura de riego caña de azúcar.

- Ganadería

En esta actividad tenemos la cría de ganado como el bovino, porcino, caprino y ovino; así como asnal, mular y conejos; en relación a las aves tenemos pavos, gansos, patos y palomas.

- Industria

Fabricación de papel, de alimentos, muebles de madera, ensamble, reparación de tractores, maquinaria e implementos agrícolas, herrerías y molindas de nixtamal.

II.6.3.- Coyomeapan

El municipio tiene 11,197 habitantes, siendo 4,894 hombres y 5,142 mujeres, con una densidad de población de 49 habitantes/km²; teniendo una tasa de crecimiento anual de 0.52%. Se estima que para el año 2010 la población sea de 10,587 calculándose una densidad de población de 50 habitantes/km².

Con respecto a la marginación tiene un índice de 1.758, esto quiere decir que su grado de marginación es muy alto, por lo que ocupa el lugar 13 con respecto al resto del estado.

Tiene una tasa de natalidad de 34.4%; una tasa de mortalidad de 7.9% y una tasa de mortalidad infantil de 34.2%.

La actividad económica desarrollada en el municipio es la siguiente:

Agropecuaria, agricultura y comercio, con una población aproximada de 4,000 habitantes a una distancia aproximada de 190 kilómetros a la Ciudad de Puebla.

II.6.4.- San Antonio Morelos Cañada

El municipio tiene una población de 16,030 habitantes, siendo 7,906 hombres y 8,124 mujeres, con una densidad de población de 134 habitantes/km²; con una tasa de crecimiento anual de 2.51%. Se estima que para el año 2010 la población sea de 20,800 calculándose una densidad de población de 185 habitantes/km².

Con respecto a marginación tiene un índice de 0.653, esto quiere decir que su grado de marginación es alto, por lo que ocupa el 77^{avo} lugar con respecto al resto del estado.

Tiene una tasa de natalidad de 30.6%; una tasa de mortalidad de 4.2% y una tasa de mortalidad infantil 28.7%

La actividad económica desarrollada en el municipio es la siguiente:

- Agricultura

Se produce maíz, trigo, calabaza, frijol y alfalfa, en fruticultura encontramos: durazno, capulín, chabacano, manzana y perón.

- Ganadería

Se cría ganado: bovino, porcino, caprino, ovino, equino, asnal, mular y conejo, aves de corral como el pato casero, pavo, ganso y paloma.

- Industria

Las principales industrias que dan sustento al municipio de Cañada Morelos son los derivados de la leche, queso, mantequilla, requesón y crema; así también la existencia de granjas de pollo (Avícola el Calvario); granjas de cerdo donde se obtienen todos sus derivados; otra es el curtido y acabado de cuero ya que existen fábricas de calzado y cinturones de cuero; fábricas de muebles; sastrerías, molinos de nixtamal y tortillerías.

II.6.5.- Vicente Guerrero

El municipio cuenta con una población 20,345 habitantes, siendo 10,204 hombres y 10,141 mujeres y una densidad de población de 87 habitantes/km²; con una tasa de crecimiento anual de 1.59%. Se estima que para el año 2010 la población sea de 20200 calculándose una densidad de población de 90 habitantes/km².

Con respecto a marginación tiene un índice de 1.841 esto quiere decir que su grado de marginación es muy alto, por lo que ocupa el noveno lugar respecto a los municipios del resto del Estado.

Tiene una tasa de natalidad 35.5%; una tasa de mortalidad de 6.4% y una tasa de mortalidad infantil de 35.6%.

La actividad económica desarrollada en el municipio es la siguiente:

producción de granos como: maíz, frijol, haba, trigo y alberjón; en relación a la fruticultura, se cultiva la manzana y el durazno; y en cuanto a hortalizas, únicamente papa, y en forraje la cebada.

- Ganadería

En esta actividad sólo cuenta con ganado de traspatio, entre los que se encuentran el bovino, porcino y equino, principalmente; además existen otros como el mular, asnal y diferentes aves.

- Comercio

El comercio sólo cuenta con actividades muy limitadas, como zapaterías y papelerías, alimentos y comestibles, como abarrotes y misceláneas, panaderías y pollerías.

- Forestal

Dentro de esta actividad se cuenta con algunas áreas boscosas en las que explota la madera.

II.6.6.- Zoquitlán

El municipio cuenta con 18,042 habitantes, siendo 8,789 hombres y 9,253 mujeres, tiene una densidad de población de 58 habitantes/km² y teniendo una tasa de crecimiento anual de 1.62%. Se estima que para el año 2010 la población sea de 21,298 por lo que tendrá una densidad de 70 habitantes/km².

Con respecto a la marginación tiene un índice de 1.865, esto quiere decir que su grado de marginación es muy alto, por lo que ocupa el 8º lugar en relación al resto del estado.

Tiene una tasa de natalidad de 36.7 por ciento, una tasa de mortalidad de 9.1 por ciento y una tasa de mortalidad infantil de 51.9 por ciento.

La actividad económica desarrollada en el municipio es la siguiente:

- Agricultura

Se siembra maíz, frijol, haba, trigo y café. En cuanto a la fruticultura encontramos: plátano, aguacate, caña de azúcar, durazno, mamey, guayaba, naranja, membrillo y manzana y con respecto al forraje se cultiva la cebada.

- Ganadería

En esta actividad se cría ganado bovino, porcino, conejos, asnal y mular, además de que existen una gran variedad de aves.

Las actividades económicas del municipio por sector son:

- Sector Primario (Agricultura, ganadería, caza y pesca).80.9 %
- Sector Secundario (Minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera.
- Sector Terciario (Comercio, transporte y comunicaciones, servicios financieros, de administración pública y defensa, comunales y sociales, profesionales y técnicos, restaurantes, hoteles, personales de mantenimiento y otros). 8.0 %
- Industria

El municipio cuenta con industrias manufactureras, entre las cuales destacan: herrerías, fabricación de muebles, tortillerías y moliendas de nixtamal.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se organizó contemplando las siguientes etapas:

- Recopilación de información y trabajo cartográfico.
- Trabajo de campo.
- Caracterización física y química de las muestras de suelo.
- Análisis de la información generada y formulación de conclusiones y recomendaciones

III.1.- Recopilación de información y trabajo Cartográfico

En esta fase, se realizó principalmente la recopilación e interpretación de la información básica existente del área de estudio sobre: topografía (mapas topográficos de la zona a diferentes escalas), clima (datos de las estaciones meteorológicas pertenecientes al área de estudio, publicaciones sobre clima de la zona, etc.), geología y geomorfología (mapas geomorfológicos, litológicos, geológicos, y otra información geológica), vegetación (mapas, publicaciones, etc.), uso del suelo (mapas y publicaciones y datos de interés), hidrología (mapas hidrológicos o hidrogeológicos y publicaciones), suelos (mapas y publicaciones), fotografías aéreas.

La calidad y disponibilidad de este material, fue de gran interés para la optimización del trabajo de campo y de los resultados. A pesar de que aquí se habla de mapas, debe indicarse el elevado interés en disponer de la información cartográfica y otras bases de datos en soporte digital, que fue un prerequisite para el trabajo en un entorno de SIG. Este material de partida comprendió:

- Mapas de base (mapas topográficos de INEGI), escala 1:50,000 para su digitalización.
- Fotografías aéreas: fotogramas de contacto de un vuelo nacional a escala aproximada 1:50,000 de INEGI, que permitieron analizar los cambios ocurridos y obtener una visión global de la zona de estudio.

III.1.1.- Elaboración de Premapas – Fotointerpretación – Digitalización

El principal objeto de los premapas, fue representar una primera aproximación de los límites de los grupos de suelos. Éstos se obtuvieron en un entorno digital, por análisis de información diversa, principalmente de:

- Fotografías aéreas
- Mapas geomorfológicos, de vegetación, de uso del suelo, etc.

Una parte fundamental de este proceso fue el estudio de pares estereoscópicos. Los métodos generales que se aplicaron fueron resumidos por Buringh (1963). La interpretación de la fotografía aérea para la cartografía de suelos está basada en la identificación de fenómenos relevantes que se pueden observar en las fotos, siendo uno de los métodos más utilizados el del análisis fisiográfico (Buringh, 1963), desarrollado por Vink-1963. En este análisis fisiográfico se trató de encontrar y describir los rasgos observables en la foto aérea, que son característicos de procesos que ocurren en la superficie terrestre y fueron utilizados para identificar y delimitar los contornos.

Los rasgos que se identificaron en la fotointerpretación se agruparon en:

- Elementos relacionados con la morfología general del terreno (forma del relieve, pendiente, patrón de drenaje).
- Elementos relacionados con aspectos específicos del terreno (formas erosivas y patrón que presentan, procesos de sedimentación).
- Elementos relacionados con la cobertura vegetal (tipos de vegetación natural, tipos de cultivos y patrones de uso del suelo).
- Elementos relacionados con actividades humanas (diques, canales, distribución y forma de las parcelas, carreteras, edificios, ciudades, etc.)
- Elementos directamente relacionados con algunos aspectos del suelo (presencia de zonas húmedas y de encharcamiento, afloramientos rocosos).

Todos estos elementos fueron estudiados en orden para formular e interpretar la hipótesis concerniente a la clase y distribución de los suelos, que posteriormente fueron verificados en campo.

El procedimiento general de fotointerpretación que se siguió es el siguiente:

- a) Se realizó una primera aproximación de las principales unidades de paisaje o patrones visibles a partir de las fotografías aéreas.
- b) Se efectuó un análisis rápido por todas las fotografías aéreas (utilizando la visión estereoscópica, con un Estereoscopio de espejos Rossbach), donde se hizo una descripción de las unidades del mapa identificadas, anotando en los pares estereoscópicos los diferentes contornos.
- c) En este paso se utilizaron principalmente los elementos morfológicos reconocidos en el par estereoscópico como base de diferenciación, también se hizo uso de los elementos relacionados con la cobertura vegetal.
- d) Se procedió a la fotointerpretación detallada, delimitando las unidades de suelo. La regla básica es establecer primero los límites que se presentan claramente definidos de las unidades y sólo entonces proceder con el establecimiento de los límites no bien definidos. Fue conveniente cerrar las distintas unidades (trabajando con las fotos contiguas) y al mismo tiempo realizar la fotointerpretación.
- e) Se llevó a cabo una subdivisión de las unidades principales, en unidades secundarias, mediante una fotointerpretación más detallada. Así como, interpretar todos los fenómenos observados para identificar las unidades y así poder reconocer las diferencias en la fotografía en relación con el tono, textura o patrón que presentaron. La regla general en esta fase de fotointerpretación, previa a la fase de campo, fue subdividir las unidades, al detectar cualquier diferencia consistente. Así se fue confeccionando la leyenda del premapa, que se obtuvo para cada unidad, con base en la fisiografía, la vegetación y el rasgo diagnóstico utilizado en la fotointerpretación para delimitarla.
- f) La fotointerpretación se realizó de forma interactiva, con la prospección de campo.

Fue conveniente combinar los pasos c y d con recorridos de campo y estudio de los antecedentes.

Los límites de las unidades fotointerpretadas se trasladaron al mapa base, y posteriormente a un soporte digital.

Los límites de las unidades de suelos se transfirieron al sistema mediante digitalización, referenciados a un sistema de posicionamiento y coordenadas (geográficas y UTM).

Una vez que se obtuvieron los contornos sobre fotografías aéreas, fueron transferidos al mapa base “corregido planimétricamente” (en este caso a un mapa topográfico), para proceder posteriormente a su digitalización.

Los límites en las fotografías aéreas fueron transferidos en forma manual en el mapa topográfico de la zona de estudio. La digitalización se efectuó posteriormente a partir del mapa base, permitiendo georeferenciar todos los contornos.

III.2.- Trabajo de Campo

III.2.1.- Verificación en campo de la fotointerpretación.

Se realizó un recorrido general por el área de estudio, para verificar y validar el trabajo de fotointerpretación. Además de reconocer el estado de las vías de comunicación para planificar el trabajo de prospección edafológica. Esto se realizó con el apoyo del premapa o mapa preliminar, sobre las fotografías aéreas en blanco y negro, escala 1:50 000 (INEGI, 1974). Posteriormente se efectuaron recorridos de campo con el fin de identificar las unidades de suelo y tener un conocimiento preciso del paisaje, de las unidades geomorfológicas dominantes y del efecto de la actividad humana.

Esto permitió confirmar y completar el primer análisis de las grandes divisiones fisiográficas y elaborar un inventario provisional de las principales unidades de suelo y su correlación con los elementos fisiográficos. Fue definida cada una de las grandes divisiones y la distribución preliminar de los suelos en el paisaje, pudiéndose a la vez, diseñar un programa racional de cartografía y prospección (densidad y localización de los puntos de muestreo).

III.2.2.- Descripción de los perfiles de suelo y muestreo.

Se seleccionaron 9 perfiles principales (64, 70, 78, 82, 85, 88, 89, 90, 97) y 21 perfiles auxiliares (63, 65, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 83, 84, 86, 87, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 101). Estos perfiles se describieron en campo y se obtuvieron sus micromonolitos respectivos.

Los perfiles principales se estudiaron mediante la apertura de pozos de dos metros de largo por uno de ancho, con una profundidad de dos metros o hasta encontrar el material parental (FAO, 1977). Las muestras se tomaron con base en los horizontes, subhorizontes o capas mostradas en el perfil. Para que se considerara completo el análisis de campo fue necesario realizar la Georreferenciación de cada punto de muestreo sobre las Cartas Topográficas escala 1:50,000 y con un GPS (Posicionamiento Global por Satélite) GARMIN 12XL.

Los perfiles auxiliares fueron obtenidos con una barrena holandesa, a una profundidad de 120 cm o hasta encontrar una capa impenetrable (contacto lítico, paralítico, horizonte petrocálcico, etc).

III.3.- Trabajo de laboratorio caracterización física y química de las muestras de suelo.

III.3.1.- Preparación de las muestras de suelo para su análisis

Antes de caracterizar las muestras de suelo se prepararon de la siguiente forma: se pusieron a secar el tiempo necesario, bajo techo y a temperatura ambiente. Las muestras secas se tamizaron (tamiz malla No.10, apertura de 2mm), etiquetaron y almacenaron adecuadamente.

III.3.2.- Caracterización física de las muestras de suelo

Color del suelo: Se colocó una pequeña cantidad de muestra de suelo (seco y tamizado) en un orificio de una placa de porcelana y se comparó su color con los estándares de las tablas colorimétricas de Munsell 2000, seleccionando el color más aproximado. La determinación también se realizó en base húmeda (Palmer y Troeh, 1980).

Densidad aparente. Método de la probeta. La determinación se realizó con ayuda de una probeta de 10 ml, después de aforarla con suelo, se golpeó ligeramente y se anotó el volumen al que se desplazó el suelo. Se agregó el suelo faltante hasta la marca de afore, se pesó la probeta con el suelo y se le restó el peso de la probeta vacía (Palmer y Troeh, 1980).

Densidad real. Método del picnómetro. La determinación se realizó con ayuda de un matraz volumétrico de 25 ml. La muestra de suelo se pesó y transfirió al matraz tarado previamente, el cual se llenó a una tercera parte de agua, se dejó reposar para desplazar las burbujas de aire, finalmente se aforó el matraz y se pesó (Dewis y Freitas, 1984).

Textura por el método del hidrómetro. Se eliminó la materia orgánica de la muestra del suelo con una solución de peróxido de hidrógeno al 6% y se dejó en la estufa a 105⁰C. Posteriormente se dispersó con oxalato de sodio y metasilicato de sodio, la mezcla se vació en un cilindro con afore, posteriormente se agitó durante un minuto y con ayuda del hidrómetro se tomó la primera lectura, la segunda lectura se tomó después de que la muestra permaneció en reposo durante dos horas. Se midió la temperatura de la muestra para posteriormente hacer la corrección de la lectura y hacer los cálculos finales (Forsythe, 1985; Dewis y Freitas, 1984).

III.3.3.- Caracterización química de las muestras de suelo.

pH por el método potenciométrico. El pH de las muestras se determinó por el método potenciométrico (Potenciómetro: Conductronic pH 20) en agua y en solución de KCl 1M. La relación suelo-agua (o KCl) utilizada fue 1:2 (Goijberg y Aguilar, 1987).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC.). La muestra de suelo se saturó con iones calcio provenientes de la solución de cloruro de calcio (CaCl_2), 1M con pH 7, posteriormente se lavó el exceso de iones con alcohol etílico, finalmente los iones calcio se desplazaron con iones sodio, para ello se utilizó solución de cloruro de sodio (NaCl), 1N pH 7. Finalmente el extracto obtenido se tituló con solución de la sal disódica del ácido etilendiaminotetracético (EDTA), utilizando como indicador negro de eriocromo T. (Aguilar, 1987).

Bases intercambiables y porcentaje de saturación en bases. Las bases cambiables se extrajeron con solución de acetato de amonio 1M, pH 7. El extracto se leyó con un espectrómetro de emisión de plasma acoplado. El porcentaje de saturación en bases (%V), se calculó a partir de los resultados de Na, K, Ca y Mg intercambiables y de la capacidad de intercambio catiónico. (Aguilar, 1987).

Contenido de carbono orgánico. Fue determinado por el método de Walkey y Black (1934), el cual oxida a la materia orgánica con el calor de reacción que ocurre entre ácido sulfúrico y una solución de dicromato de potasio (León y Aguilar, 1987). Se añadió a la muestra del suelo dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, se dejó reposar el matraz 30 mín. La solución de diluyó adicionando agua destilada, se agregó también ácido fosfórico e indicador de difenilamina, se valoró con sulfato ferroso. El porcentaje de carbono orgánico se obtuvo al multiplicar por un factor de corrección de 0.58.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

IV.1.- Unidades de suelo identificadas en la región estudiada.

Como resultado de la recopilación de información, el trabajo cartográfico y el trabajo de campo, se identificaron 7 unidades de suelo con área total de 570.81 km², en la Tabla IV.1.1., se presenta la relación de unidades, superficie de cada unidad y perfiles de suelo correspondientes.

Tabla IV.1.1. Unidades de suelo localizadas en la zona de estudio y su superficie

Unidad	Superficie Km ²	% con respecto área total	No. Perfil	
I	250	43.79	78	
II	58.20	10.19	97	
III	156.61	27.44	85,88,90	
IV	12.96	2.27	89	
V	26.49	4.64	82	
VI	2.11	0.36	70	
VII	64.44	11.28	64	
Total	7	570.81	100	9

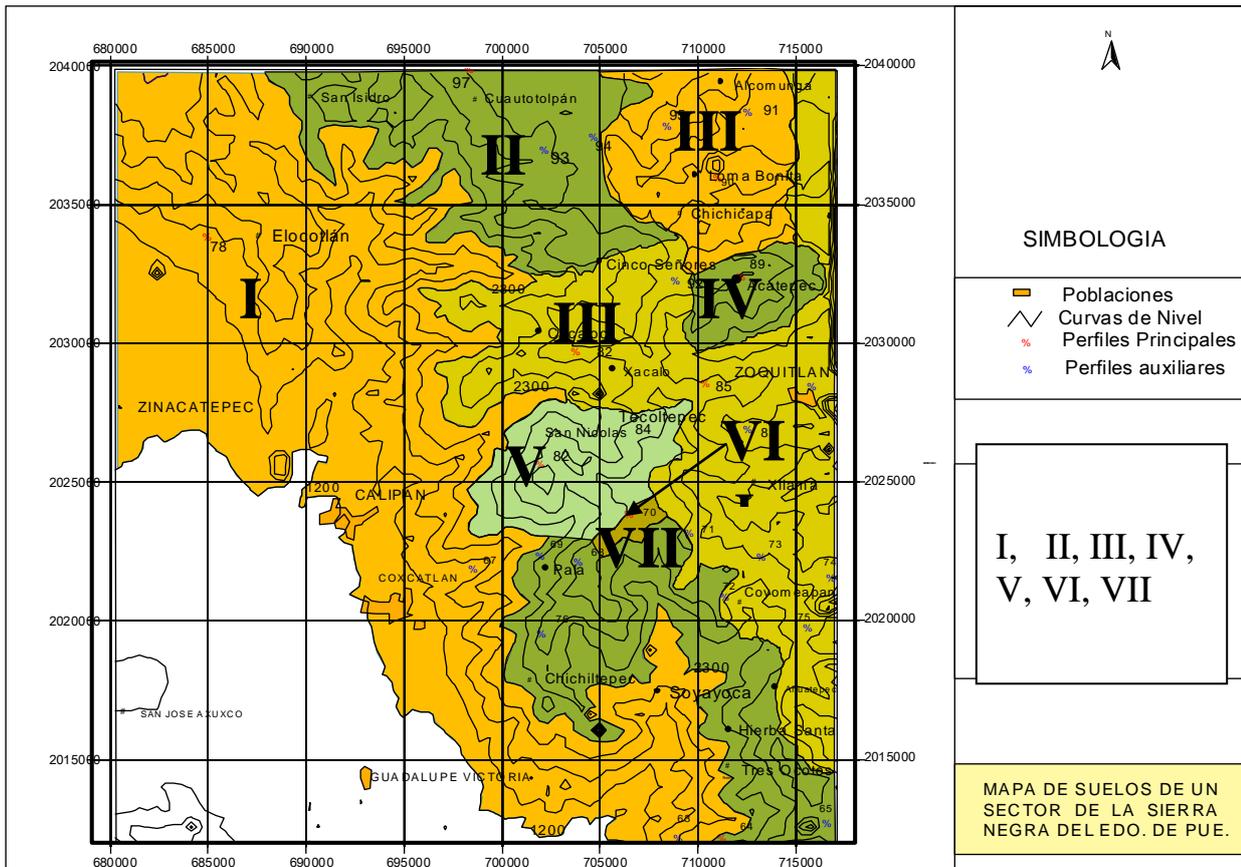


Figura IV.1.1. Mapa de Unidades de suelo (Digitalizado por Edgardo Torres Trejo).

Unidad I.- Estos suelos ocupan una extensión 250 km² lo que representa el 243.79% del área total de la región de estudio localizados en las poblaciones de Elocotlán, Zinacatepec, calipán, Coxcatlán y Soyayoca.(Figura IV.1.1). Están desarrollados a una altura 1000 - 2300 m, con pendientes muy escarpadas que rebasan el 60% y precipitaciones promedio anuales menores de 450 msnm, la vegetación primaria fue eliminada en épocas pasadas con fines económicos, los suelos en pendientes fueron dedicados a la explotación agrícola eliminando la vegetación natural (Fotografía IV.1.1).

La roca subyacente es una lutita dura de color amarillento, con pendientes escarpadas convierten a estos suelos en cuerpos naturales muy frágiles a los efectos de la erosión.



Fotografía IV.1.1. Vegetación de matorral del perfil 78 en la localidad de Elocotlán, Pue.

Unidad II. - Estos suelos están distribuidos en forma irregular en zonas de montaña de la región de estudio, localizados en la población de Cuautotlapán, Vista Hermosa y Cinco Señores; tienen una extensión de 58.20 km², lo que representa el 10.19% del área total (Figura IV.1.1). Están desarrollados a una altitud de 2,300 a 2,600 msnm, en un relieve muy escarpado, con precipitaciones comprendidas entre 1,000 a 1,300 mm y una vegetación de pino encino; algunos de estos suelos se conservan sin riesgo de erosión; otros están dedicados al cultivo. Las rocas subyacentes son caliza asociada con lutita.

Unidad III.- Son suelos poco desarrollados, sus áreas representativas están ubicadas en la localidad de Cacaloc, Xacalo, Zoquitlán, Xilama y Coyomeapán, Chichicapa y Alcomunga, tienen una extensión de 156.61 km² que representa 27.43% del área total (Figura V.1.1). Estos suelos están ubicados una altitud entre 2,200 a 2500 msnm en un relieve muy escarpado, con precipitaciones que varían entre 1,400 a 1,800 mm. y una vegetación de pino y encino que se encuentra conservada en algunas áreas, otras están siendo utilizadas para cultivo.

La roca subyacente está constituida por roca lutita y caliza.



Fotografía IV.1.2. Vegetación de bosque de encino del perfil 90 en la localidad de Chichicapa, Pue.

Unidad IV.- Estos suelos están sobre rocas calizas; tienen poca extensión y se distribuyen de forma irregular en la región. El área representativa está ubicada en la zona de Acatepec, abarcan una extensión de 12.96 Km², lo que representa 2.27% del área total (Figura IV.1.1). Estos suelos están desarrollados a una altitud entre 2000 - 2600 msnm, en un relieve muy escarpado teniendo una pendiente mayor del 60% y con precipitaciones comprendidas entre 1600 - 1800 mm, con una vegetación de bosque de encino y pino (Fotografía IV.1.3).



Fotografía IV.1.3. Vegetación y relieve de la localidad de Acatepec, Perfil 89 área similar a la del Perfil 90.

Unidad V.- Estos suelos están ubicados a una altitud que va desde 2,300 - 2,500 msnm sobre pendientes pronunciadas que en ocasiones alcanzan más del 60%; ocupan una extensión de 26.49 km², lo que representa el 4.64 % del área total de la región y se localizan en las poblaciones de San Nicolás y Tecoltepec (Figura IV.1.1), reciben una precipitación de 1,200 mm, como promedio anual y la vegetación natural ha sido talada con fines de explotación agrícola, algunas áreas se han repoblado de vegetación por efectos del establecimiento de una sucesión secundaria, formándose de bosques jóvenes de pino-encino con un sotobosque de arbustos y hierbas.(Fotografía IV.1.4). en cuanto a la geología del lugar la roca subyacente es lutita.



Figura IV.1.4. Cultivos de subsistencia con pendientes de más de 60% en la localidad de Tecoltepec, Pue.

Unidad VI.- Estos suelos están irregularmente distribuidos en la zona, ocupan una extensión de 2.11 km² lo que representa el 0.36% del área total (Figura IV.1.1); se localizan a una altitud de 2,500 - 2,560 msnm, sobre una meseta con relieve ligeramente ondulado, soportan precipitaciones entre 1,200 - 1,400 mm, como promedio anual; la vegetación natural ha sido eliminada en épocas pasadas para la explotación agrícola y forestal, ésta ha sido reemplazada en muchos sectores por formaciones jóvenes de bosques de pino-encino, sotobosque y pastos.

Unidad VII.- Estos suelos están distribuidos en la parte sur de la región de estudio, ocupan una extensión de 64 km² que representa el 11.28% del área total, localizados en las poblaciones de Pala, Chichiltepec, Hierba Santa, Tres Ocotes y Vigastepec. (Figura IV.1.1), y están ubicados a una altitud de 2400 a 2600 msnm, con precipitaciones de 1100 a 1500 mm promedio anual y vegetación de encino y pino. En cuanto a su geología la roca subyacente es lutita.

IV.2.- Condiciones ambientales y morfología de los suelos.

Una precisa descripción del suelo que utilice técnicas estándar y terminología definida es esencial para una lúcida comunicación entre edafólogos. Como en cualquier otra ciencia, la caracterización precisa es la base de la taxonomía y permite la transferencia de ideas y conceptos de una persona a otra. Para clasificar y explicar es necesario primero describir.

Muchas clasificaciones de suelos que utilizan el concepto de perfil edáfico se han desarrollado en la investigación de suelos. Aunque a menudo son diferentes entre sí en sus principios y a veces muy diversas en detalle, todas han alcanzado cierto éxito en sus países respectivos. Recientemente han adquirido mayor importancia las clasificaciones de los suelos basadas en una morfología detallada de los horizontes y del perfil más que una supuesta génesis o en los niveles inferiores de la clasificación, en el material original supuesto, lo que aumenta el énfasis en una buena descripción (Hodgson, 1987).

Uno de los primeros pasos en el estudio de un suelo es su descripción. Se recurre generalmente a los rasgos morfológicos, ya que son fácilmente observables y reflejan la acción de los procesos formadores del suelo en estudio. El estudio de la morfología permite reconstruir los procesos edafogénicos, las condiciones del medio y, en muchos casos interpretar o predecir el comportamiento de las plantas y la respuesta del suelo frente a actuaciones tecnológicas o cambios en su uso (Porta, *et. al.* 2008).

En las Tablas IV.2.1 a IV.2.9, se presentan las condiciones ambientales y morfología de los perfiles representativos de las unidades de los suelos con sus respectivas fotografías que van de la IV.2.1 a IV.2.8.

Debido a las características de la zona de estudio (pendientes pronunciadas; mezclas de materiales geológicos; patrones de drenaje superficiales; comportamiento climático y sistemas de vegetación), en la región se presenta una diversidad de suelos, todos ellos sometidos en diferente grado a procesos de degradación (la erosión). Estos procesos son canalizados por las actividades antropogénicas que han determinado los diferentes usos del suelo, sin tomar en cuenta su potencialidad, por lo que la evaluación de este recurso cobra especial importancia.

Los datos relevantes de las condiciones ambientales de los suelos se enmarcan en tres de los factores de formación edáfica que en nuestro caso son más significativos, el clima, Relieve y el tiempo.

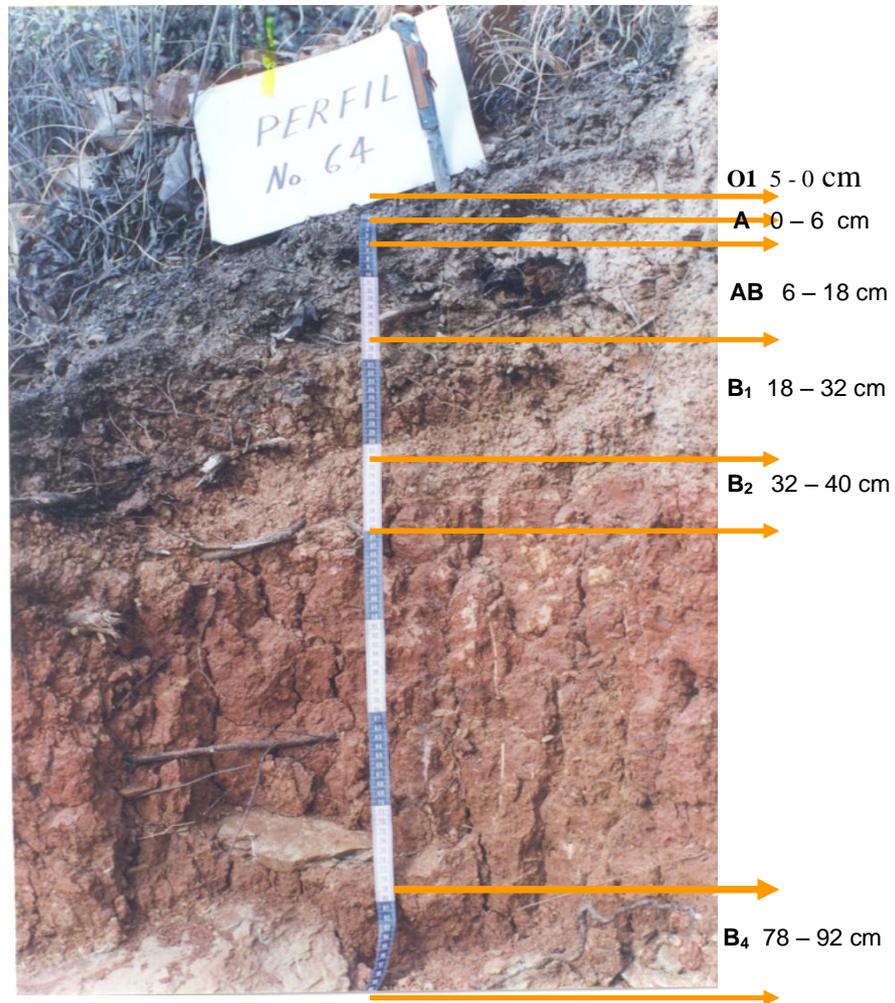
Tabla IV.2.1.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 64; representativo de la unidad de suelos VIII, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Localidad:	Bigastepec, Pue.
Carta Topográfica	E14 B 86 Teotitlán del Camino
Coordenadas:	Lat. Norte 18° 10´ 11” y Long. Oeste 97° 05´06”
Condiciones Ambientales	
Relieve:	Montañoso
Pendiente	70%
Altura:	2, 400 m
Material de origen	Lutita
Uso del suelo:	Bosque de pino encino y agricultura de temporal
Clasificación Soil: Typic Hapludults	Clasificación WRB: Acrisol Profúndico

Morfología del suelo

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
O1	5 - 0	Está constituido mayoritariamente por los restos vegetales recientemente desprendidos por la vegetación (hojas secas, pequeñas ramas, trozos de corteza, etc.).
A	0 - 6	Color rojo débil 2.5YR5/2, textura areno-limo-arcilloso, estructura granular muy suelta, muy poroso, muy friable, seco, raíces medias y finas abundantes, no plástico, no adhesivo y no reacciona al HCl, se observan gran cantidad de restos vegetales en diferentes grados de descomposición.
AB	6 - 18	Color rojo grisáceo 2.5YR6/1 en seco, textura areno-limo arcilloso, estructura granular media, ligeramente compacto, poroso, seco, raíces abundantes medias y gruesas, no plástico, no reacciona al HCl, no adhesivo, se observan restos de gravas y rocas.

B ₁	18- 32	Color rojo brillante 2.5YR6/6 en seco, textura arcillosa, estructura en bloques subangulares, ligeramente compacto, ligeramente adhesivo, poros abundantes medios y grandes, grietas entre los agregados, raíces medianas y gruesos, hasta de 1.5cm, ligeramente húmedo, no reaccionan al HCl.
B ₂	32 – 40	Color rojo brillante 2.5YR6/6 en seco, textura arcillosa, ligeramente compacto, porosidad medianamente, poros medios, raíces medianas (2-5 mm de diámetro) comunes, ligeramente húmedo estructura bloques subangulares, mediana y pequeña, no reacciona al HCl, no plástico, no adhesivo.
Bt ₃	40 – 78	Color rojo brillante 2.5YR5/8, textura arcillosa, estructura, bloques subangulares, pequeños y medios, escasos poros, compacto, húmedo, raíces medianas (2-5 mm de diámetro) comunes, Plástico, adhesivo. Se observan restos de gravas, revestimientos arcillosos en las paredes de los agregados, presenta cútanos de arcilla iluvial de mediano espesor y algunas concreciones endurecidas de arcilla y hierro, formando perdigones regulares.
B ₄	78 – 92	Color rojo brillante 2.5YR6/8, textura arcillosa, estructura bloques subangulares, poros abundantes, compacto, húmedo, Plástico, adhesivo, raíces de diferentes tamaños, regular, se observan perdigones en formación



Fotografía IV.2.1. Perfil 64 descrito en la localidad de Vigastepec, Pue.

Tabla IV.2.2.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 70; representativo del grupo de suelos VII, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Localidad: Cuizila, Pue.
 Carta Topográfica E 14 B 76 Zinacatepec
 Coordenadas: Lat. Norte 18° 15' 17" y Long. Oeste 97° 04' 40"

Condiciones Ambientales

Relieve: Planicie ondulada
 Pendiente: 20%
 Altura: 2, 560 msnm

Material de origen

Clasificación Soil Taxonomy: Typic Hapludults Clasificación WRB: Acrisol Profúndico

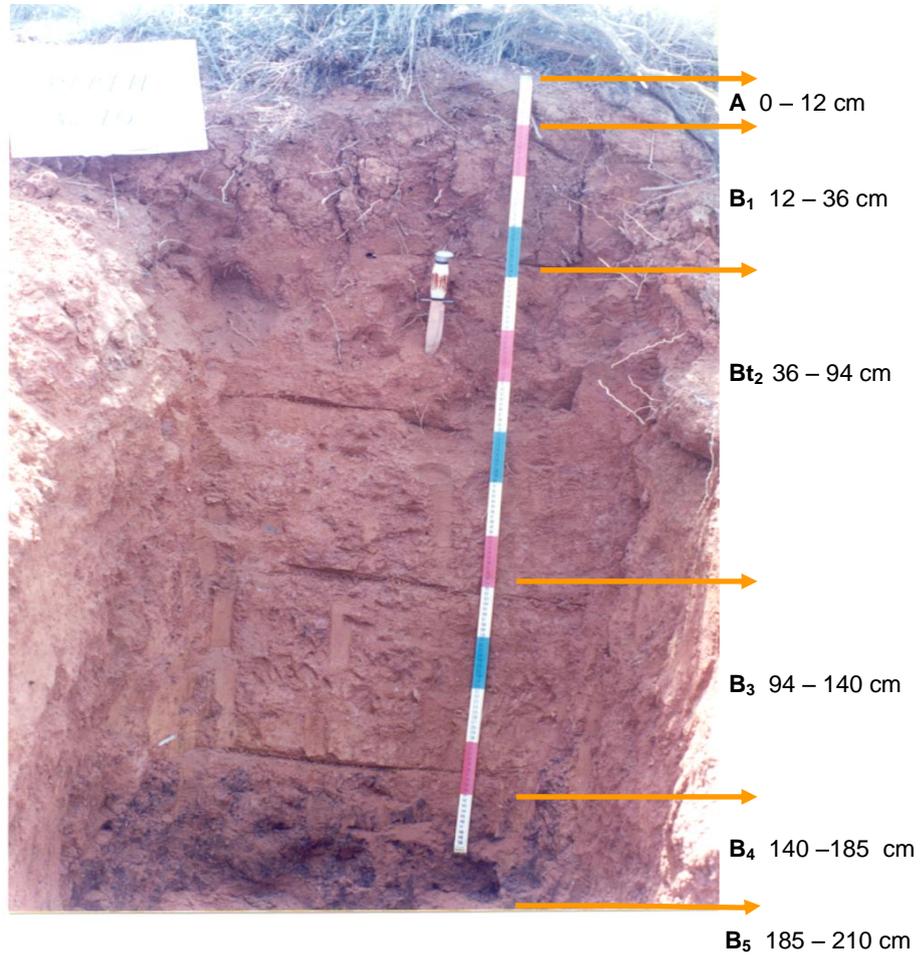
Morfología del suelo

Uso del suelo: Bosque de pino encino

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0 - 12	Color pardo rojizo 2.5YR4/4 con manchas rojas, textura limo arenosa, estructura granular muy fina, poroso, consistencia suelta, poco adhesivo, húmedo, raíces abundantes medias y finas.
B ₁	12 - 36	Color rojo 2.5YR5/6, arcilloso, estructura subangular mediano, poroso, consistencia ligeramente duro, ligeramente plástico, raíces muy abundantes. Se observan incrustaciones de Mn de forma irregular, escasa y blanda.
Bt ₂	36- 94	Color rojo 2.5YR5/8, textura arcilloso, estructura bloques subangulares medianos y pequeños, poros finos y abundantes, consistencia dura, adhesivo, plástico, ligeramente húmedo, no reacciona al HCl, raíces escasas medias y finas; se observan revestimientos en los canales de las raíces y en las paredes de los agregados
B ₃	94 - 140	Color rojo 2.5YR4/8, algunas manchas pardo rojizas o amarillentas, textura arcillosa, estructura bloques

subangulares medianos y pequeños, poros finos y moderados, consistencia dura, plástico, adhesivo, húmedo, no reacciona al HCl, raíces escasas y finas. Se observan manchas de Mn, negras regulares

- | | | |
|----------------|-----------|---|
| B ₄ | 140 - 185 | Color rojo 2.5YR4/8, textura areno arcillosa, húmedo, abundante contenido de Mn, en forma de segregaciones que están en vía de formar concreciones, se observan segregaciones de Mn en las paredes de los agregados en forma concéntrica de formas irregulares, los núcleos concéntricos se destruyen con los dedos y la masa da un aspecto de abigarramiento por Mn, es medianamente compacta. |
| B ₅ | 185 - 210 | Color rojo brillante 2.5YR6/8, textura arcillo arenoso, estructura bloques subangulares, escasos poros finos, consistencia dura, húmedo, no reacciona al HCl, no se observan raíces. Se observa granos de gravas en estado de descomposición y son escasos, concreciones en formación, segregación del hierro y manganeso, manchas de color claro, rojo y negro abundantes |



Fotografía IV.2.2. Perfil 70 descrito en la localidad de Cuitzila, Pue.

Tabla IV.2.3.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 78; representativo del Grupo de suelos I, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Localidad: Ahuatla, Pue.
 Carta Topográfica E 14 B 76 Zinacatepec
 Coordenadas: Lat. Norte 18° 12' 06" y Long. Oeste 97° 12' 44"

Condiciones Ambientales

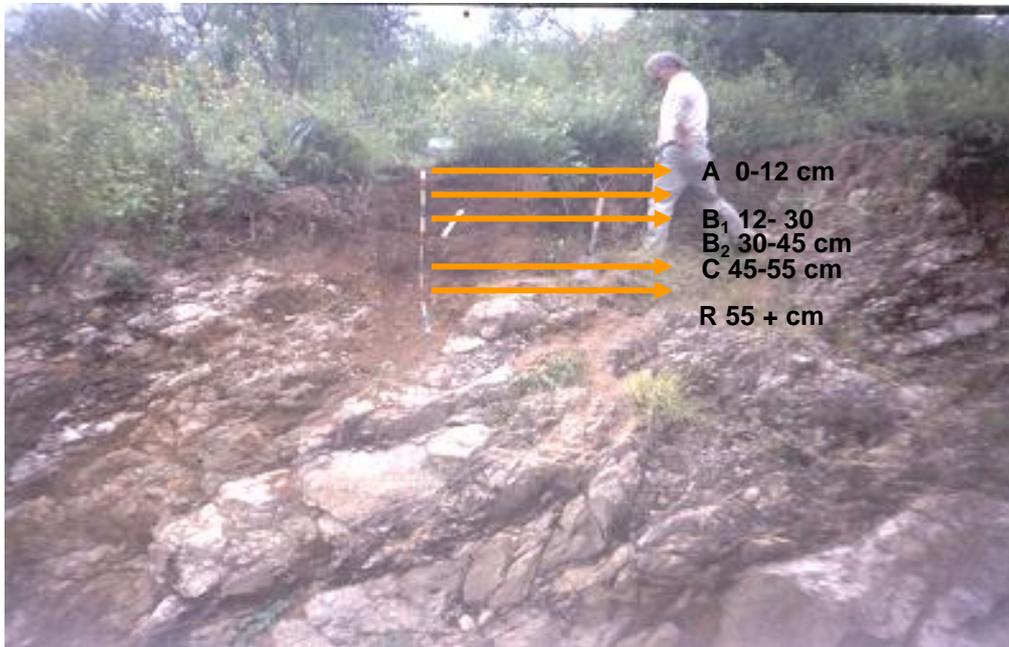
Relieve: Montañoso
 Pendiente: 70%
 Altura: 1,400 msnm
 Material de origen Lutita
 Uso del suelo: Matorral xerófilo

Clasificación Soil Taxonomy: Typic Ustochrepts Clasificación WRB: Cambisol Endoléptico

Morfología del suelo

Horiz.	Prof. (cm)	Descripción
A	0 - 12	Color pardo 10YR5/3, 1-2 % de materia orgánica, raíces abundantes, fuerte reacción al HCl, húmedo al tacto, textura arcillo-arenosa; estructura granular muy suelta, plástico, adhesivo poco contenido de gravas.
B ₁	12 -30	Color pardo pálido 10YR6/3, abundantes raíces, medias, fuerte reacción al HCl, ligeramente húmedo, textura arcillo-arenosa, estructura bloques subangular, plástico, adhesivo, poco contenido de gravas, drenado.
B ₂	30-45	Color gris brillante 10YR7/2, pocas raíces, fuerte reacción al HCl, ligeramente húmedo, textura franco-arenosa, estructura bloques subangular, plástico adhesivo, poco contenido de gravas, drenado, rocas en estado avanzado de meteorización.

- C 45-55 Color pardo muy pálido 10YR7/3, escasas raíces, fuerte reacción al HCl, ligeramente húmedo al tacto, textura franco-arenosa, sin estructura, rocas meteorizadas, presencia de manchas amarillentas y blancas.
- R 55+ Roca Lutita.



Fotografía IV.2.3. Perfil 78 descrito en la localidad de Ahuatla, Pue.

Tabla IV.2.4.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 82; representativo del grupo de suelos VI, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Localidad: Tecoltepec y Tepeyoloc, Pue.
 Carta Topográfica E 14 B 76 Zinacatepec
 Coordenadas: Lat. Norte 18° 15' 25" y Long. Oeste 97° 10' 05"

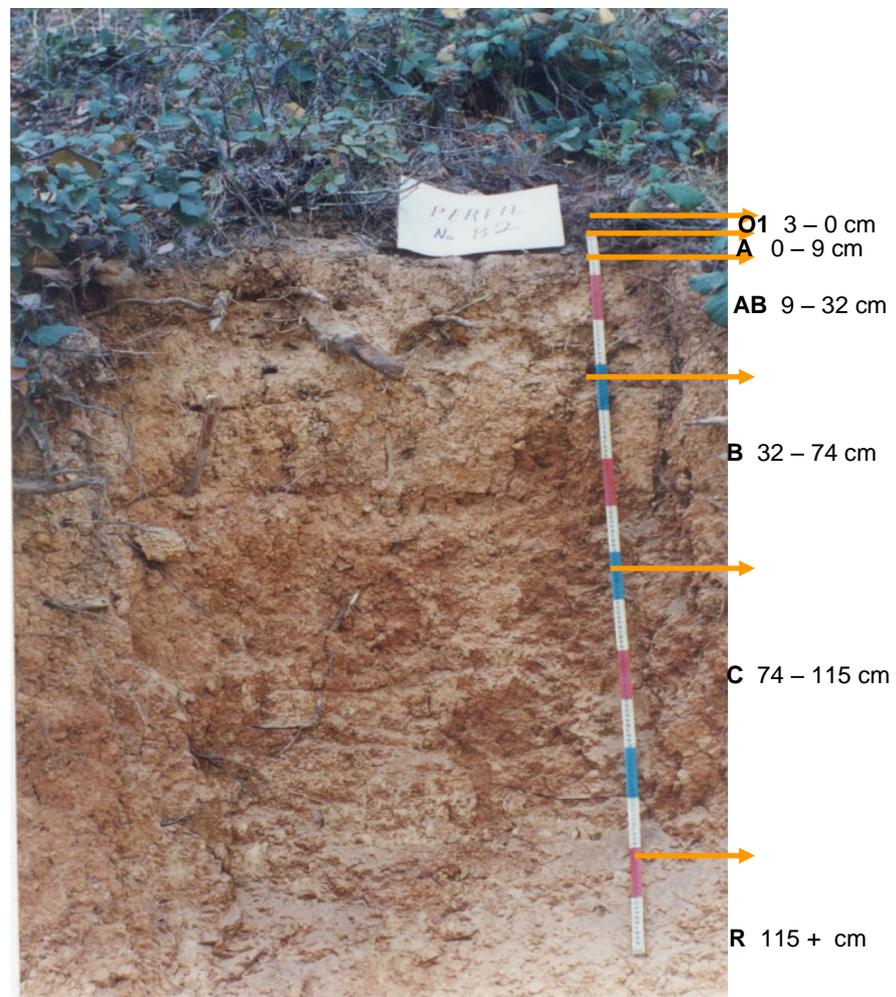
Condiciones Ambientales

Relieve: Montañoso
 Altura: 2,500 msnm
 Pendiente: 70%
 Material de origen Arenisca
 Clasificación Soil Taxonomy Typic Kandiuults Clasificación WRB: Acrisol Profúndico

Morfología del suelo

Uso del suelo:	Bosque de pino encino	
Hor.	Prof. (cm)	Descripción
O1	3 - 0	Está constituido mayoritariamente por los restos vegetales recientemente desprendidos por la vegetación (hojas secas, pequeñas ramas, trozos de corteza, etc.).
A	0 – 9	Color pardo brillante 7.5YR6/4, textura franco arcilloso, estructura granular fina, muy poroso, consistencia blanda, no plástico, no adhesivo, raíces abundantes medianas y finas, ligeramente húmedo
AB	9 – 32	Color gris brillante 7.5YR7/1, textura franca, estructura bloques subangulares medios, ligeramente húmedo, poroso, consistencia ligeramente compacta, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, raíces abundantes, medianas y finas, concreciones rojas y negras, pocas manchas rojas y negras, gravas frecuentes.
B	32 – 74	Color amarillo rojiza 7.5YR6/6, textura franco arcilloso, estructuras en bloques subangulares, ligeramente húmedos, poros abundantes, consistencia dura, plasticidad moderada, adhesividad moderada, grietas finas de (menor de 3 mm de ancho) escasas, raíces escasas, medianas y

- gruesas, manchas negras escasas (menores de 5mm).
- C 74 – 115 Color amarillo rojiza 7.5YR6/6, textura arcilloso con manchas de color amarillo muy abundantes, rocas en diferentes grados de degradación y manchas negras de Mn, se observan grietas finas de (menor de 3 mm de ancho) escasas y raíces escasas de tamaño medio y finas.
- R 1.15+ Roca: Arenisca



Fotografía IV.2.4. Perfil 82 descrito en la localidad de Tecoltepec Pue.

Tabla IV.2.5.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 85; representativo del grupo de suelos V, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Localidad:	Zanjadilla, Pue.
Carta Topográfica	E 14 B 76 Zinacatepec
Coordenadas:	Lat. Norte 18° 20' 10" y Long. Oeste 97° 02' 50"

Condiciones Ambientales

Relieve:	Montañoso
Altura:	2,500 msnm
Pendiente:	70%
Material de origen	Lutita
Uso del suelo:	Bosque de pino encino
Clasificación Soil Taxonomy:	Lithic Dystrachrepts
Clasificación WRB:	Cambisol Epiléptico

Morfología del suelo

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
O1	4 - 0	Está constituido mayoritariamente por los restos vegetales recientemente desprendidos por la vegetación (hojas secas, pequeñas ramas, trozos de corteza, etc.).
O2	2 - 0	Los restos vegetales se encuentran en proceso de descomposición se ven algunos hongos (hilos blanquecinos) se encuentra presente, así como (heces) de la fauna descomponedora.
A	0 - 5	Color pardo 10YR5/2, textura franca, con una estructura granular friable y suelto, abundante contenido de raíces finas, medianas.
AB	5 - 8	Color gris 10YR5/1, espesor de 3 cm., textura franco arcillosa, con una estructura granular friable y suelto, abundante contenido de raíces finas, medianas y gruesas.
B	8 - 14	Color pardo 10YR6/4, tiene apenas 6 cm., de profundidad, textura franco arcilloso, con bloques subangulares, se observan restos de materia orgánica y abundantes raíces finas, medianas y gruesas, algunas gravas dispersas de diferente tamaños, manchas negras de las raíces secas.

- | | | |
|---|---------|---|
| C | 14 – 25 | Color pardo amarillento 10YR5/6, textura arcillosa, este horizonte contiene rocas en alto grado de intemperización contiene un color pardo rojizo, con gran contenido de rocas, la masa de suelo es compacta, contiene una textura arcillosa y se encuentra entre las rocas que van de 5 a 20 cm., de diámetro. |
| R | 25 - + | Lutita |



Fotografía IV.2.5. Perfil 85 descrito en la localidad de Zanjatitla, Pue.

Tabla IV.2.6.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 88; representativo de la unidad de suelos V, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Localidad: Cacaloc, Pue.
 Carta Topográfica E 14 B 76 Zinacatepec
 Coordenadas: Lat. Norte 18° 21' 03" y Long. Oeste 97° 05' 50"

Condiciones Ambientales

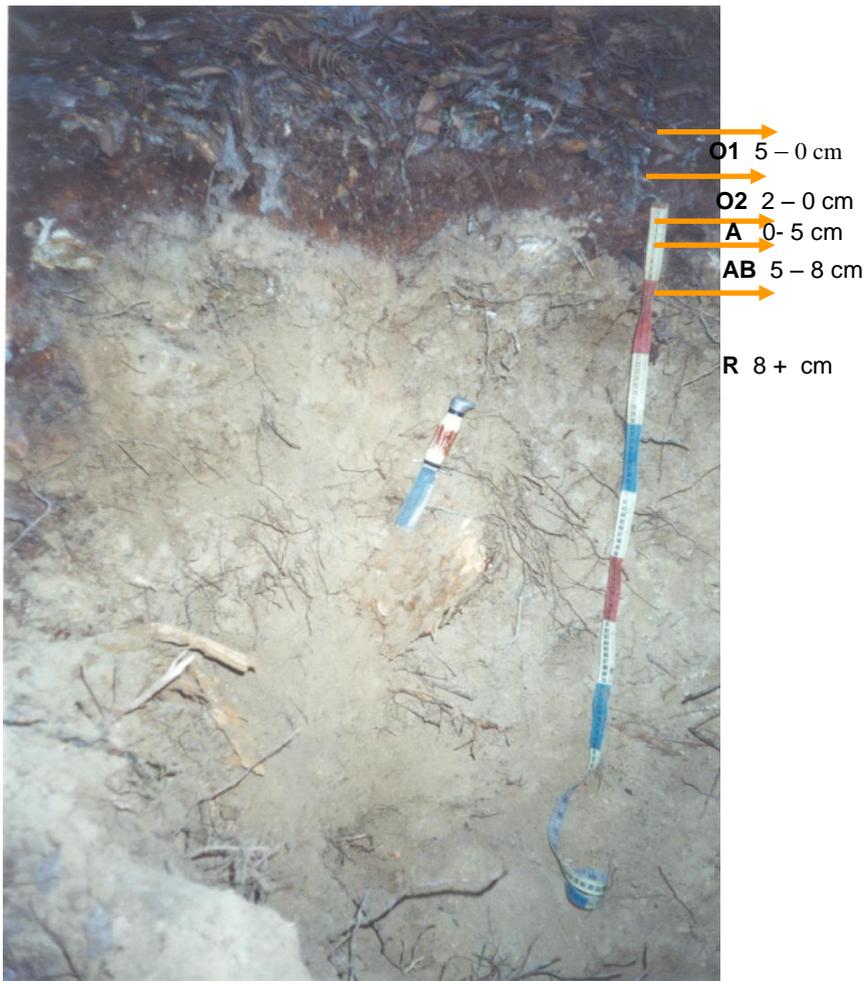
Relieve: Montaña
 Altura: 2, 500 m
 Pendiente: 65%
 Material de origen Arenisca
 Uso del suelo: Bosque de pino encino

Clasificación Soil Taxonomy: Lithic Udorthents Clasificación WRB: Leptosol Paralítico

Morfología del suelo

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
O1	5 - 0	Está constituido mayoritariamente por los restos vegetales recientemente desprendidos por la vegetación (hojas secas, pequeñas ramas, trozos de corteza, etc.).
O2	2 - 0	Los restos vegetales se encuentran en proceso de descomposición se ven algunos hongos (hilos blanquecinos) se encuentra presente, así como (heces) de la fauna descomponedora.
A	0 - 5	Color oscuro 7.5YR/2, textura franco arenosa, muy friable suelta con abundante contenido de raíces de diferente tamaño, gruesas, medianas y finas, con gravas de 0.2-7.5 cm. de forma subangular escasas, guijarros con un diámetro mayor de 7.5-25 cm. de forma subangular frecuentemente, y gravas en estado avanzado de meteorización.
AB	5 - 8	Color pardo pálido 10YR6/3 , textura franco arcillosa, friable suelta con abundante contenido de raíces de diferente tamaño, gruesas, medianas y finas, con porcentaje de 10% de rocas de un diámetro de 20 - 30 cm.

R 8 - + Roca: Arenisca



Fotografía IV.2.6. Perfil 88 descrito en la localidad de Cacaloc, Pue.

Tabla IV.2.7.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 89; representativo de la unidad de suelos IV, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Localidad: Acatepec, Pue.
 Carta Topográfica E 14 b 76 Zinacatepec
 Coordenadas: Lat. Norte 18° 20' 10" y Long. Oeste 97° 02' 03"

Condiciones Ambientales

Relieve: Montaña
 Altitud: 2, 480 msnm
 Pendiente: 70%
 Material de origen Caliza
 Uso del suelo: Bosque de pino encino

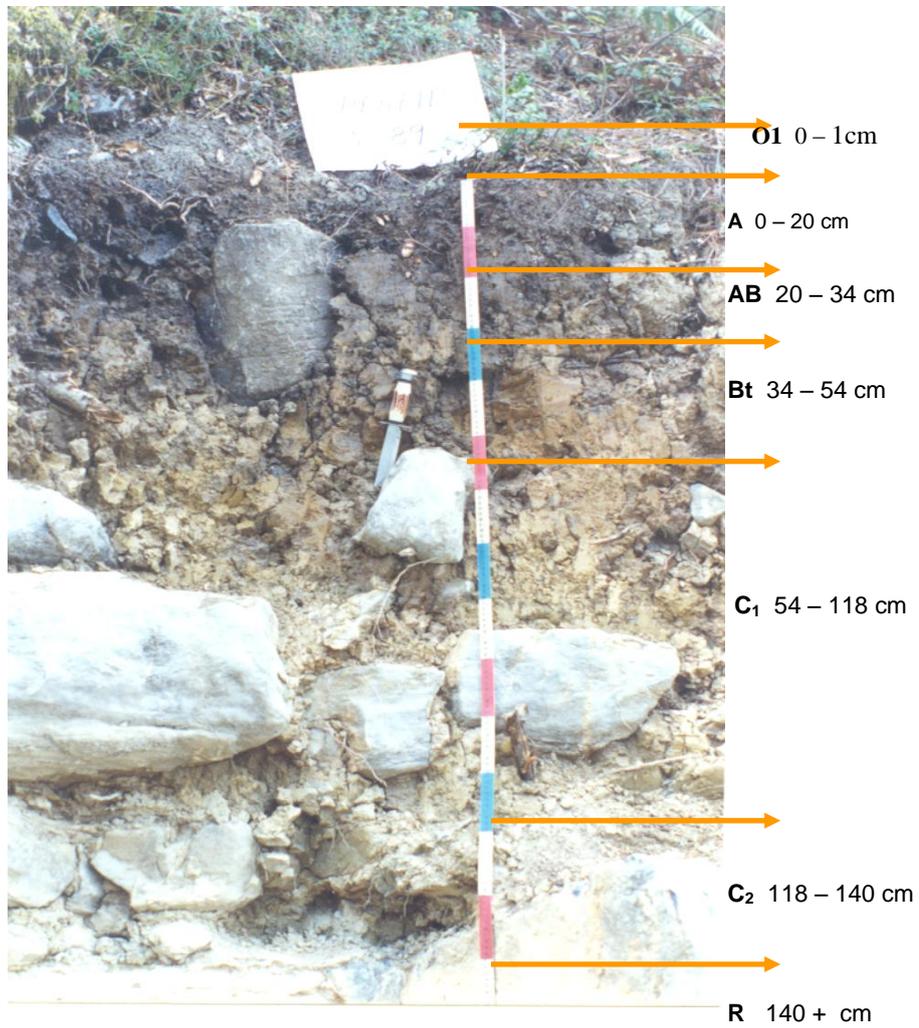
Clasificación Soil Taxonomy: Typic Hapludalfs Clasificación WRB: Luvisol Profúndico

Morfología del suelo

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
O1	1 – 0	Está constituido mayoritariamente por los restos vegetales recientemente desprendidos por la vegetación (hojas secas, pequeñas ramas, trozos de corteza, etc.).
A	0 - 20	Color pardo grisáceo 2.5YR5/2 , textura arcillo limoso, estructura migajosa (mullida), poros grandes medios y pequeños abundantes, consistencia blanda, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, ligeramente húmedo, drenado, abundantes raíces finas, y gruesas, material aluvial (0.2 – 7.5 cm) con cantos redondeados y escasos, material coluvial mayor de 25 cm con cantos subangulares muy escasos.
AB	20 - 34	Color pardo olivo brillante 2.5YR5/4, textura arcilloso, estructura bloques subangulares pequeños, ligeramente húmedo, poros finos, consistencia ligeramente dura, plasticidad moderada, adhesividad moderada, drenado, raíces escasas medianas y finas, escasas gravas, algunas manchas de color amarillento.
Bt	34 - 54	Color amarillo pálido 2.5YR7/4 , textura arcillo arenoso,

estructura bloques subangulares medianos, escasos poros y finos, húmedo, consistencia duro, plasticidad moderado, adhesividad moderada, pequeñas grietas, fisuras pequeñas, drenaje moderado, escasas gravas, concreciones escasas de hierro blandas y presenta cútanos de arcilla iluvial de tamaño regular, manchas de color amarillento.

C ₁	54 - 118	Color amarillo 2.5YR8/6, textura arcillo arenosa, manchas grises y negras, consistencia dura, raíces finas y escasas, no reacciona al HCl.
C ₂	118 - 140	Color amarillo pálido 2.5YR7/4, textura arcillo arenosa, con abundantes gravas pequeñas y restos de roca en estado avanzado de meteorización que forman escamas similar a las pizarras y reacciona fuertemente al HCl, también se observa meteorización de la roca dura, material que se disgrega fácilmente a la presión de los dedos y tiene un gran contenido de carbonato de calcio, se observa el paso de este material a otro de textura arcillosa de color gris parduzco que también reacciona fuertemente al HCl.
R	140 - +	caliza



Fotografía IV.2.7. Perfil 89 descrito en la localidad de Acatepec, Pue.

Tabla IV.2.8.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 90; representativo de la unidad de suelos III, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

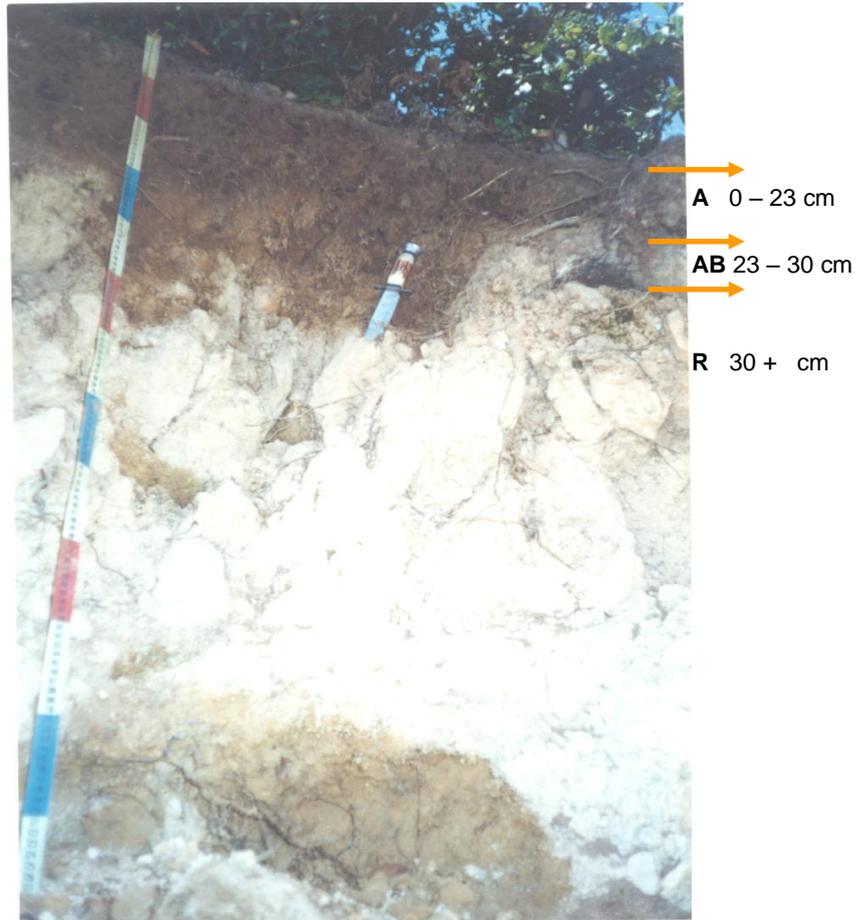
Localidad: Chichicapa, Pue.
 Carta Topográfica E 14 B 76 Zinacatepec
 Coordenadas: Lat. Norte 18° 23'20" y Long. Oeste 97° 03' 05"

Condiciones Ambientales

Relieve: Montaña
 Pendiente: 60%
 Altitud: 2,600 msnm
 Material de origen Caliza
 Uso del suelo: Bosque de pino encino y agricultura de temporal
 Clasificación Soil Taxonomy: Lithic Haplumbrepts Clasificación WRB: Cambisol Epiléptico

Morfología del suelo

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0 - 23	Color pardo 7.5YR5/2, textura arenoso limoso, estructura migajosa, poros finos abundantes, consistencia blanda, poco adhesivo, poco plástico, raíces gruesas, medianas, finas y abundantes, gravas de 0.2 – 7.5 cm escasas.
AB	23 - 30	Color pardo 7.5YR5/4, textura arenoso limoso, poros finos y abundantes, poco adhesivo, raíces medianas, finas, y escasas, gravas de 0.2 – 7.5 cm de cantos redondeados frecuentes.
R	30+	Caliza



Fotografía IV.2.8. Perfil 90 descrito en la localidad de Chichicapa, Pue.

Tabla IV.2.9.- Condiciones ambientales y morfología del perfil 97; representativo de la unidad de suelos II, región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Localidad: Barrio de San José, Pue.
 Carta Topográfica E 14 b 76 Zinacatepec
 Coordenadas: Lat. Norte 18° 26'30" y Long. Oeste 97° 07'30"

Condiciones Ambientales

Relieve: Montañoso
 Pendiente: 60%
 Altitud: 2, 540 msnm
 Material de origen Lutita
 Uso del suelo: Bosque de pino encino y agricultura de temporal
 Clasificación Soil Taxonomy: Typic Hapludults Clasificación WRB: Acrisol Profúndico

Morfología del suelo

	Prof. (cm)	Descripción
A	0 - 15	Color gris 7.5YR6/1, textura arcillosa, estructura bloques subangulares pequeños, poros medianos y finos, ligeramente húmedo, poco plástico, poco adhesivo, raíces medianas y finas, comunes, concreciones escasas.
Bt	15 - 31	Color amarillo rojizo 7.5YR7/6, textura arcilloso, estructura bloques subangulares medios, poros medios y finos, húmedo, consistencia dura, adhesividad muy adhesiva, plasticidad muy plástico, abundantes raíces medias y finas, manchas oscuras y rojas, presenta abundantes cútanos de arcilla iluvial.
C ₁	31 - 51	Color amarillo rojizo 7.5YR7/8, es una capa endurecida de textura arcillosa; se observa algunas rocas en diferentes grados de meteorización de color amarillo grisáceo, adhesividad muy adhesiva, plasticidad muy plástico consistencia muy dura más que el Bt.
C ₂	51 - 120 +	Color amarillo rojizo 7.5YR8/6, con textura similar al C1 y abundante contenido de gravas.

IV.3. Evaluación de las condiciones climáticas y sus efectos sobre la dinámica de los suelos.

En la zona de estudio existen un total de 6 estaciones meteorológicas, las cuales registran datos desde hace 20 años. Otras estaciones cercanas y trabajos publicados sobre el tema de la región, nos han servido de base para conocer las variaciones de los elementos del clima, que más influyen en la vida de las plantas silvestres y los cultivos.

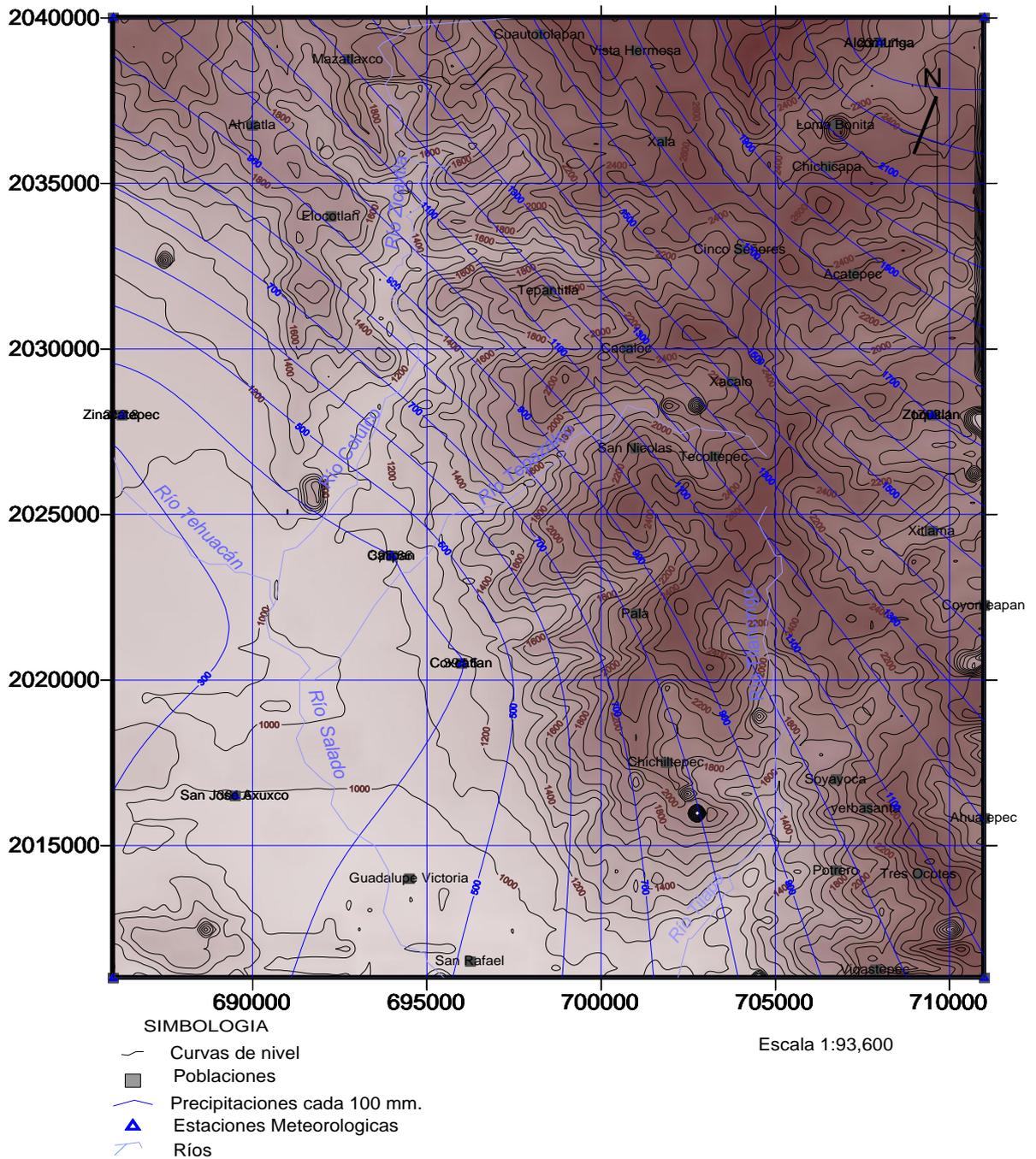
En el área de estudio, se observan cambios importantes en el comportamiento de las precipitaciones y las temperaturas; de este modo se puede apreciar (Figura IV.3.1), que las precipitaciones experimentan un incremento en valores absolutos hacia el oeste; en las localidades de Zinacatepec, Ajalpan, Calpina, Coxcatlán, Axuxco Tilapa y Guadalupe Victoria, las lluvias alcanzan valores inferiores a los 400 mm mientras que hacia el este la cantidad de agua promedio es superior a los 2,000 mm, al año; en las localidades de Acatepec, Alcomunga, Chichicapa, Zoquitlán y Coyomeapán, se registran valores superiores a los 2,300 mm de lluvia anual.

En cuanto a las temperaturas ocurre un fenómeno similar, pues mientras que en las localidades de Guadalupe Victoria, Coxcatlán, Ajalpan, Zinacatepec y Calipán, Las temperaturas medias anuales exceden los 22 °C, es la zona de Acatepec, Alcomunga, Chichicapa, Coyomeapan y Zoquitlán donde se localiza la mayor altura, y la temperatura media anual es de alrededor de 14 °C, (Figura IV.3.2).

El comportamiento de las lluvias y la temperatura responden a causas diversas; en primer lugar, cabe destacar que en el territorio existe una marcada diferenciación en las formas del relieve, conformado por un conjunto de alturas que sobrepasan los 2,000 m y que se extienden de norte a sur, dividiendo el área en un sector menos elevado hacia el oeste y otro hacia el este. Este conjunto de elevaciones, está situado paralelamente a la dirección predominante de los vientos alisios y procedentes del Golfo de México cargados de humedad. Estos en su desplazamiento hacia el oeste, chocan con las montañas altas que provocan un efecto de pantalla, donde se impactan descargando gran parte de la humedad. Los que pasan del otro lado de las montañas son secos y la poca humedad es insuficiente para el desarrollo de muchas especies vegetales y por ende, la agricultura es muy pobre y con bajos

rendimientos. Por consiguiente, el área de estudio está conformada en sentido general, por dos zonas divididas de norte a sur por un eje de elevaciones, que determina una diferenciación marcada del calor y la humedad. Esto se debe tomar en cuenta, para recomendar una estrategia para explotación agrícola, manejo y conservación de los suelos y su entorno.

Figura IV.3.1 Mapa de Precipitaciones Medias Mensuales. (Digitalizado por Edgardo Torres Trejo con base en la información CNA)



IV.3.1. Determinación del régimen de temperatura y el régimen de humedad del suelo.

Los regímenes de temperatura hacen referencia a la temperatura media anual del suelo medida a una profundidad arbitraria de 50 cm, la cual se ha escogido por corresponder a la zona radicular y por no verse influenciada por los cambios de temperatura, sino únicamente por los cambios estacionales. La Soil Taxonomy 1995 propone que, a falta de medidas de campo, se puede aproximar el régimen de temperatura considerando la relación entre la temperatura media anual del suelo y la del aire (Porta et al., 1999).

El régimen de temperatura del suelo se determinó de la siguiente forma:

- . A partir de la información de las estaciones termopluviométricas se obtuvo la temperatura media anual.
- . Se obtuvo la diferencia de temperatura media de verano (temperatura media mensual los meses de junio, julio y agosto) y la de invierno (temperatura media mensual de los meses de diciembre, enero y febrero).
- . Con estos datos anteriores se seleccionaron los regímenes de temperatura a partir en el siguiente Tabla IV.3.1.1. (Soil Survey Staff, 1998; Porta et al; 1999).

Tabla IV.3.1.1 Determinación del régimen de temperatura (Porta et al, 1999).

Diferencia de temperatura media en verano menos la temperatura media en invierno.				Temperatura media anual	Régimen de temperatura
°C				°C	
Suelos minerales					
No saturado con agua en alguna parte del verano ¹		Saturado con agua en alguna parte del verano ¹		< 8	Cryico
Sin horizonte O	Con horizonte O	Sin horizonte O	Con horizonte O, o epipedon histico		
<15	<8	<13	<6	< 6 (suelos orgánicos)	
		> 6 ²		< 8	Frígido
		> 6 ²		> 8 y < 15	Mésico
		> 6 ²		> 15 y < 22	Térmico
		> 6 ²		> 22	Hipertérmico

¹ Junio, julio y agosto en el Hemisferio Norte; diciembre, enero y febrero en el Hemisferio Sur.

² Si la temperatura media mensual en invierno y la temperatura media mensual en verano difieren en menor de 6°C, se antepone el prefijo iso.

El régimen de humedad se refiere a la presencia o ausencia de agua retenida a una tensión de -1500 kPa a lo largo del año en el suelo o en un horizonte específico. Un horizonte se considera húmedo si retiene humedad a una tensión menor de 1500 kPa pero no mayor de cero. Conociendo los datos de temperatura y precipitación media mensual y la evapotranspiración se puede obtener el régimen de humedad. (Tabla IV.3.1.2).

Tabla IV.3.1.2. Determinación del régimen de humedad (Porta *et al*, 1999).

Régimen de humedad	Características
Ácuico	<ul style="list-style-type: none"> Suelos hidromorfos, es decir suelos con drenaje deficiente están saturados de agua sin renovación suficiente Temperatura del suelo mayor a 5°C Suelo que presenta una cantidad de humedad superior a su capacidad de campo disponible, agua disponible todo el año. Se presenta en suelos en climas húmedos
Údico y perúdicico	<ul style="list-style-type: none"> El suelo tiene agua disponible para la planta por 90 días consecutivos Distribución regular de la precipitación a lo largo del año En verano la precipitación es igual o mayor que la evapotranspiración. Si precipitación es mayor que la evapotranspiración el régimen de humedad es perúdicico.
Ústico	<ul style="list-style-type: none"> El suelo dispone de agua en el período de crecimiento de las plantas. En invierno y a finales de verano puede haber una cantidad de agua limitada
Xérico	<ul style="list-style-type: none"> Régimen de humedad intermedio entre el régimen arídico y el údico. Se presenta en suelos de clima mediterráneo Inviernos fríos y húmedos Veranos cálidos con sequía prolongada La planta no tiene agua disponible la mayor parte del año Suelos de regiones áridas y semiáridas, si tienen poco espesor o un horizonte petrocálcico muy superficial.
Áridico o tórrico	<ul style="list-style-type: none"> Precipitación inferior la evapotranspiración en la mayoría de los meses. en este suelo la mayor parte del año no ofrece agua disponible para las plantas 90 días consecutivos

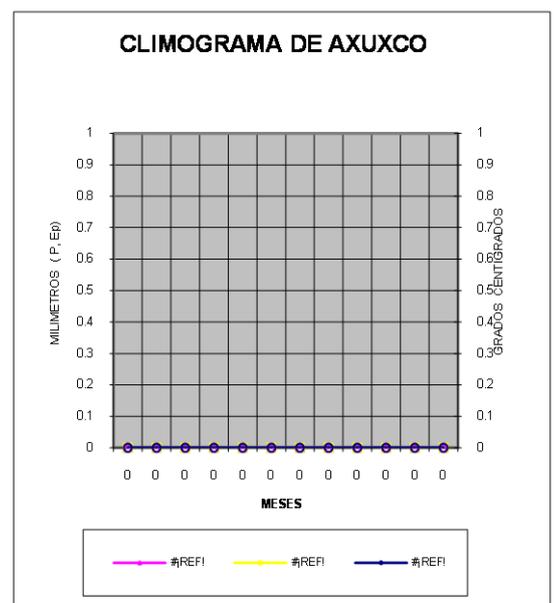
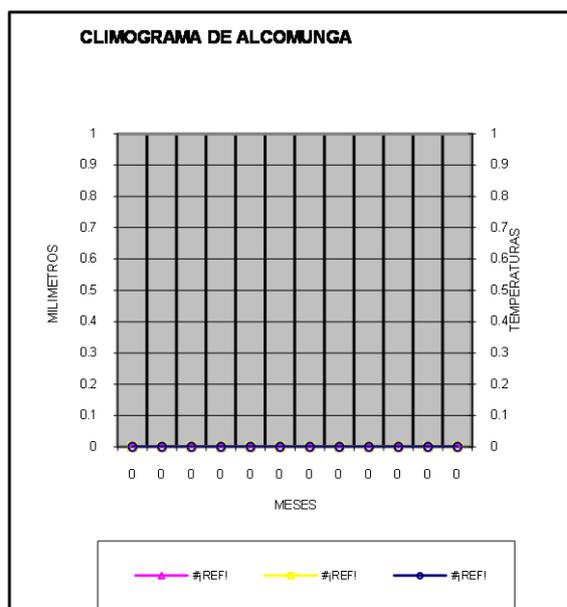
IV.3.2. Climogramas

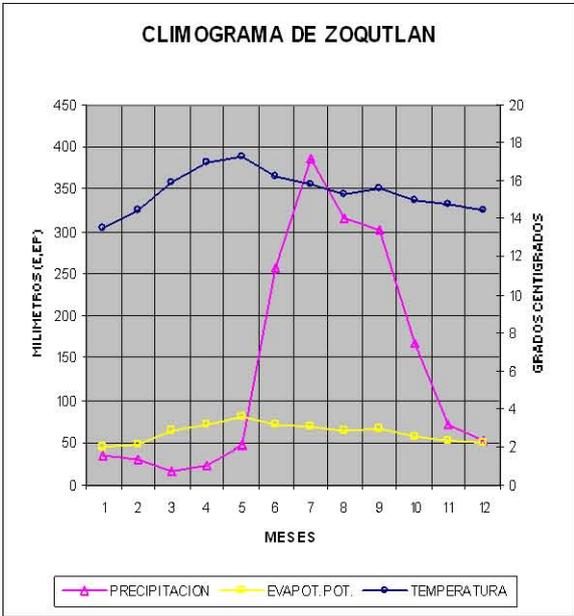
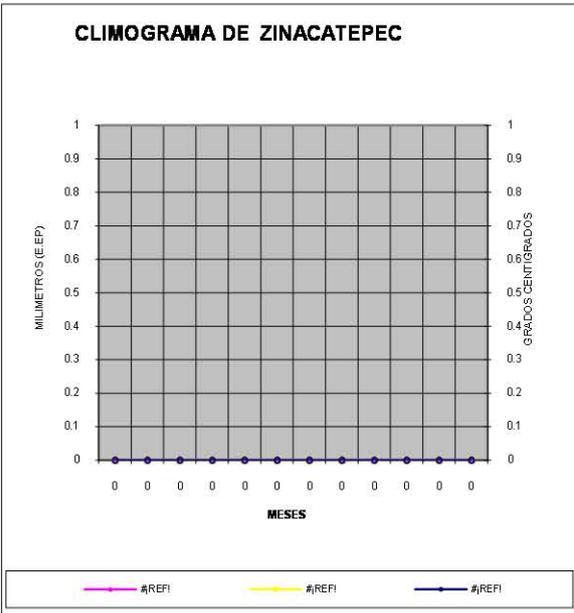
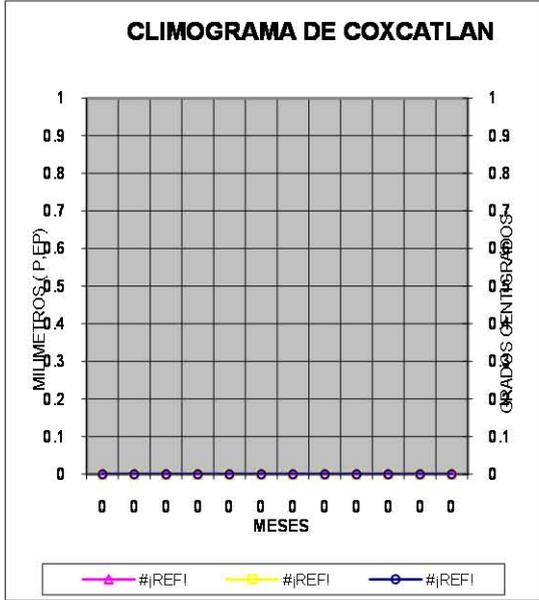
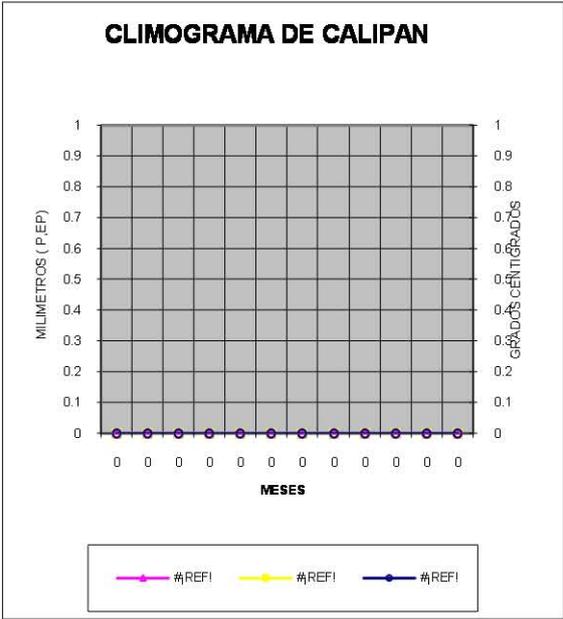
Las variables climáticas, precipitación y temperatura son muy importantes para la determinación del clima y el estado del tiempo e influyen en algunas propiedades edáficas.

La temperatura juega un papel importante en las propiedades del suelo, a largo plazo, pues influye indirectamente en la descomposición de la materia orgánica y participa en los procesos de intemperización y en el crecimiento de las plantas. El régimen de temperatura (RT) del suelo, puede ser descrito por la temperatura media anual del suelo y se relaciona con la temperatura media anual del ambiente.

Por su parte la precipitación interviene en los procesos de erosión, intemperización, génesis mineral, relaciones químicas y lixiviación de bases a través del suelo. También determina la disponibilidad de agua para las plantas, por lo que es necesario conocer como su distribución de precipitación media mensual (Pm) a lo largo del año. De acuerdo a esto, se elaboraron los climogramas de cada una de las 6 estaciones, que se localizan en la zona de estudio.(Figura IV.3.2.1).

Figura IV.3.2.1. Climogramas de las estaciones termopluviométricas de Alcomunga, Axuxco, Calipan, Coxcatlán, Zinacatepec y Zoquitlán





IV.3.3. Climogramas complementarios

Con los datos de temperatura media mensual (T_m) y de Precipitación media mensual (P_m) y utilizando el manual del Sistema de la Segunda aproximación de Thornthwaite (Thornthwaite, 1978) se pueden estimar parámetros tales como:

- La Demasía de humedad (s)
- La Deficiencia de humedad (d)
- La Humedad almacenada (HA)
- El Aprovechamiento de la humedad almacenada (AHA) y
- La Evapotranspiración potencial media mensual (E_p)

Este último parámetro se define como el fenómeno inverso de la precipitación y representa la pérdida de humedad del suelo respecto a la evapotranspiración y transpiración de la cubierta vegetal, estimándose mediante la fórmula:

$$E_p = f \times 1.6 \left[10 \frac{T}{I} \right]^a$$

T: Temperatura media mensual (T_m) en grados centígrados

I: Índice de calor anual $I = \sum_{i=1}^{12} (T/5)^{1.514}$

$$a = 0.000000675I^3 - 0.000077I^2 + 0.01791I + 0.4924$$

f = factor de iluminación

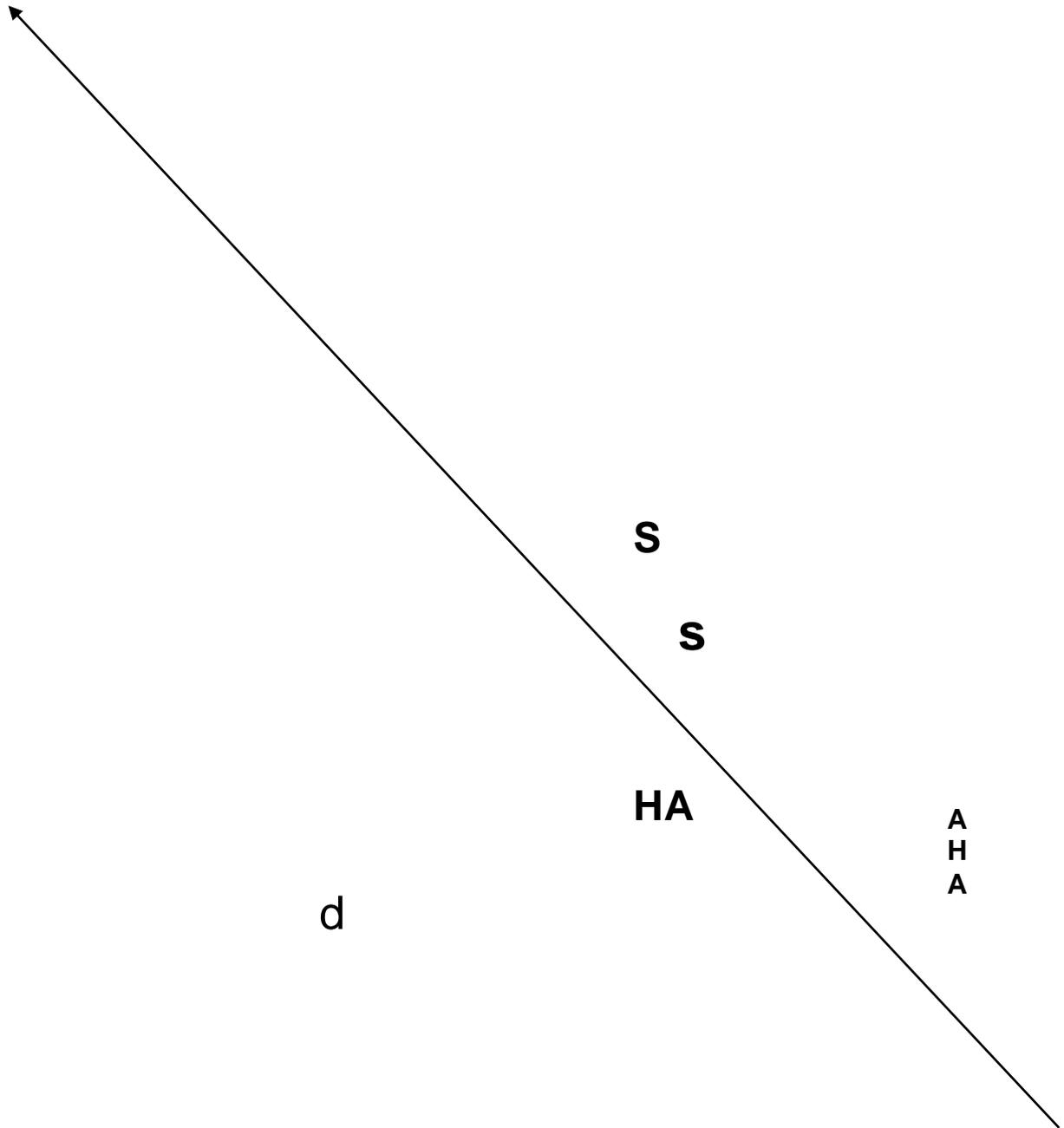
Esta información es importante para la construcción de los climogramas en cada estación. El climograma es una representación gráfica de los factores climáticos evapotranspiración (E_p), precipitación media mensual (P_m) y temperatura media mensual (T_m), siendo el objetivo de su elaboración esquematizar los balances de agua en una zona determinada. Además, permiten definir el régimen de humedad (RH) de los suelos, con fines de planificación del uso y manejo de los recursos agrícolas y forestales.

El régimen de humedad (RH) de los suelos se define en términos de disponibilidad de agua para las plantas. La cantidad de agua presente en el suelo y que es aprovechada por las plantas, se conoce como capacidad de campo (cuantitativamente es el agua retenida a una presión igual a 1/3 bar); el agua que no es aprovechada por la planta debido a que es retenida en el suelo a una energía muy elevada, se conoce como punto de marchitez permanente.

En los climogramas complementarios obtenidos para cada una de las estaciones se encontró que el RH del suelo es údico (del latín *udus*, húmedo), para las estaciones termopluviométricas Alcomunga, Zoquitlán, y Ústico (del latín *Ustic*, seco), para la estaciones de Axuxco, Calipán, Coxcatlán y Zinacatepec. A partir de esta información, se puede decir que la zona de Alcomunga y Zoquitlán, tiene disponibilidad de agua para la planta casi todo el año y el suelo nunca está seco por más de 90 días consecutivos, con una precipitación mayor de 2000 mm. Mientras que para las zonas de Axuxco, Calipán, Coxcatlán y Zinacatepec, la disponibilidad de agua para la planta sólo se presenta en los meses de lluvia que son junio, julio, agosto y septiembre, con una precipitación promedio de 400 mm y por lo tanto tiene más de 90 días de periodo seco.

Con respecto a los parámetros: demasía de humedad (s), deficiencia de humedad (d), humedad almacenada (HA) y aprovechamiento de la humedad almacenada (AHA), se construyó el complemento de los climogramas (Figuras IV.3.3.1, IV.3.3.2, IV.3.3.3), utilizando el manual del Sistema de la Segunda aproximación de Thornthwaite. De estos gráficos se obtiene que la demasía de humedad, se presenta en los meses de mayo a noviembre, al mismo tiempo existe una gran cantidad de humedad almacenada. La AHA es aprovechada por las plantas en los meses de noviembre a abril, cuando se presenta la época de estiaje o de sequía; el área bajo la curva que representa este período, es muy pequeña en comparación con la que representa el período de HA, lo que significa que en la zona se tiene una pequeña o nula deficiencia de agua. Para las estaciones de Alcomunga y Zoquitlán, se presenta deficiencia de humedad en los primeros meses del año, pero no por más de 90 días consecutivos; únicamente se observa una disminución en la precipitación, en el mes de marzo (226 mm). En general, en julio se presenta la mayor Pm (447 mm) para

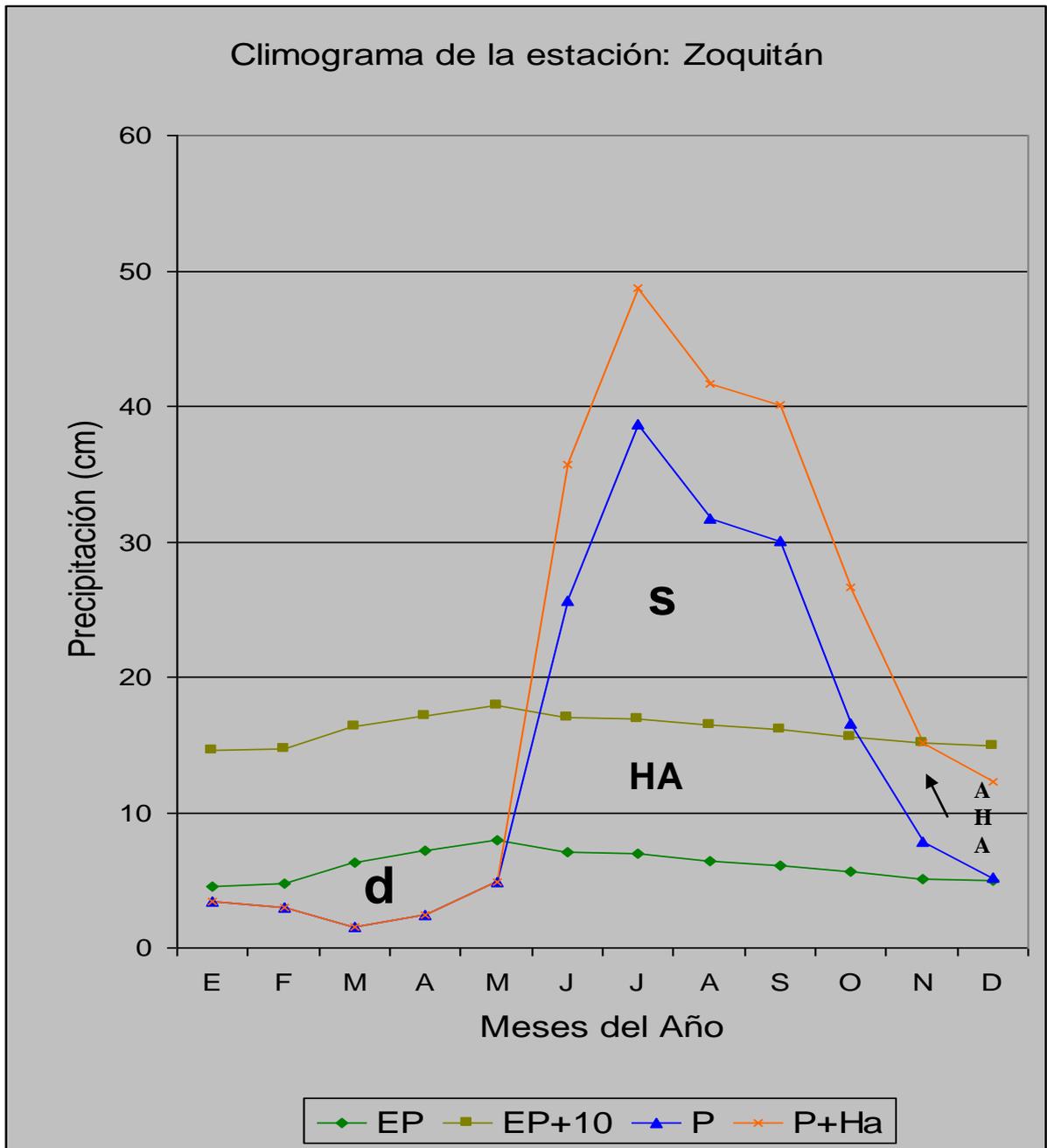
la zona y con respecto a T_m y la E_p , son más elevadas en el mes de marzo respectivamente (Figuras IV.3.3.1, IV.3.3.2). En cuanto a las estaciones de Calipán, Coxcatlán, Axuxco y Zinacatepec, la precipitación es escasa apenas de 400 mm promedio anual las temperaturas son altas, promedio anual entre (25° a 30°C). Respecto a la cantidad de humedad, su deficiencia se prolonga todo el año y la evapotranspiración es siempre mayor que la precipitación, por la escasa lluvia ver (Figura IV.3.3.3). Debido a estas características, es una zona muy seca.



EP = Evapotranspiración Potencial
 10 P = Precipitación
 Acumulada

EP + 10 = Evapotranspiración más
 P + Ha = Precipitación más Humedad
 Acumulada

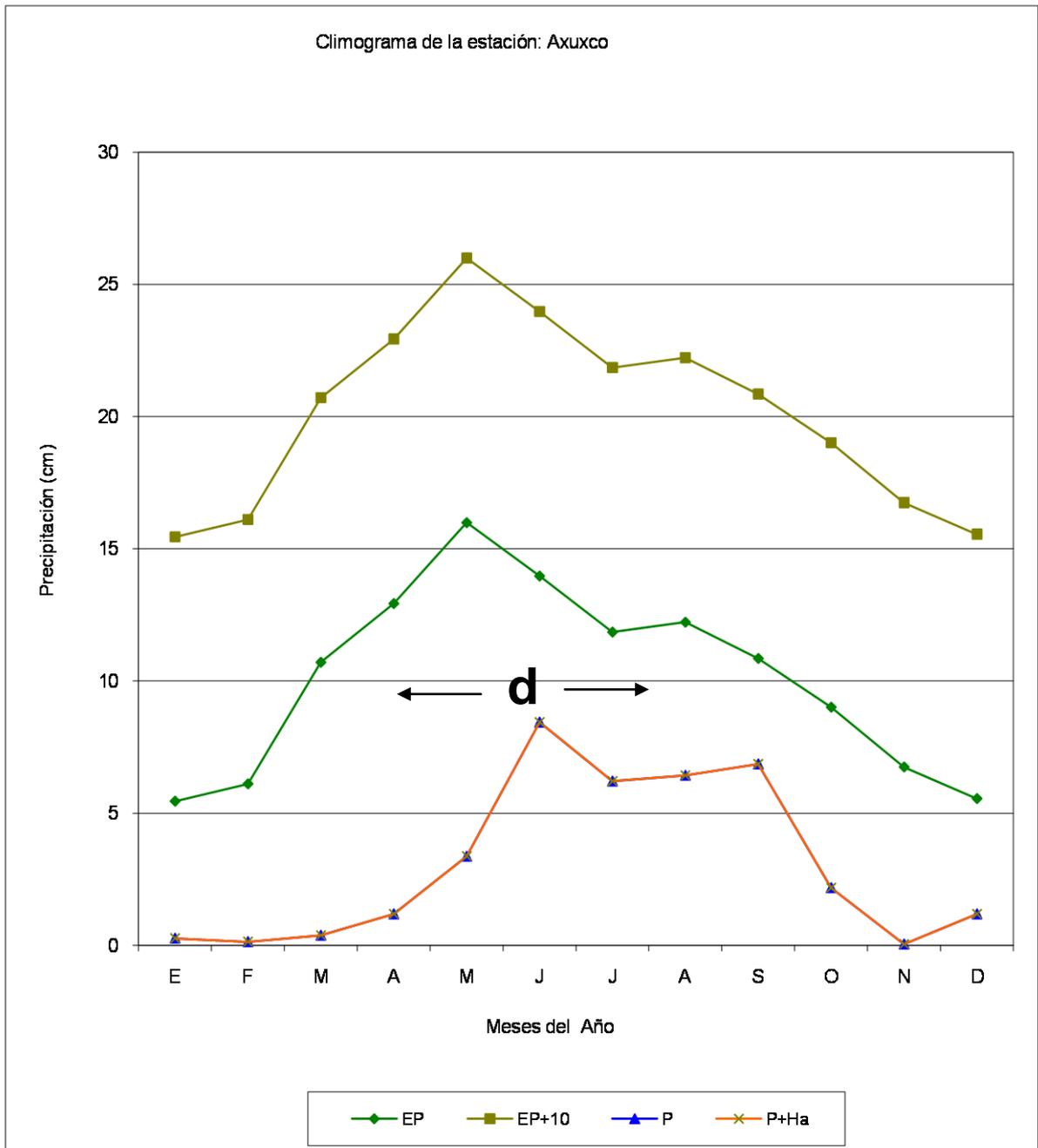
Figura IV.3.3.1. Climograma complementario de la estación Termopluviométrica de Alomunga Pue.



EP = Evapotranspiración Potencial EP + 10 = Evapotranspiración más 10

P = Precipitación P + Ha = Precipitación más Humedad Acumulada

Figura IV.3.3.2. Climograma complementario de la estación de Termopluviométrica de Zoquitán, Pue.



EP = Evapotranspiración Potencial EP + 10 = Evapotranspiración más 10
P = Precipitación P + Ha = Precipitación más Humedad Acumulada

Figura IV.3.3.3. Climograma complementario de la estación Termopluviométrica de Axuxco, Pue.

IV.4. Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos

Actualmente, la más avanzada tecnología exige conocer las características del suelo para preparar los programas de manejo de los recursos naturales desde una perspectiva técnica rentable y sustentable. Sin embargo, uno de los factores limitativos para que se utilicen las herramientas del análisis de suelos, es la dificultad para interpretar los resultados del laboratorio y traducirlos en decisiones correctas de manejo del suelo (Castellanos, et al., 2000).

Los análisis físicos y químicos proporcionan información básica para entender la condición del suelo, sus factores limitantes y el nivel de fertilidad natural de los nutrientes, permitiendo establecer estrategias para manejar los factores limitantes del suelo.

Los diagnósticos sobre las condiciones del suelo son el resultado de múltiples factores que se inician con el muestreo de perfiles seleccionados y su caracterización fisicoquímica en el laboratorio. Además es necesario considerar otros factores que influyen en la calidad de los suelos tales como: la profundidad del suelo, la pendiente del terreno, las características del drenaje superficial e interno del mismo, la profundidad a la capa friática, la presencia de pedregosidad, la temperatura del suelo, etc.

Por otro lado, las características biológicas del suelo juegan también un papel muy importante en cuanto al suministro de nutrimentos y control de patógenos. Así por ejemplo, los microorganismos del suelo (hongos, bacterias y actinomicetos) se hacen cargo de la descomposición de los residuos orgánicos. Las bacterias de los géneros: *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* se hacen cargo de transformar el nitrógeno amoniacal en nitrógeno nítrico, para que sea asimilado por las plantas. Asimismo existen otras bacterias significativas en la promoción del crecimiento radical y sistema de defensa de la planta, denominadas rizobacterias, otras en la solubilización del fósforo, y otras más en los ciclos biogeoquímicos, tales como los del carbono, nitrógeno, azufre, fósforo, etc. Por otro lado, los hongos micorrízicos participan activamente en el abastecimiento de fósforo, micronutrimetos y agua en las raíces de muchas plantas. Finalmente, la presencia de macroorganismos, tales como lombrices, coleópteros, etc., también incide en forma primordial en las características del suelo.

Otros factores ajenos al suelo, que también se deberán tomar en cuenta son los factores de tipo climático: precipitación pluvial, radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc.

En las Tablas IV.4.1, IV.4.2, IV.4.3, IV.4.5, IV.4.6, IV.4.7, IV.4.8, IV.4.9, presentan los resultados de las propiedades físicas de los suelos en cuestión y en las tablas IV.4.10, IV.4.11, IV.4.12, IV.4.13, IV.4.14, IV.4.15, IV.4.16, IV.4.17, IV.4.18, se reportan las propiedades químicas de los perfiles de suelo seleccionados para el presente trabajo.

IV.4.1.- Propiedades Físicas de los Suelos. La calidad de un suelo no sólo depende de sus contenidos nutrimentales sino también de las condiciones físicas del mismo. Hay que recordar que el desarrollo de la parte aérea de las plantas depende del desarrollo de su raíz, la que a su vez dependerá de que el suelo tenga un buen balance de aireación y humedad. Las variables físicas que se analizan son; color, textura densidad aparente y densidad real.

IV.4.1.1.- Color del suelo. El color del suelo es una de las características más obvias del suelo y una de las que probablemente han sido más usadas para describirlo, así como para reconocer y describir los diferentes grupos genéticos pues son notables en el perfil del suelo los diferentes colores de sus horizontes. Las primeras clasificaciones de los suelos, de hace cerca de 100 años, se basaban principalmente en el color y en la vegetación (Castellanos, et al., 2000). Aun cuando los colores tienen escasa o ninguna significación directa, es mucho lo que puede inferirse de ellos si son descritos cabalmente. Por ejemplo, el contenido de materia orgánica se denuncia por lo oscuro del suelo superficial. Asimismo, el subsuelo de color brillante indica buen drenaje, mientras que colores opacos indican un drenaje pobre.

El color del suelo no tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, pero indirectamente afecta la temperatura y la humedad; a través de su efecto sobre la energía radiante, mientras mayor cantidad de energía calorífica esté disponible en el suelo, se causarán mayores grados de evaporación. Un suelo oscuro, en idénticas condiciones, se secará más rápidamente que uno de color claro. Una cubierta vegetal o de residuos de cultivo reducirá naturalmente y aún eliminará esta diferencia. Prácticamente encontramos todos los colores en los

suelos. Esto incluye al blanco, rojo, café, gris, amarillo y negro. Más aún, se pueden encontrar suelos de color verdoso o azulado (Aguilar, 1988). Los suelos húmedos o mojados presentan un color más oscuro que los suelos secos. La razón es que los componentes sólidos del suelo tienen propiedades refractivas muy diferentes de las del aire, por lo que la luz que cae sobre un suelo seco es casi totalmente reflejada. Las propiedades refractivas del agua y de las partículas del suelo son muy parecidas, por lo que una mayor cantidad de luz penetra al suelo y mucha menos es reflejada. Esto es lo que genera los colores más oscuros de los suelos húmedos o mojados (Aguilar, 1988).

Por otro lado, el color del suelo es también determinado por la cantidad y el estado de los minerales de hierro y manganeso, y/o de la materia orgánica. En gran medida el color indica el efecto de uno o más de los factores de formación del suelo: roca madre, vegetación natural o clima. El color oscuro de un suelo se debe a la materia orgánica muy descompuesta y denota alto contenido de humus o de pequeñas partículas envueltas en materiales húmicos altamente polimerizados. Por lo común, el color de los horizontes superiores cambia de pardo a pardo oscuro y a negro a medida que aumenta el contenido de materia orgánica y ésta tiende a tomar un color más oscuro al aumentar la humificación. Sin embargo, en suelos con escasa materia orgánica el exceso de sodio puede formar colores oscuros debido a la disolución de la materia orgánica que ocurre a pH muy alcalinos y esta tiende a migrar a la superficie. Este color oscuro también puede ser producido por la presencia de MnO_2 o por la presencia de carbón elemental inmediatamente después de la quema.

Debe hacerse notar que el efecto de la materia orgánica es mucho más marcado en los suelos arenosos que en los de limo o de arcilla, así, un suelo arenoso con 10% de materia orgánica puede ser casi negra cuando está húmeda y en un suelo arcilloso esa misma proporción de materia orgánica sólo producirá un ligero efecto en el color mineral.

El color rojo es en general propio de suelos bastante viejos e intensamente intemperizados, desarrollados en condiciones fuertemente aeróbicas, de zonas tropicales y subtropicales y es producido por la hematita (Fe_2O_3) y sus precursores. Los suelos de regiones húmedas son pardo rojizos, pardos (café) o incluso amarillos, cuyo color es debido a la presencia de Goethita ($FeO - OH$). Las formas altamente hidratadas son amarillas y conocidas como

limonitas. Los colores rojos y amarillos provienen de la oxidación e hidratación de los compuestos minerales de hierro del suelo, cuando el drenaje permite la aireación y las condiciones de humedad y temperatura son favorables para la actividad química.

El horizonte superficial del suelo es, por lo común, el más oscuro, con un contenido apreciable de humus. En los suelos tropicales, con alto contenido de materia orgánica, los colores rojos se convierten en color caoba, mientras que con bajos contenidos de humus, los óxidos férricos anhidros son rojos brillantes. En el subsuelo la hidratación de estos óxidos da un color amarillo.

En suelos mal drenados con condiciones anaerobias o de reducción, la acumulación de materia orgánica en las capas superficiales ocasiona un color muy oscuro, y en el subsuelo con poco humus el color suele ser gris claro. Sin embargo, si el drenaje es intermedio, entonces se observa un moteado rojo-amarillento, que denota condiciones alternas de oxidación y reducción, principalmente por la fluctuación del manto freático.

El color gris también se halla en los horizontes A de los perfiles del Podsol (Espodosol), debido a la eliminación del óxido férrico por la eluviación bajo condiciones ácidas. En los suelos alcalinos degradados, el lavado de sodio del suelo en ausencia de CaCO_3 produce la descomposición del complejo de arcilla y la eluviación de los sesquióxidos, dejando un horizonte A rico en ácido silícico residual.

El color gris claro y blanco del suelo lo provoca la falta de intemperización de la roca madre de color gris o blanco, depósitos de carbonato de calcio, afloración de sales o como resultado de la remoción de hierro, quedando gran cantidad de minerales ricos en sílice como cuarzo, feldespatos y caolinita. Al considerar el color de los suelos, es muy importante saber decidir si el color refleja un proceso de formación reciente del **sucio** o si se trata sólo del color procedente del material parental que lo formó.

Como ya se mencionó, el color del suelo puede ser utilizado como una clave del contenido de ciertos minerales en el suelo, basado en que los minerales férricos proveen la mayoría de pigmentos al suelo (Tabla IV.4.19).

Tabla IV.4.19.- Colores asociados con los componentes minerales y orgánicos del suelo.

Componente	Formula	Munsell	Color
Goetita	FeOOH	10YR 8/6	amarillo
Goetita	FeOOH	7.5YR 5/6	marrón fuerte
Hematita	Fe ₂ O ₃	5R 3/6	rojo
Hematita	Fe ₂ O ₃	10R 4/8	rojo
Lepidocrocita	FeOOH	5YR 6/8	amarillo rojizo
Lepidocrocita	FeOOH	2.5YR 4/6	rojo
Ferrihidrita	Fe (OH) ₃	2.5YR 3/6	rojo oscuro
Glauconita	K(Si _x Al _{4-x})(Al,Fe,Mg)O ₁₀ (OH) ₂	5Y 5/1	gris oscuro
Magheita	-Fe ₂ O ₃	2.5YR-5YR	rojo
Sulfuro de hierro	FeS	10YR 2/1	negro
Pirita	FeS ₂	10YR 2/1	negro (metálico)
Jarosita	K Fe ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂	5Y 6/4	amarillo pálido
Humus		10YR 2/1	negro
Calcita	CaCO ₃	10YR 8/2	blanco
Dolomita	CaMg (CO ₃) ₂	10YR 8/2	blanco
Yeso	CaSO ₄ 2H ₂ O	10YR 8/3	marrón muy pálido
Cuarzo	SiO ₂	10YR 6/1	gris claro

Nota: esta información es de referencia ya que otros factores pueden influir sobre el color de suelo.
Fuente: modificado del NRCS-USDA (2002).

Procedimientos de Determinación del Color. Durante muchos años el color del suelo se describió con términos pintorescos (pero inexactos), como "gris ratón" y "castaño quemado". Hoy en día es posible señalar el color con mayor precisión y consecuencia por medio del sistema de colores de Munsell que con fines prácticos se encuentra organizado en forma de las conocidas como Cartas de Color de Suelos (Munsell® Color, 2000).

El color del suelo se debe determinar bajo dos condiciones: seco y cuando se ha humedecido hasta saturación. En la figura IV.4.1., se presenta el esquema de una hoja de las cartas Munsell y su forma de determinación. La escala de Munsell presenta series de colores expresados en función de sus tres elementos básicos, que son: el tinte, el brillo y el croma.

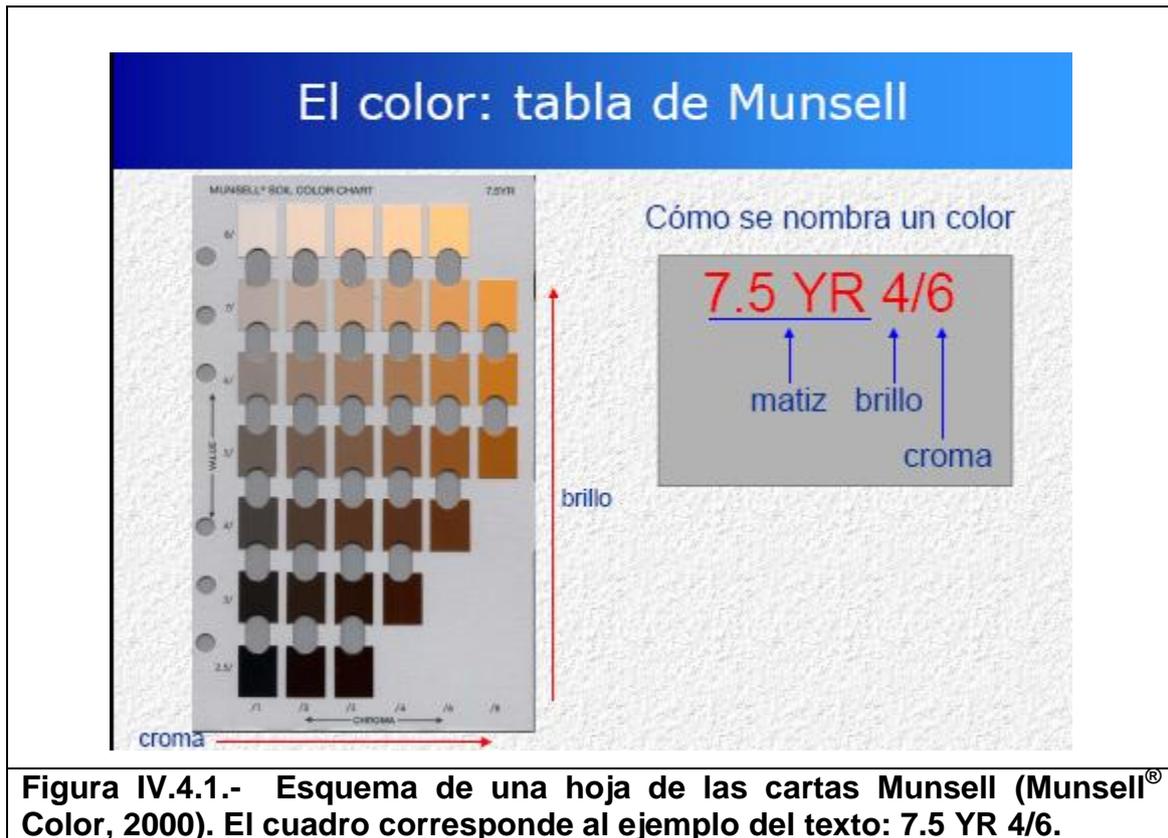


Figura IV.4.1.- Esquema de una hoja de las cartas Munsell (Munsell® Color, 2000). El cuadro corresponde al ejemplo del texto: 7.5 YR 4/6.

Las cartas de color Munsell describen el espectro dominante del color, que no es otra cosa que el tinte, tono o matiz (HUE), que está relacionado con la longitud de onda dominante de la luz para cada escala. En forma general los principales tintes son los N, GY, G y B, que corresponden a los suelos de color negro a verdoso pasando por el gris. Algunos de estos últimos suelos pueden pasar una parte del año bajo anegamiento (suelos Gley), por lo que suelen presentar una coloración de grisácea a verdosa. Los suelos con tinte rojizo van del 7.5R al 10R. Por otro lado, el siguiente tinte va del rojizo al pardo o café y se expresan como 2.5YR, 5YR, 7.5YR hasta el 10YR. Finalmente están los tintes amarillos que se expresan como: 2.5Y y 5Y.

En el eje de las ordenadas está el brillo, luminosidad, pureza o valor (Value) que está en función de la cantidad de luz total (éste último va de oscuro para el número menor, a claro para el número mayor). El brillo se designa por medio de números, los que van desde el 0, para el negro absoluto, hasta el 10, para el blanco absoluto. Cuantitativamente dicho brillo es igual a la raíz cuadrada del porcentaje de luz reflejada. En la tabla del ejemplo, los valores del brillo varían desde 2, al pie de cada página, hasta 8, en su parte superior.

El croma o intensidad de la longitud de onda (Chroma), está incluida en el eje de las abscisas. Así, 7.5 YR 5/2 corresponde a un color café. El croma indica la cantidad de pigmento que debe mezclarse con el propio valor del gris para producir el color que se requiera. Los colores gris puro tienen 0 de intensidad. El incremento del croma se indica por cromas superiores a 8 en los suelos o de 20 para la escala total de color. La intensidad se cuantifica mirando a través de la página de la tabla de colores con colores grises (croma 0) en la parte izquierda de la página, hasta los colores brillantes (croma de 8 a 10) en la parte derecha.

La combinación de estas tres variables: Tinte (HUE), brillo (Value) y croma (Chroma), permite determinar los colores más comunes en la mayoría de los suelos.

El color en sí mismo es de poca relevancia: su verdadera importancia radica en que el suelo tiene un conjunto de atributos que de alguna forma se relacionan con el color, siendo este diferente entre horizontes y entre distintas clases de suelos. En consecuencia, cualquier error en su determinación acarrea conclusiones equivocadas respecto a las características que se relacionan con él.

El Color de los suelos en la región estudiada. Con base en los resultados obtenidos durante los estudios de campo y laboratorio se establecieron las características y atributos de cada uno de los horizontes que se identificaron en los perfiles de suelo. De acuerdo a las tablas IV.4.1, IV.4.2, VI.4.7 y VI.4.4; los suelos de los perfiles 64, 70 y 89, presentan un tinte de 2.5YR, y el suelo del perfil 82 con tinte 7.5YR, pero con relación brillo/croma entre 6/4 y 6/6, correspondientes a colores de tonalidades rojizas; esto posiblemente indique la presencia de Lepidocrocita (y FeOOH), y se asocia a procesos de alteración de los materiales parentales bajo condiciones de régimen Térmico, alta actividad del agua por régimen Údico, rápida incorporación y mineralización de materia orgánica, alta liberación de hierro por los materiales parentales, condiciones de alto intemperismo, bajos niveles de fertilidad del suelo, valores de pH de ácido, moderadamente ácido a neutro y ambientes donde predominan los procesos de hidratación.

En el suelo del perfil 85 el tinte es 10YR y en el de los perfiles 90 y 97 es 7.5YR (ver tablas IV.4.5, IV.4.8 y IV.4.9). Ellos corresponden a suelos de colores pardos y por lo general estos colores son indicativos de intemperización en ambientes aeróbicos (oxidación) y con suficiente humedad en el suelo, por lo que es posible la formación de Goethita (αFeOOH). Los cristales grandes de este mineral confieren al suelo una pigmentación amarilla, mientras que cristales pequeños le confieren tonalidades de color marrón. Es frecuente que estos colores asociados a la Goethita ocurran en climas templados. Se relacionan con condiciones de media a baja fertilidad del suelo.

El suelo del perfil 78 (ver tabla IV.4.3), presenta un tinte de 10YR, correspondiente a colores pardos, semejante a los del perfil 85. Por encontrarse en la unidad de suelos número I próxima a la V y siendo la unidad I la que presenta evidencias de mayor alteración antropogénica, en sitios con pendientes de más del 60%, regímenes Térmico y Ústico, es factible suponer que se trate de un suelo decapitado por intensa erosión hídrica.

En cuanto al suelo del perfil 88, el tinte varía de 7.5 YR en el primer horizonte a 10YR en el segundo, corresponde también a suelos de colores pardos y por encontrarse entre los perfiles 85 y 90, en la misma unidad de suelos número V. También suponemos que se trata de un suelo decapitado por intensa erosión hídrica.

IV.4.1.2.- Textura del Suelo.- Para la interpretación de los resultados analíticos sobre Textura del Suelo es importante agrupar a los suelos en tres grupos representativos, estos son:

Suelos de Textura Gruesa. Son los suelos con más de 50% de arena, pero contienen menos de 20% de arcilla. Las texturas que engloban este grupo son: Arena, arena francosa y franco arenoso. Este tipo de suelos no se pega en los dedos, no se moldea como una masa y sus partículas individuales son visibles. Es suelto y friable cuando está húmedo, lo que lo hace de fácil labranza. Su principal característica es su baja capacidad para retener nutrientes y agua. La alta proporción de poros grandes y el bajo contenido de arcillas facilitan ampliamente las pérdidas de agua y nutrientes, sobre todo de nitrógeno nítrico.

Suelos de Textura Media. Son los suelos con porosidad equilibrada que permiten buenas condiciones de aireación y drenaje, en su nomenclatura se emplea normalmente el término franco o migajón como sustantivo. Los suelos más representativos de la textura media son los que contienen menos de 35 a 40% de arcilla y menos de 50% de arena, a excepción de la textura franco arcillo arenosa, que podría contener hasta de 70 a 80% de arena a expensas de la arcilla. Las texturas que podrían quedar englobadas en este grupo son: franco limoso, franco, franco arcillo arenoso, y franco arcillo limosa y franco arcillosa. Son suelos ligeramente pegajosos y plásticos, cuando están mojados; suaves a firmes cuando están húmedos y ligeramente duros cuando están secos. Tienden a formar agregados de tamaño pequeño a medio. Presentan una alta proporción de poros de tamaño medio a fino. Presentan una moderadamente alta capacidad para retener agua y nutrimentos. Pueden o no ser friables y a medida que se incrementa la proporción de limo tienen mayor potencial de compactación, lo cual puede dificultar parcialmente su manejo.

Suelos de Textura Fina o Pesada. Son suelos con más de 40% de arcilla y usan ese término como sustantivo, también podríamos englobar aquí a los suelos con más de 60% de limo. En los arcillosos, el suelo se adhiere a los dedos. Estos suelos, cuando están húmedos son pegajosos y plásticos y fácilmente moldeables, las partículas no son visibles y la superficie brilla levemente, mientras que en los limosos el suelo se adhiere menos, se moldea con dificultad y los dedos dan apariencia grasosa y las partículas son brillantes. Cuando están secos son muy duros. Presentan una alta proporción de poros finos. Los grupos texturales son: arcillosa, arcillo limosa, arcillo arenosa y limosa. Presentan alta capacidad de retención de agua y nutrimentos, particularmente si contienen arcillas de tipo 2:1 (esmecticas o illticas).

En relación con la dinámica del nitrógeno, cuando por exceso de humedad se limita la aireación del suelo, se potencializa la desnitrificación (pérdidas gaseosas de N), pudiendo llegar a ser importante. Este proceso de pérdidas se favorece en el suelo de textura fina cuando ocurre un alto contenido de nitrógeno nítrico y/o un alto contenido de residuos orgánicos en ambas condiciones las bacterias desnitrificantes utilizan como fuente de energía el

carbono y condiciones anaerobias, los cuales fácilmente se pueden alcanzar en este tipo de suelo después del periodo de lluvias.

La textura de los suelos también está muy relacionada con sus contenidos en humedad, los cuales los expresamos como:

- El punto de saturación del suelo. Este se considera como la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener y es afectado por el contenido y tipo de arcillas y por la concentración de materia orgánica que éste tenga. Para un mismo tipo textural, el punto de saturación puede ser muy diferente debido a la variación que puede ocurrir con estos dos componentes del suelo. El punto de saturación de un suelo va de menos de 10% para las arenas gruesas y hasta 150% para los suelos muy arcillosos o para los suelos con muy elevado contenido de materia orgánica.
- Capacidad de Campo. La capacidad de campo representa la cantidad de agua que puede ser retenida en un suelo contra la fuerza de gravedad, después de un riego o lluvia que ha humedecido todo el suelo. Al igual que el punto de saturación está directamente relacionado al contenido y tipo de arcillas y al nivel de materia orgánica (Unger y Stewart, 1974; Weil y Kroontje, 1979; Ramírez, 1982). Coleman (en Aguilar, 1988) indica que los suelos de textura arenosa presentan de 5 a 16% de capacidad de campo; los de textura franco arenosa, de 10 a 20%; los de textura franca de 15 a 30%; los de textura franco arcillosa de 25 a 35% y los de textura arcillosa de 30 a 70%, dependiendo del contenido y tipo de arcilla.
- Punto de Marchitez Permanente. El punto de marchitamiento permanente o punto de marchites permanente, es el porcentaje de humedad de un suelo en el cual las plantas se marchitan y ya no pueden recuperarse, aun cuando se les coloque en una atmósfera saturada de humedad. Este también puede variar con el contenido de materia orgánica y el tipo de arcilla (1:1 ó 2:1) y se relaciona con la densidad aparente del suelo (Aguilar, 1988).
- Humedad Aprovechable. La diferencia entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitamiento Permanente representa la capacidad de retención de humedad aprovechable. En el cuadro IV.4.20 se muestra la capacidad retentiva de humedad aprovechable expresada en centímetros de la lámina

de agua para 30 cm de profundidad de suelo para varios tipos texturales, cuyo rango varía en función del tipo de arcilla, nivel de materia orgánica y de la estructura del suelo.

Los perfiles 64, 70, 89, 97 correspondientes a la zona estudio son arcillos, lo que sugiere su propensión a adquirir problemas de compactación. La textura franco arcillosa se presenta en los perfiles 78, 82, 85 y 90. De acuerdo con la tabla IV.4.20. los perfiles de la Sierra Negra tienen una textura de franco arcilloso a arcilloso y por tanto tienen una capacidad de disponibilidad de agua de 160 a 200 mm/m.

Tabla IV.4.20. Capacidad de retención de humedad aprovechable en suelos de diferentes texturas.	
Clases texturales	Mm/m
Arena gruesa – arena gravosa	40 - 70
Arena fina – Arena con material franco	70 - 100
Franco arenoso	120 - 160
Franco limoso	180 - 220
Franco arcilloso limoso, arcilla limosa, arcilla pesada	160 - 200
* Fuente: Hargreaves, Salazar y Stutler(1987).	

IV.4.1.3.- Densidad Real

La densidad real o densidad de las partículas, definida como el peso de un volumen conocido de suelo comparado con el peso de un volumen igual de agua, es una propiedad que en el caso de los suelos se le ha conferido poca importancia.

La densidad real tiene un valor medio aceptado internacionalmente de 2.65 g/cm³.

La presencia de altas cantidades de materia orgánica en los suelos es significativamente importante en la disminución del valor de su densidad real (Bielders *et al.*, 1990).

En México, la determinación de la densidad real de los suelos es realizada por muchos edafólogos, sin embargo, en la mayoría de los casos es un dato que se emplea poco en la discusión de los resultados de investigación. Álvarez (1982),

señala que los Andosoles de la Sierra Tarasca se caracterizan por tener bajas densidades reales (inferiores a 2.42g/cm^3). También señala la importancia de la mineralogía de los suelos sobre los valores de esta propiedad, los suelos con mayores contenidos de basalto y vidrios volcánicos presentaron densidades reales más altas, en tanto que aquellos en los que dominaba la pumicita, tenían densidades reales menor.

En la siguiente tabla se muestran las diferentes densidades de algunos constituyentes del suelo (Tabla IV.4.21).

Tabla IV.4.21. Densidad de las partículas de algunos constituyentes inorgánicos del suelo	
Material	Densidad (g/cm^3)
Gibsita	2.30 - 2.40
Montmorillonita	2.40
Ortoclasa	2.56
Illita	2.60
Cuarzo	2.60
Caolinita	2.60-2.63
Clorita	2.60-3.00
Plagioclasa	2.62-2.72
Calcita	2.80-2.90
Moscovita	2.80-2.90
Biotita	3.00-3.10
Hornblenda	3.00-3.47
Olivino	3.27-3.37
Limonita	3.80
Siderita	3.83-3.88
Hematita	4.90-5.30
Magnetita	5.17-5.18

* Fuente: Bowles, 1982 citado en Jaramillo, 2002

De acuerdo con la tabla anterior vemos que los suelos de la Sierra Negra están entre los valores de 1.2 a 2.5, estos valores de densidad real están dentro del valor medio aceptado internacionalmente de 2.65 g/cm^3 , esto podría ser por el contenido de materia orgánica y la cantidad de arcilla y de acuerdo con la tabla IV.4.21 esta densidad real entraría en el rango $1.2\text{ a }2.5\text{ g/cm}^3$ que corresponde a desde humus de turba, materia orgánica y arcillas.

IV.4.1.4.- Densidad Aparente

La densidad aparente del suelo expresa el contenido de sólidos por unidad de volumen (g/cm^3). Esta propiedad esta asociada a la textura del suelo, al igual que otras propiedades.

Esta propiedad indica la compactación del suelo y es un indicador del grado de facilidad o dificultad que podría tener la raíz para penetrar el suelo y explorarlo.

Mientras que en construcción civil se requiere un suelo con alta densidad aparente o compacto, para el desarrollo de las plantas se requiere un suelo esponjoso y no compacto para que provea un buen ambiente para el sistema radicular. En la Tabla IV.4.22. se presentan las densidades aparentes esperadas en condiciones normales en función del grupo textural.

Tabla IV.4.22. Densidad aparente esperada del suelo en función de los grupos Texturales.	
Textura	Densidad aparente
Arena	1.50 – 1.70
Franco arenoso	1.40 – 1.60
Franco	1.35 – 1.45
Franco limoso	1.25 – 1.40
Franco Arcilloso	1.20 – 1.35
Arcilla	1.00 – 1.30

La densidad aparente es una determinación que debe realizarse bajo condiciones de campo, pues en muestras alteradas da información muy poco confiable, ya que no detecta las condiciones de compactación del suelo. Sin embargo, el método del terrón o método de la parafina se puede usar también, pues esa fracción de la muestra no está alterada. El inconveniente de este procedimiento es que es una muestra que no considera las grietas entre los terrones, las cuales sí se contemplan en el procedimiento de la barrena o de la excavación (Blake y Hartge, 1986). Castellanos y Muñoz (1985) compararon tres procedimientos de determinación de la densidad aparente en un suelo arcilloso con varios contenidos de materia orgánica, los cuales se presentan en la Tabla IV.4.23.

Tabla IV.4.23. Densidad aparente del suelo bajo tres tratamientos de aplicación de desechos animales y utilizando tres procedimientos de determinación de esta variable (Castellanos y Muñoz, 1985).

Dosis de estiércol	Métodos de determinación		
	<i>Barrena</i>	<i>Terrón húmedo</i>	<i>Terrón seco</i>
t/ha	-----g/cm ³ -----		
0	1.33 a *	1.40 a	1.64 a
120	1.28 a	1.36 ab	1.59 ab
240	1.22 b	1.34 b	1.54 b
<i>Promedio</i>	1.28	1.37	1.59

* Valores con la misma letra de una columna son iguales entre sí (Duncan P=0.05)

Es notoria la influencia de la humedad del suelo sobre la densidad aparente, pues cuando existe un alto contenido de arcilla en el suelo, al secarse, éste se contrae y la densidad aparente se incrementa. El método más acercado a la realidad es el de la barrena o el método de la excavación (Blake y Hartge, 1986). De acuerdo con la Tabla IV.4.22 la densidad aparente esperada del suelo está en función de los grupos Texturales. Para los suelos estudiados los valores obtenidos están en el rango de 1.0 a 1.3 que corresponden en su mayoría a suelos con clase textural arcillosa (Tablas IV.4.1, IV.4.2, IV.4.3, IV.4.5, IV.4.6, IV.4.7, IV.4.8, IV.4.9).

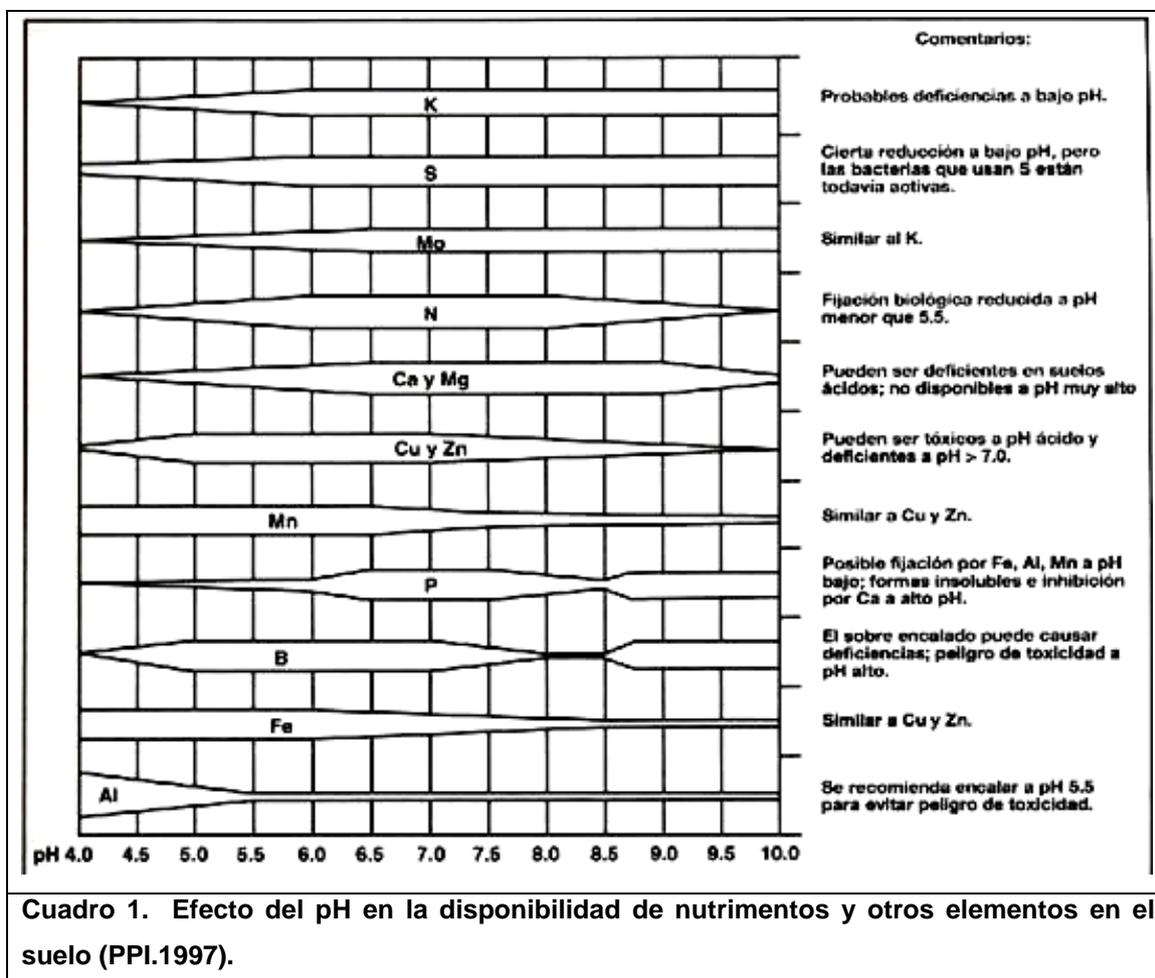
IV.4.2.- Propiedades Químicas de los Suelos. La calidad de un suelo depende de manera fundamental de sus propiedades químicas. Las variables químicas analizadas son: pH, CIC, % Saturación en bases (Ca, Mg, Na y K intercambiables).

IV.4.2.1.- Reacción del Suelo. La reacción del suelo (pH) es una de las determinaciones más importantes, ya que es un indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas que influyen fuertemente en su calidad.

En general, hay cuatro intervalos de pH (medidos en suelo : agua relación 1:2) que son particularmente informativos; Un pH menor de 4.0 indica la presencia de ácidos libres comúnmente producto de la oxidación de los sulfuros, un pH debajo de 5.5 sugiere estrechamente la ocurrencia de aluminio intercambiable y/o exceso de manganeso, pH entre 7.2 a 8.3 señala la muy probable presencia de CaCO₃ y un pH mayor de 8.2 la posible presencia de elevadas concentraciones de sodio intercambiable, en cuyos casos el pH puede llegar hasta 10. El pH ideal del suelo es aquel que va de 6.0 a 6.5 pues a este pH todos los nutrimentos muestran una razonable disponibilidad. Excepción que ocurre en los Andosoles, pues aún a pH de 6 o 6.5 presenta altos niveles de aluminio y hierro activos y baja disponibilidad del fósforo por el fenómeno de fijación o retención. En la Tabla IV.4.23 y cuadro 1 se presenta la información general de disponibilidad nutrimental en función del pH del suelo (Porta, et al. 1999).

Tabla IV.4.23. Escala de pH y los efectos esperados en el suelo (Porta, et al. 1999.)		
pH	Evaluación	Efecto esperable en el intervalo
<4.5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4.5-5.0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al ³⁺ y Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn Deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P,S Suelos sin carbonato cálcico Activad bacteriana escasa
5.1-5.5	Fuertemente ácido	
5.6-6.0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6.1-6.5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrimentos
6.6-7.3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos
7.4-7.8	Medianamente básico	Suelos generalmente con CaCO ₃
7.9-8.4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B Deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn, Zn Suelos calizos. Clorosis férrica debida al HCO ₃ ⁻
8.5-9.0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, estos pH altos pueden deberse a MgCO ₃ , si no hay sodio intercambiable.
9.1-10.0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico
>10.0	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de Na intercambiable Toxicidad: Na, B Movilidad del P como Na ₃ PO ₄ Actividad microbiana escasa Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo

Suelos cercanos a la neutralidad. La máxima disponibilidad de la mayoría de los nutrimentos se obtiene cuando el pH del suelo, medido en suelo: agua, se encuentra cercano a la neutralidad entre 6.0 y 6.5. Suelos con pH menor que 6.0 pero sin llegar a 5.5 se consideran de moderada a ligeramente ácidos. Por otro lado suelos con pH entre 6.5 y 7.5 no presentan problemas generales de manejo, a excepción de aquellos que contienen cantidades apreciables de bicarbonato de sodio en la solución del suelo, en cuyo caso pueden presentarse problemas de disponibilidad de hierro. A medida que el pH aumenta se suelen incrementar los problemas de disponibilidad de Zn, Fe, Cu y Mn.



Cuadro 1. Efecto del pH en la disponibilidad de nutrimentos y otros elementos en el suelo (PPI.1997).

Suelos ácidos. Desde el punto de vista de la naturaleza la acidificación del suelo es un proceso natural que desde esta perspectiva no debe verse como un problema ya que las regiones del mundo en donde las condiciones naturales tienden hacia la formación de suelos ácidos, se encuentran también pobladas

por plantas que por selección natural están adaptadas a crecer en estos suelos. Este tipo de suelos ácidos coinciden con los suelos ácidos de la Sierra Negra con muy baja fertilidad y las condiciones climáticas que se caracterizan por una alta humedad y temperaturas de medias a bajas todo el año, permiten el desarrollo satisfactorio de especies vegetales que están adaptadas a crecer en ese tipo de suelo excepto en el perfil 78 con un pH de 7.1 a 7.6 ligeramente alcalino tal vez debido a que el régimen de humedad en la zona es ústico lo que favorece la evapotranspiración por lo tanto, no hay lavado de bases y/o sales, sino que éstas se acumulan en el perfil. El problema verdaderamente preocupante se deriva del hecho de que el hombre requiere cultivar intensamente estos suelos para producir alimentos y así acelera los procesos de degradación, destruyendo primero la vegetación natural y al suelo mismo después.

En las tablas IV.4.10, IV.4.11, IV.4.12, IV.4.13, IV.4.14, IV.4.15, IV.4.16, IV.4.17, IV.4.18, observamos los resultados de pH en H₂O y KCl de los perfiles de la Sierra Negra.

La acidez del suelo es el resultado de seis causas principales; tanto naturales como originadas por el hombre y son: a) Material parental y su relación con el contenido de: Ca²⁺, Mg²⁺, K; b) Lixiviación de bases intercambiables del suelo; c) Remoción de Ca, Mg y K por los cultivos; d) Descomposición de la materia orgánica del suelo; e) Uso de fertilizantes (particularmente de reacción ácida); y f) Lluvia ácida. Siendo la lixiviación de bases en las zonas de alta precipitación pluvial la causa principal de la acidez de los suelos, y que corresponden en forma general a zonas tropicales, particularmente en suelos con baja capacidad de amortiguamiento.

En los reportes del laboratorio, adicionalmente al dato del pH es muy recomendable ver la acidez intercambiable, que es la suma de H y Al que ocupa la CIC del suelo, obtenida mediante el uso de una sal no tamponada como es el KCl. Esta determinación se realiza cuando el pH del suelo es menor de 5.5, o cuando se tiene evidencia de que el suelo contiene cantidades elevadas de aluminio como ocurre en los suelos de origen volcánico o Andosoles.

El aluminio es tóxico para las plantas en general, aunque muchas especies y variedades poseen cierto grado de tolerancia a este elemento. También es

tóxico para los microorganismos del suelo, pues limita la degradación microbiana de la materia orgánica (Alexander, 1980). El pH en el cual los niveles de aluminio alcanzan valores tóxicos depende de la especie vegetal, la variedad de planta, la mineralogía de las arcillas, el contenido de materia orgánica, la presencia de cationes y aniones y de la salinidad total del suelo (Fassbender y Bornemiza, 1987). Es tal la importancia de este efecto que mucha de la investigación en suelos ácidos se centra en el papel del aluminio. Asimismo, los elementos hierro y manganeso pueden encontrarse en cantidades excesivas en la solución de los suelos ácidos y llegar a causar problemas de toxicidad para los organismos.

En la figura 5 se presenta la relación entre el pH y la saturación de Al para varios suelos.

Otro problema nutricional de gran importancia y que ocasiona una gran dificultad en la comprensión del comportamiento de los suelos ácidos está relacionado con el fósforo. El fósforo es tomado por las plantas en forma de iones H_2PO_4^- y HPO_4^- ; sin embargo, a valores bajos de pH estos iones forman compuestos insolubles de hierro y aluminio reduciendo así su presencia en la solución del suelo y provocando deficiencias de P en las plantas. Buena parte de la complejidad del comportamiento del P en el suelo se debe a que los iones H_2PO_4^- y HPO_4^- participan en procesos de adsorción sobre las partículas de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio que son muy abundantes, especialmente en suelos derivados de cenizas volcánicas (Andosoles) y en suelos del trópico húmedo (Oxisoles y Ultisoles). También es importante mencionar que las plantas que naturalmente se desarrollan en suelos tropicales húmedos son capaces de tomar los fosfatos de las soluciones del suelo mucho más diluidas que las plantas cultivadas.

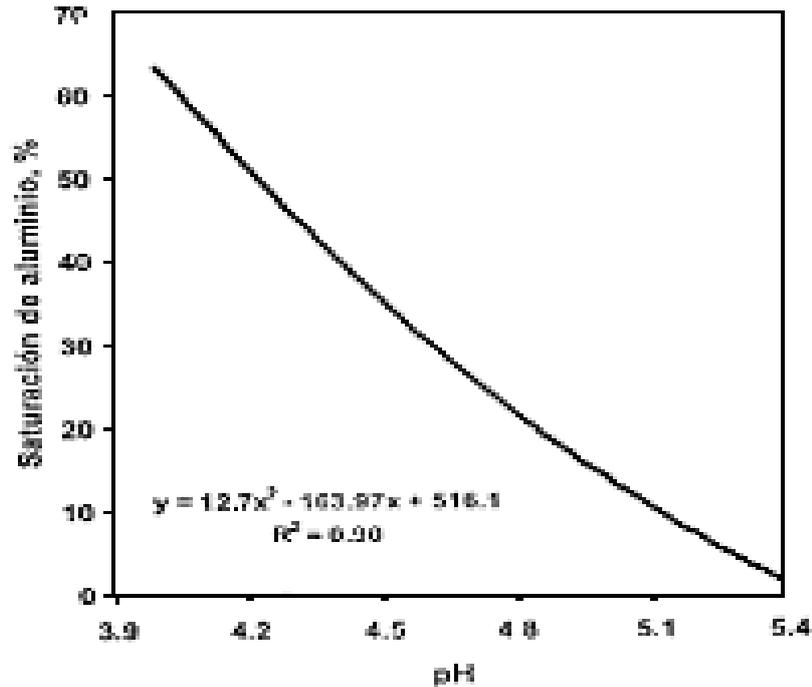


Figura 5. Relación entre el pH y la Saturación de Al para varios Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico (Abruña, *et al.* 1955).

Los suelos ácidos pierden cantidades sustanciales de calcio, magnesio y potasio, elementos esenciales para las plantas y requeridos por ellas en grandes cantidades. En muchos casos, es tan grande la pérdida de ellos que a pesar de que generalmente abundan ampliamente en la naturaleza, se llega al grado de que se agotan en ciertos suelos. Por ejemplo, se ha registrado en diferentes áreas de la cuenca del Papaloapan, Veracruz, hay 330,000 ha de suelos fuertemente afectados por la acidez con valores de pH hasta de 3.9 y extremadamente pobres en Ca, Mg y K.

IV.2.2.1.- pH y Δp

La reacción del suelo, asociada a la magnitud de pH, es el concepto que se refiere a las relaciones de acidez y basicidad del mismo, se trata de una propiedad que afecta tanto las características físicas y químicas como a la vida microbiana (Fassbender y Bornemisza, 1987). Los suelos estudiados mostraron tener propiedades muy fuertemente ácidas y solo el perfil 78 es ligeramente alcalino, pues la diferencia entre la acidez (pH 1:2.5, agua-suelo) y

la acidez intercambiable (pH 1:2.5, KCl-suelo) en una misma muestra de suelo es relativamente pequeña (una unidad de pH); lo cual significa que la cantidad de H^+ y Al^{3+} intercambiable presentes en los suelos es alta y que las posibilidades de toxicidad por Al^{3+} también lo son. Los valores de pH en KCl se encuentran en un rango de pH de 3.7 - 6.4 para los horizontes A; para los horizontes B de 3.6 a 7.0; en agua para los horizontes A, el pH es de 3.5 – 6.8 y de 3.6-7.0, para los horizontes B.

Los valores de ΔpH indican lo siguiente Uehara y Gillman (1981):

- El signo y la magnitud de ΔpH , corresponde al signo y magnitud de la carga superficial
- El valor de $\Delta pH = 0$, positivo, o un valor negativo ($\Delta pH > -0.5$), cercano a cero, indica que el suelo predominante es de carga variable.
- Valores de $\Delta pH < -0.5$, indican que el suelo es de carga permanente.
- En suelos ácidos el valor de ΔpH cercano a cero, da indicios de que la muestra presentará bajos contenidos de aluminio extraíble.

El valor de ΔpH se obtuvo a partir de una simple operación matemática (Uehara y Gillman, 1981): $\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$

De acuerdo con lo anterior los valores ΔpH de de los perfiles estudiados en la Sierra Negra todos dan negativos y por tanto indican que son suelos de carga variable.

IV.4.2.2.- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y porcentaje de saturación de bases (%V). La capacidad de intercambio de cationes es una característica del suelo que se relaciona con su capacidad para retener e intercambiar cationes. Los cationes intercambiables se subdividen en básicos y ácidos. Los básicos son: Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+). También el amonio (NH_4^+) es un catión que es retenido por los coloides del suelo en el sistema de intercambio. Los cationes ácidos son: Aluminio (Al^{3+}) e Hidrógeno (H^+) y en concentraciones bajas pueden también considerarse al Fe^{++} y al (Mn^{2+}). Los cationes básicos y el amonio son nutrimentos que la planta consume del suelo al intercambiarlos por protones (H^+) provenientes del interior de la raíz, a excepción del sodio, el cual se considera un catión que cuando se encuentra en concentraciones excesivas es nocivo para el suelo y las plantas. Los cationes de cambio varían en su facilidad de ser desplazados

por otros cationes. A esta variación en las fuerzas de adsorción de estos cationes se le denomina Serie Liotrópica (Tisdale, *et al.* 1993), de tal manera que la fuerza de adsorción de estos cationes sobre las arcillas del suelo resulta de la siguiente manera. $Al^{3+} > Ca^{2+} = Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$. La CIC del suelo es una medida de la potencialidad del suelo para almacenar nutrimentos. Las dos principales variables que controlan la capacidad de intercambio de cationes son el tipo y cantidad de arcillas y el contenido de materia orgánica humificada del suelo. Las unidades de medición de la CIC son los $cmol(+)/kg$ de suelo. Esta unidad de carga tiene la misma dimensión que la anteriormente usada de $meq/100g$ de suelo. El humus del suelo contiene la más alta CIC, con alrededor de $200\text{ }cmol(+)/kg$ con respecto a las arcillas, las vermiculitas presentan $150\text{ }cmol(+)/kg$, las esmectitas contribuyen con $100\text{ }cmol(+)/kg$, las illitas y cloritas con $30-40\text{ }cmol(+)/kg$ y la caolinita y halloisitas contribuyen con $5-8\text{ }cmol(+)/kg$ (Thomas y Hargrove, 1984; Brady y Weil, 1996). Wolf (1996) indica que la CIC varía con la clase textural, así, las arenas presentan $< 4\text{ }cmol(+)/kg$, los migajones arenosos de 3 a 10, los suelos francos de 8 a 18, los migajones limosos de 10 a 25 y las arcillas y migajones arcillosos presentan de 25 a 50 y los suelos orgánicos presentan de 50 a $200\text{ }cmol(+)/kg$.

En los perfiles estudiados en la Sierra Negra se obtuvieron valores que indican baja capacidad de intercambio catiónico ($<35\text{ }cmol(+)/kg$) para retener e intercambiar cationes, a excepción del perfil 88 donde la CIC en el horizonte A es de $95\text{ }cmol(+)/kg$ esto es debido al gran contenido de materia orgánica (20.8%), como se presenta en las tablas IV.4.10, IV.4.11, IV.4.12, IV.4.13, IV.4.14, IV.4.15, IV.4.16, IV.4.17, IV.4.18.

IV.4.2.3.- Porcentaje de saturación en bases. La saturación de bases, es una propiedad importante de los suelos y se define como el porcentaje de la capacidad de cambio catiónico total ocupada por cationes alcalinos como el calcio, magnesio, sodio y potasio. La saturación de bases está relacionado con el pH y la fertilidad del suelo, a mayor pH mayor fertilidad de un suelo mayor es el grado de saturación de bases. A mayor grado de saturación de bases es mayor la facilidad con que los cationes son absorbidos por las plantas.

$$\text{Porcentaje de saturación de bases: } \%V = \frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}}{\text{CIC}} 100$$

En suelos calizos $V = 100\%$

En zonas húmedas $V < 100\%$

En suelos minerales fuertemente ácidos $\text{pH} < 5.5$ el catión intercambiable más importante es el aluminio en sus distintas formas, seguido del calcio, magnesio y en menor proporción iones H^{+} (Porta, et al. 1999).

IV. 4.2.4.- Materia Orgánica. El contenido de materia orgánica (MO) del suelo es probablemente una de sus principales características. Esta propiedad se asocia con los ciclos de los elementos biógenos nitrógeno, fósforo y azufre, en cuyos ciclos juega un papel importante. Por otro lado, el nivel de materia orgánica también se asocia a la disponibilidad de Fe, Mn, Cu y Zn, por la acción quelante que ejerce debido a ser una fuente de ácidos húmicos y fúlvicos que participan en la fisicoquímica del suelo y en la fisiología de la planta. La materia orgánica es la principal variable que afecta las propiedades físicas del suelo. Los suelos con alto contenido de materia orgánica tienden a presentar mayor conductividad hidráulica, mayor porosidad, menor densidad aparente y menor compactación, lo que se refleja en un medio ambiente propicio para la penetración radicular y, por ende, en su alta fertilidad natural. En los suelos con alto nivel de materia orgánica se pueden lograr los máximos rendimientos alcanzables en la variedad y manejo del cultivo con un clima ideal.

IV. 4.2.4.1.- Efecto de la Materia Orgánica sobre las propiedades físicas del suelo:

Densidad Aparente. Es importante recalcar que esta variable es fuertemente afectada por la textura del suelo. Los suelos de textura gruesa presentan siempre mayor densidad aparente que los de textura fina. Sin embargo, a mayor contenido de materia orgánica presenta menor densidad aparente y por ende mayor porosidad, lo cual favorece el ambiente para el desarrollo de la raíz. Curtís y Post (1964) mostraron que la materia orgánica explicó 92% de la variación de la densidad aparente en suelos de Vermont, EU, los cuales fueron de similar textura. El efecto benéfico de la materia orgánica sobre la disminución de la densidad aparente del suelo se magnifica en suelos con

menor contenido de arcilla (Shaykewich y Zwarich, 1968). El efecto benéfico de la materia orgánica sobre la porosidad del suelo ha sido documentado por un gran número de investigadores (Swader y Stewart, 1972; Baver, 1969; Weil y Kroontje, 1979; Mathers y Stewart, 1980; Ramírez, 1982; Castellanos y Muñoz, 1985; Castellanos y Waiker, 1988; Castellanos *et al.*, 1996, Chenú 1995, Porta, *et al.* 1999). Este es probablemente el efecto más importante de la materia orgánica sobre el ambiente físico del suelo y, por ende, sobre el crecimiento radicular y el desarrollo de las plantas. La influencia del crecimiento de la raíz sobre la absorción de agua y el rendimiento del cultivo está bien documentado (Rosenberg, 1964; Grimes *et al.*, 1975; 1978 Badillo *et al.*, 1999a y Kioepper, 1999). Es obvio que estos efectos serán de mayor intensidad si el ambiente físico del suelo favorece el desarrollo de la raíz. De allí la importancia de tener estrategias de manejo del suelo que tiendan a incrementar la materia orgánica del mismo en el mediano y largo plazo.

Velocidad de difusión de oxígeno (VDO). El nivel de materia orgánica afecta la VDO después de la lluvia. La mayoría de las reacciones biológicas que se realizan en el suelo consumen oxígeno y producen bióxido de carbono. Este proceso general, conocido como la respiración del suelo, hace que la aireación del mismo sea un aspecto vital cuando se considera el crecimiento de las plantas. A esto hay que agregar que en condiciones de escaso suministro de oxígeno se favorecen las pérdidas de nitrógeno por el fenómeno de desnitrificación. Por otro lado, condiciones limitativas de oxígeno pueden propiciar la formación de compuestos tóxicos en la planta y en condiciones extremas, períodos prolongados de anoxia pueden ocasionar la muerte de la planta. Castellanos (1985b) mostró el efecto benéfico de la materia orgánica sobre el aumento en la VDO de un suelo con problemas de infiltración en el cultivo de alfalfa obteniendo aumentos significativos en el rendimiento, principalmente debido al aumento de la VDO después del riego con relación a las parcelas que no recibieron la adición de materia orgánica Castellanos y Waiker, (1988).

Penetrabilidad. La materia orgánica favorece el crecimiento radicular al disminuir la resistencia a la penetración de las raíces en el suelo, tal como lo han demostrado Russel *et al.*, (1952), Mathers y Stewart (1980), Ramírez (1982) y Castellanos y Waiker (1988).

Estabilidad Estructural. Las partículas de suelo se encuentran agregadas mediante enlaces químicos y factores tales como: contenido y tipo de arcilla, materia orgánica, compuestos cementantes, presencia relativa de iones intercambiables, presencia de polisacáridos microbianos, así como el ambiente del suelo determinan la cantidad y estabilidad de los agregados. La Estructura del suelo según Montenegro (1991) tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo, en determinados casos, un factor limitante en la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana, el impedimento para el desarrollo de las raíces, etc; por el contrario, una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen eficientemente y se obtengan, en consecuencia, los mayores rendimientos de las cosechas. Un suelo con número reducido de agregados estables tendrá negativos efectos sobre su espacio poroso y sobre sus características de aireación e infiltración Russell, (1973). Varios investigadores han reportado el efecto benéfico de la materia orgánica sobre el incremento de la estabilidad de los agregados Martín, (1971); Unger y Stewart, (1974); Weil y Kroontje, (1979); Ramírez, (1982); y Castellanos, (1985b).

Humedad Disponible. La humedad disponible se incrementa como resultado de la adición de materia orgánica al suelo, tal como lo han documentado (Salter y Haworth (1961); Bunting (1965); Unger y Stewart (1974); Weil y Kroontje (1979); y Ramírez (1982).

Permeabilidad del Suelo. La infiltración y la permeabilidad están íntimamente relacionadas con el tamaño de los poros y la estabilidad de las unidades estructurales del suelo. En suelos con grietas grandes la infiltración inicial puede ser grande, pero se reduce a un valor muy bajo al mojarse (Castellanos et al., 1989a). La permeabilidad del suelo y su velocidad de infiltración se favorece notablemente mediante la aplicación de materia orgánica (Cross y Fishback, 1973; Stewart y Meek, 1977; Castellanos y Muñoz, 1985).

Pérdida de Agua por Evaporación. Un suelo con buen nivel de materia orgánica y, por ende, con buena estructura tiende a reducir la velocidad de evaporación (Unger y Stewart, 1974; Castellanos, 1985).

Efecto Sobre la Disponibilidad de Nutrientos. La materia orgánica es una fuente de nutrientes, tales como nitrógeno, fósforo, azufre y actúa también como agente quelante de micronutrientes, tales como el Fe y Mn y como fuente de ácidos húmicos y fúlvicos que en algunos casos pueden afectar la fisiología de la planta.

Efecto Sobre la Actividad Microbiana. La materia orgánica funciona como fuente de carbono para que se lleven una serie de transformaciones en el suelo en las que actúan los microorganismos, utilizándola como fuente de energía. Los microorganismos heterótrofos que actúan al nivel de la rizósfera y que favorecen la solubilización de nutrientes requieren de materia orgánica para reproducirse más activamente. En condiciones de altos niveles de materia orgánica en el suelo, la inoculación con microorganismos tiene más posibilidades de ser exitosa, pues pueden colonizar más rápidamente en el medio que se encuentran. Por otro lado, la fijación asociativa de nitrógeno llevada a cabo por bacterias del género *Azotobacter* y otras especies asociativas deben su capacidad de fijación de nitrógeno a la disponibilidad de carbono orgánico para poder funcionar a niveles de importancia para las plantas.

IV.4.2.4.2.- Descomposición de la Materia Orgánica. La materia orgánica nativa del suelo y altamente humificada presenta en general bajos niveles de mineralización, los cuales se ven afectados por el manejo de la labranza, temperatura, humedad, aireación y contenido de arcilla. Los primeros factores favorecen su descomposición y a mayor contenido de arcilla se reduce la tasa de descomposición en relación con los suelos de textura gruesa. La tasa de descomposición del humus o materia orgánica nativa del suelo, varía de 1 a 2 % anual, dependiendo del manejo que se le da al suelo. Los sistemas de labranza intensiva tienden a presentar tasas de mineralización de la materia orgánica altas, mientras que en los sistemas de labranza de conservación las tasas de descomposición son más bajas (Meek *et al.*, 1982; Castellanos *et al.*, 1996).

IV.4.2.5.- Interpretación de resultados de laboratorio. Para fines de interpretación de los niveles de materia orgánica del suelo se deben tomar en cuenta: a) El clima, que incluye temperatura y humedad del suelo, b) La presencia de minerales amorfos como el alofano, el cual ocurre en los suelos

volcánicos, c) La cantidad y tipo de arcillas, c) El manejo y d) La profundidad del muestreo.

Para el caso de la Sierra Negra contiene niveles altos de materia orgánica debido a la alta actividad del aluminio que reduce la actividad microbiana y, por ende, las tasas de descomposición de la materia orgánica excepto en el perfil 97 que tiene 0.95% Tablas IV.4.10, IV.4.11, IV.4.12, IV.4.13, IV.4.14, IV.4.15, IV.4.16, IV.4.17, IV.4.18.

En los suelos estudiados en este trabajo, el Horizonte A del perfil 88 y del perfil 82 presentaron altos contenido de materia orgánica (20 %), seguido del horizonte A del perfil 89 con 16%, los perfiles 64, 70, 84 y 90 presentaron en promedio para su respectivo horizonte A menos del 8% de materia orgánica. El resto de los perfiles presentan menos del 1% de M.O, perfiles 78 y 97.

Tabla IV.4.1. Resultados de las propiedades físicas del perfil 64, Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.

Hor.	Prof. cm.	Color		D.A. Mg.m ⁻³	D.R. Mg.m ⁻³	Arena g.kg ⁻¹	Limo	Arcilla	Textura
		Seco	Húmedo						
A	0 - 6	2.5YR5/2	2.5YR3/2	0.6	1.7	36.7	293	340	Franco arcillosa
AB	6 - 18	2.5YR6/ 1	2.5YR4/2	1.1	2.3	20.0	360	44.0	Arcillosa
B ₁	18 - 32	2.5YR6/6	2.5YR4/8	1.3	2.2	14.7	253	600	Arcillosa
B ₂	32 - 40	2.5YR6/6	2.5YR4/8	1.3	2.2	16.0	220	620	Arcillosa
Bt ₃	40 - 78	2.5YR5/8	2.5YR4/8	1.2	1.2	12.0	120	760	Arcillosa
B ₄	78 - 92	2.5YR6/8	2.5YR4/8	1.2	2.3	12.0	200	680	Arcillosa

**Tabla IV.4.2. Resultados de las propiedades físicas del perfil 70,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof. cm.	Color		D.A. Mg.m ⁻³	D.R. Mg.m ⁻³	Arena g.kg ⁻¹	Limo g.kg ⁻¹	Arcilla g.kg ⁻¹	Textura
		Seco	Húmedo						
A	0 - 12	2.5YR4/4	2.5YR2.5/4	0.9	2.1	400	220	380	Franco arcillosa
B ₁	12 - 36	2.5YR5/6	2.5YR3/6	1.0	2.4	160	100	740	Arcillosa
Bt ₂	36 - 94	2.5YR5/8	2.5YR3/6	1.0	2.2	120	140	740	Arcillosa
B ₃	94 - 140	2.5YR4/8	2.5YR3/6	1.0	2.4	140	120	740	Arcillosa
B ₄	140 - 185	2.5YR4/8	2.5YR4/6	1.0	2.3	220	120	660	Arcillosa
B ₅	185 - 210	2.5YR6/8	2.5YR4/8	1.1	2.3	220	160	620	Arcillosa

**Tabla IV.4.3. Resultados de las propiedades físicas del perfil 78,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof. cm.	Color		D.A. Mg.m ⁻³	D.R. Mg.m ⁻³	Arena g.kg ⁻¹	Limo g.kg ⁻¹	Arcilla g.kg ⁻¹	Textura
		Seco	Húmedo						
A	0 - 12	10YR 5/3	10YR 3/3	0.9	2.4	502	260	238	Franco areno arcillosa
AB	12 - 30	10YR 6/3	10YR 4/3	1.0	2.4	482	240	278	Franco arcillo arenoso
B ₂	30 - 45	10YR 7/2	10YR 5/3	1.0	2.3	502	240	258	Franco arcillosa arenoso
C	45 - 55	10YR 7/3	10YR 5/4	1.3	2.5	622	240	138	Franco arenoso
R	55+								

**Tabla IV.4.4. Resultados de las propiedades físicas del perfil 82,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof. cm.	Color		D.A. Mg.m ⁻³	D.R. Mg.m ⁻³	Arena g.kg ⁻¹	Limo g.kg ⁻¹	Arcilla g.kg ⁻¹	Textura
		Seco	Húmedo						
A	0 - 9	7.5YR6/4	7.5YR3/4	1.0	2.3	540	220	240	Franco arcillosa
AB	9 - 32	7.5YR8/4	7.5YR5/4	1.3	2.5	327	407	266	Franco
B	32 - 74	7.5YR6/6	7.5YR5/6	1.0	2.2	467	120	413	Franco arcillosa
C	74 - 115	7.5YR6/6	7.5YR4/6	1.1	2.3	347	247	406	Arcillosa
R	115+								

**Tabla IV.4.5. Resultados de las propiedades físicas del perfil 85,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof. cm.	Color		D.A. Mg.m ⁻³	D.R. Mg.m ⁻³	Arena g.kg ⁻¹	Limo g.kg ⁻¹	Arcilla g.kg ⁻¹	Textura
		Seco	Húmedo						
A	0 - 5	10YR5/2	10YR5/3	0.3	1.3	387	373	240	Franca
AB	5 - 8	10YR5/1	10YR4/1	0.7	1.6	300	360	340	Franco arcillosa
B	8 - 14	10YR6/4	10YR5/4	0.9	2.4	307	367	326	Franco arcillosa
C	14 - 25	10YR5/6	10YR5/6	0.8	2.4	361	197	442	Arcillosa
R	25+								

**Tabla IV.4.6. Resultados de las propiedades físicas del perfil 88,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	Color		D.A.	D.R.	Arena	Limo	Arcilla	Textura
		Seco	Húmedo						
	cm.			Mg.m ⁻³	Mg.m ⁻³	g.kg ⁻¹			
A	0 - 5	7.5YR5/2	7.5YR3/4	0.4	1.3	580	247	173	Franco arenosa
AB	5 - 8	10YR6/3	10YR3/4	1.1	2.1	650	160	190	Franco arcillosa
R	8+								

**Tabla IV.4.7. Resultados de las propiedades físicas del perfil 89,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	Color		D.A.	D.R.	Arena	Limo	Arcilla	Textura
		Seco	Húmedo						
	cm.			Mg.m ⁻³	Mg.m ⁻³	g.kg ⁻¹			
A	0 - 20	2.5YR5/2	2.5YR3/4	0.8	1.9	219	361	420	Arcillosa
AB	20 - 34	2.5YR5/4	2.5YR3/2	0.8	2.0	240	300	460	Arcillosa
Bt	34 - 54	2.5YR7/4	2.5YR4/4	0.9	2.1	180	320	500	Arcillosa
C ₁	54 - 118	2.5YR8/6	2.5YR5/6	1.6		180	240	580	Arcillosa
C ₂	118 - 140	2.5YR7/4	2.5YR5/6	1.4	2.2	320	300	380	Franco arcillosa
R	140+								

**Tabla IV.4.8. Resultados de las propiedades físicas del perfil 90,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof. cm.	Color		D.A. Mg.m ⁻³	D.R. Mg.m ⁻³	Arena g.kg ⁻¹	Limo	Arcilla	Textura
		Seco	Húmedo						
A	0 - 23	7.5YR5/2	7.5YR3/2	0.7	1.3	56.0	240	260	Franco arcillosa arenoso
AB	23 - 30	7.5YR7/4	7.5YR3/4	0.9	2.2	54.0	200	260	Franco arcillosa arenoso
R	30+								

**Tabla IV.4.9. Resultados de las propiedades físicas del perfil 97,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof. cm.	Color		D.A. Mg.m ⁻³	D.R. Mg.m ⁻³	Arena g.kg ⁻¹	Limo	Arcilla	Textura
		Seco	Húmedo						
A	0 - 15	7.5YR7/4	7.5 YR4/5	0.9	1.9	240	20	740	Arcillosa
B _t	15 - 31	7.5YR7/4	7.5 YR4/6	1.2	2.2	200	20	780	arcillosa
C ₁	31 - 51	7.5YR8/4	7.5 YR6/8	1.3	2.3	180	180	640	Arcillosa
C ₂	51 - 120	7.5YR8/6	7.5YR5/8	1.1	2.3	200	160	540	Arcillosa

**Tabla IV.4.10. Resultados de las propiedades químicas del perfil 64,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)							
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
A	0 - 6	39	7.6	6.9	0.7	0.5	0.17	1.5	0.5	24.5	10.9
AB	6 - 18	27	7.8	6.7	1.1	2.7	0.7	3.7	0.3	33.0	22.4
B ₁	18 - 32	8	6.6	5.6	1.0	1.2	0.4	1.5	1.2	34.0	12.6
B ₂	32 - 40	6	6.4	5.5	0.9	3.3	0.7	1.4	0.2	16.6	33.7
Bt ₃	40 - 78	-	6.0	5.1	0.9	5.3	0.3	1.0	0.3	22.2	31.0
B ₄	78 - 92	-	6.7	5.3	1.4	4.5	0.7	1.4	0.3	26.1	26.4

**Tabla IV.4.11. Resultados de las propiedades químicas del perfil 70,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)							
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
A	0 - 12	42	5.1	4.3	0.8	1.1	0.3	1.4	3.2	23.8	25.2
B ₁	12 - 36	8	5.0	3.6	1.4	2.4	0.3	0.8	2.8	30.8	29.2
Bt ₂	36 - 94	6	4.6	3.9	0.7	4.8	0.1	0.66	0.4	15.0	39.7
B ₃	94 -140	6	5.0	3.8	1.2	3.7	0.5	1.1	0.7	22.0	27.2
B ₄	140 -185	-	4.9	4.0	0.9	3.1	0.1	1.9	0.5	17.6	31.6
B ₅	185 -210	-	5.0	3.5	1.5	1.1	0.1	1.1	1.2	50.1	7.0

**Tabla IV.4.12. Resultados de las propiedades químicas del perfil 78,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)							
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
A	0 - 12	12	7.1	7.0	0.1	7.4	0.1	1.1	0.8	22.8	41.2
B ₁	12 - 30	-	7.5	7.1	0.4	7.6	0.1	0.9	0.4	18.4	48.9
B ₂	30 - 45	-	7.5	7.2	0.3	8.4	0.1	1.2	0.3	11.2	89.3
C	45 - 55	-	7.6	7.1	0.5	8.0	0.1	0.9	0.3	10.0	93.0
R	55+										

**Tabla IV.4.13. Resultados de las propiedades químicas del perfil 82,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)							
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
A ₁	0 - 9	117	7.7	6.9	0.8	5.0	0.1	1.2	0.5	20.3	33.5
AB	9 - 32	43	4.7	3.4	1.3	4.4	0.3	1.6	0.6	25.6	27.0
B	32 - 74	25	5.2	3.4	1.8	0.4	0.2	0.8	0.5	16.4	11.6
C	74 - 115	36	5.6	3.9	1.7	0.5	0.3	0.8	0.3	16.2	11.7
R	115+										

**Tabla IV.4.14. Resultados de las propiedades químicas del perfil 85,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)							
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
A	0 - 5	29	4.2	3.6	0.6	0.5	0.2	0.7	0.2	14.4	11.1
AB	5 - 8	9	3.7	3.1	0.6	3.0	0.9	2.3	0.3	27.0	24.0
B	8 - 14	6	4.2	3.6	0.6	4.0	0.3	0.7	0.6	26.3	21.3
C	14 - 25	-	3.7	3.0	0.7	1.1	0.1	1.1	0.2	12.4	20.2
R	25+										

**Tabla IV.4.15. Resultados de las propiedades químicas del perfil 88,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)							
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
A	0 - 5	120	3.7	3.0	0.7	4.1	1.5	1.6	1.3	96.5	8.8
AB	5 - 8	47	3.3	2.8	2.4	0.8	0.2	0.5	0.6	26.8	7.8
R	8+										

**Tabla IV.4.16. Resultados de las propiedades químicas del perfil 89,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)	ΔpH						
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
A	0 – 20	95	5.1	4.8	0.3	4.8	0.2	1.1	0.9	18.7	37.4
AB	20 - 34	37	6.1	5.7	0.4	3.8	0.1	1.2	0.3	15.2	35.52
Bt	34 - 54	16	6.4	5.3	1.1	4.6	0.7	1.4	0.3	24.5	28.6
C ₁	54 - 118	6	6.7	5.0	1.7	7.3	0.2	2.2	0.3	12.6	79.4
C ₂	118 - 140	-	7.4	7.2	0.2	6.4	0.7	1.4	0.2	9.2	94.6
R	140+										

**Tabla IV.4.17. Resultados de las propiedades químicas del perfil 90,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)	ΔpH						
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹					
A	0 - 23	40	4.3	3.6	0.7	1.17	1.0	1.2	0.3	20.7	17.7
AB	23 – 30	-	4.9	3.9	1.0	0.63	0.1	0.8	0.6	26.8	7.9
R	30+										

**Tabla IV.4.18. Resultados de las propiedades químicas del perfil 97,
Región de la Sierra Negra, Estado de Puebla.**

Hor.	Prof.	C.O.	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% Sat. (Bases)
			H ₂ O	KCl (1N pH=7)							
	cm.	g.kg ⁻¹	2:1(Agua :suelo)			Cmol(+)kg ⁻¹					
A	0 - 15	0.5	4.9	3.7	1.2	1.8	0.4	1.5	0.3	25.8	15.5
B _t	15 - 31	-	4.9	4.1	0.8	1.8	0.2	0.6	0.6	21.2	13.7
C ₁	31 - 51	-	4.9	3.7	1.2	4.7	0.8	1.2	0.4	34.0	20.9
C ₂	51 - 120	-	4.6	3.9	0.7	5.2	0.7	1.2	1.0	39.5	20.5

IV.5 Clasificación de suelos

IV.5.1 Clasificación de suelos Soil Taxonomy

Para clasificar los suelos con base a los criterios establecidos en el sistema de clasificación taxonómica "Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006), se recurrió al libro de claves en su décima edición.

Con base a la clave los perfiles número **64, 70 y 97**, se debe destacar la presencia de un horizonte argílico, con saturación en bases menor del 35% en la mayor parte de su profundidad, por lo que calificarían como Ultisoles; los suelos no presentan condiciones ácuicas en ningún periodo del año, los horizontes argílicos tienen menos del 0.9% de carbono orgánico en sus primeros 15 cm. de espesor y con base en los resultados de análisis de los climogramas correspondientes, presentan un régimen de humedad údico, por lo que son Udults; no presentan plintita ni fragipan, no presentan un contacto lítico, paralítico o petroférico, su capacidad de intercambio catiónico en la mayor parte de los horizontes es mayor de 16%; no tienen una disminución de arcilla con el incremento de la profundidad del 20% del máximo contenido de arcilla, ni el 5% o más por volumen de esqueletanos sobre las caras de los agregados en la capa que tiene 20% de contenido de arcilla, finalmente los

epipedones no tienen una intensidad de color en húmedo de 3 o menos en todo su espesor por lo que solo pueden calificar como Hapludults (Figura IV.5.1).

Clasificación de los Perfiles 64,70 y 97	
Epipedón	Ocrico
Horizonte de diagnóstico	Argílico
Orden	Ultisol
Suborden	Udults
Gran Grupo	Hapludults
Subgrupo	Typic Hapludults

El perfil 78, presenta un horizonte de diagnóstico Cámbico, con las siguientes características:

Tiene una estructura de suelo granular muy suelta, la materia orgánica solo se pudo cuantificar en los primeros 12 cm, y en el resto del perfil el método no tuvo sensibilidad para cuantificarla con el incremento de la profundidad, no muestra condiciones ácuicas por algún tiempo en la mayoría de los años, o drenaje artificial y propiedades que no cumplen los requisitos para un horizonte argílico, kándico, óxico o espódico.

De acuerdo a la Soil Taxonomy se clasificaría como Inceptisol, por tener un horizonte cámbico; y presentar un epipedón ócrico sería un Ochrept, con base en los resultados del análisis de los climogramas correspondientes, presenta un régimen de humedad Ústico por esto sería Ustochrept y por no presentar un contacto lítico dentro de los primeros 50cm de la superficie del suelo mineral y entraría en el subgrupo Typic Ustochrepts. (Figura IV.5.1).

Clasificación para el Perfil 78	
Epipedón	Ócrico
Horizonte de Diagnóstico	Cámbico
Orden	Inceptisol
Suborden	Ochrepts
Grade Grupo	Ustochrepts
Subgrupo	Typic Ustochrept

Para el perfil número 82, con presencia de un horizonte de diagnóstico Kándico y una saturación en bases menor del 35% en la mayor parte de su profundidad, por lo que calificaría como Ultisol; estos suelos no presentan condiciones ácuicas en ningún periodo del año, los horizontes argílicos tienen menos del 0.9% de carbono orgánico en sus primeros 15 cm. de espesor y con base en los resultados del análisis de los climogramas correspondientes, presentan un régimen de humedad údico, por lo que son Udufts; al no presentar plintita ni fragipan, ni un contacto lítico, paralítico o petroférico, con capacidad de intercambio catiónico en la mayor parte de los subhorizontes es mayor de 16%; no tienen una disminución de arcilla con el incremento de la profundidad del 20% del máximo contenido de arcilla, ni el 5% o más por volumen de esqueletos sobre las caras de los agregados en la capa que tiene 20% de contenido de arcilla, finalmente el epipedón tiene una intensidad de color en húmedo de 3 o mayor en todo su espesor por lo que solo pueden calificar como Kandiodults (Figura IV.5.1).

Clasificación para el Perfil 82	
Epipedón	Umbrico
Horizonte de diagnóstico	Kándico
Orden	Ultisol
Suborden	Udufts
Gran Grupo	Kandiodults
Subgrupo	Typic Kandiodults

El perfil 85, tiene un horizonte Cámbico; un horizonte de alteración que carece de las propiedades que satisfacen las exigencias de un horizonte B árgico, o espódico; no presenta colores oscuros, ni el contenido en materia orgánica y las estructuras del horizonte hístico, o de los horizontes A móllico y úmbrico; presentando las propiedades siguientes:

Tiene un decremento en la cantidad de materia orgánica con el incremento de la profundidad, presenta una textura franco arcillosa estructura moderadamente desarrollada, no muestra condiciones ácuicas por algún tiempo en la mayoría

de los años, o drenaje artificial y propiedades que no cumplen los requisitos para un horizonte argílico, kándico, óxico o espódico.

De acuerdo a la Soil Taxonomy por presentar un horizonte Cámbico, clasifica en el Orden Inceptisol, y por tener un epipedón ócrico caería en el suborden Ochrepts. Por tanto, se ubica en el Gran Grupo como Dystrochrepts y por presentar un contacto lítico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral sería un Lithic Dystrochrept (Figura IV.5.1).

Clasificación para el Perfil 85	
Epipedón	Ócrico
Horizonte de diagnóstico	Cámbico
Orden	Inceptisol
Suborden	Ochrepts
Gran Grupo	Dystrochrepts
Subgrupo	Lithic Dystrochrept

Perfil número 88, corresponde a los suelos poco evolucionados, por presentar un horizonte ócrico, y al estar formado directamente sobre roca dura, con muy escasa profundidad (menos de 10 cm) para la Soil Taxonomy se clasifica como Entisol, se clasificaría en el suborden como Orthents; con base en los resultados del análisis de los climogramas correspondientes, presenta un régimen de humedad Údico por esto estaría en el Gran Grupo Udorthent y por presentar un contacto lítico dentro de los 50cm de la superficie del suelo mineral entrarían en el subgrupo como Lithic Udorthent (Figura IV.5.1).

Clasificación para el Perfil 88	
Epipedón	Ocrico
Orden	Entisol
Suborden	Orthents
Gran Grupo	Udorthents
Subgrupo	Lithic Udorthent

El Perfil número 89, presenta un epipedón Úmbrico, con un horizonte iluvial que contiene gran cantidad de arcilla de 40 a 60 % en la fracción de tierra fina, el contenido de arcilla en el horizonte es mayor en un 8% o más que en el horizonte eluvial y el espesor del horizonte argílico es un décimo o más del espesor de todos los horizontes suprayacentes, por lo tanto se clasifica como un horizonte Argílico; además se localizan concreciones de hierro en los agregados del suelo, este suelo no presenta condiciones ácuicas en ningún periodo del año, no tiene una capa encima de un contacto lítico o paralítico entre 50 cm de la superficie del suelo mineral por tanto se clasificaría como Alfisol; con base a los resultados de los climogramas correspondientes presenta un régimen de humedad údico y un régimen de temperatura térmico, por lo que sería un Udalf; además no presenta plintita ni fragipan, por estas condiciones es un Typic Hapludalf (Figura IV.5.1).

Clasificación para el Perfil 89	
Epipedón	Umbrico
Horizonte de diagnóstico	Argílico
Orden	Alfisol
Suborden	Udalf
Grade Grupo	Hapludalfs
Subgrupo	Typic Hapludalfs

El Perfil número 90, se localiza en una capa encima de un contacto lítico o paralítico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, tiene un epipedón úmbrico y un endopedón Cámbico. De acuerdo a la Soil Taxonomy este perfil por presentar un horizonte Cámbico, clasifica en el Orden Inceptisol, y por tener un epipedón úmbrico caería en el suborden Umbrepts y por no presentar otro carácter de diagnóstico, entraría en el Gran Grupo Haplumbrepts, la presencia de un contacto lítico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral le otorga una propiedad diagnóstica para clasificarlo como Lithic Haplumbrepts (Figura IV.5.1).

Clasificación para el Perfil 90	
Epipedón	Úmbrico
Horizonte de diagnóstico	Cámbico
Orden	Inceptisol
Suborden	Umbrepts
Gran Grupo	Haplumbrepts
Subgrupo	Lithic Haplumbrept

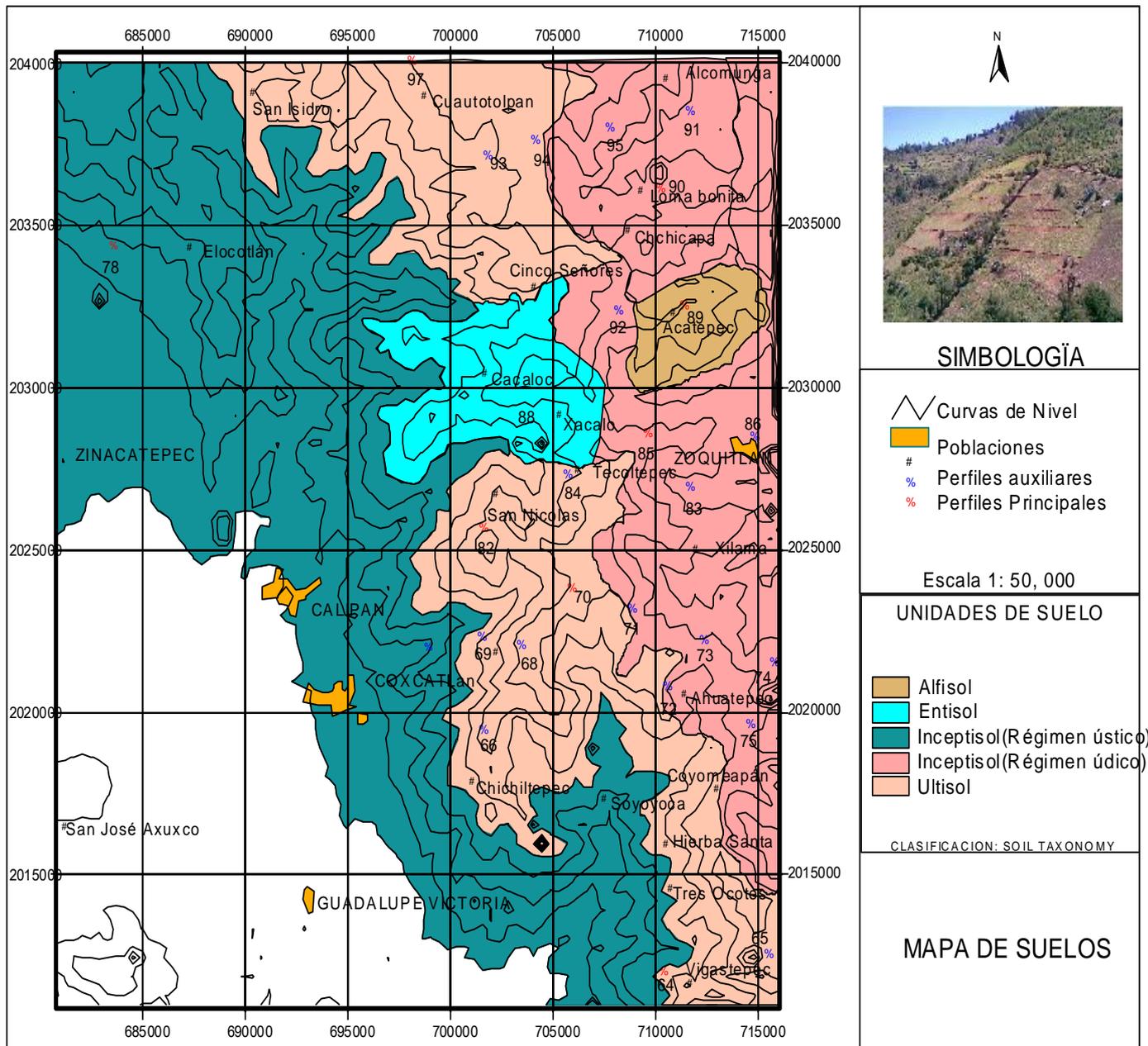


Figura IV.5.1 Mapa de suelos según la Soil Taxonomy 2006 (Digitalizado por Edgardo Torres Trejo).

IV.5.2 Clasificación de los suelos WRB

Para clasificar los suelos con base a los criterios establecidos en el sistema de clasificación taxonómica “World Reference Base for Soil Resources”, se recurrió a los Grupos de suelos de referencia según la WRB 2009.

Los Perfiles 64, 70, 82 y 97 Tienen en el horizonte Bt evidencias de transporte de minerales de arcilla de la parte superior a la parte inferior del perfil, no tienen lenguas albelúvicas y tienen un horizonte de diagnóstico *árgico*, que tiene una capacidad de intercambio catiónico (por NH₄OAc 1M) menor de 24 cmol_ckg⁻¹ de arcilla en alguna parte, comenzando dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo y una saturación con bases (por NH₄OAc 1M) menor de 50 por ciento en la mayor parte entre 25 y 100 cm; en la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, por tener estas características clasificarían como **Acrisoles** y por tener un horizonte *árgico* en el cual la distribución de arcilla es tal que el contenido de arcilla no disminuye en más del 20 por ciento (relativo) de su máximo dentro de los 150 cm desde la superficie del suelo, entra dentro de el calificador **Profúndico** (Figura IV.5.2).

Clasificación: Acrisol Profúndico

Perfil 78 tiene un régimen de humedad ústico, presenta un horizonte cámbico y tienen una saturación en bases (por NH₄OAc 1 M) menor de 50 por ciento en alguna parte dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo por lo que se clasificaría como **Cambisol** y por presentar una roca dura continua entre 25 y 100 cm desde la superficie del suelo le ubica con un calificador **Léptico** y por tener roca entre 50 y 100 cm desde la superficie del suelo sería **Endoléptico** (Figura IV.5.2).

Clasificación: Cambisol Endoléptico

Los perfiles **85 y 90** tienen un régimen de humedad údico y por presentar un horizonte cámbico y tener una saturación en bases (por $\text{NH}_4\text{OAc } 1 \text{ M}$) menor de 50 por ciento en alguna parte dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo por lo que se clasificaría como **Cambisol** y por presentar roca dura continua entre 25 y 100 cm desde la superficie del suelo, entra dentro de las unidades de nivel inferior se le ubica con un calificador **Léptico** y por tener roca entre 25 y 50 cm desde la superficie del suelo sería **Epiléptico** (Figura IV.5.2).

Clasificación: Cambisol Epiléptico

El perfil **89** tiene un horizonte árgico con una capacidad de intercambio catiónico (por $\text{NH}_4 \text{ OAc } 1 \text{ M}$) igual o mayor a $24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de arcilla en todo su espesor y saturación de bases (en $\text{NH}_4\text{OAc } 1 \text{ M}$) de 50 por ciento o más a través del horizonte B hasta una profundidad de 100 cm, por lo que se clasificaría como un **Luvisol** y por tener un horizonte *árgico* en el cual la distribución de arcilla es tal que el contenido de arcilla no disminuye en más del 20 por ciento (relativo) de su máximo dentro de los 150 cm desde la superficie del suelo, sería **Profúndico** (Figura IV.5.2).

Clasificación: Luvisol Profúndico

Perfil 88 Tiene un horizonte ócrico estando limitados en profundidad por roca dura continua dentro de los 25 cm desde la superficie del suelo, por lo que se clasificaría como **Leptosol** y por tener roca dura continua dentro de los 10 cm desde la superficie del suelo, le corresponde el prefijo **Lítico** y por tener roca que está fracturada con fisuras menores de 10 cm permitiendo que las raíces penetren hasta la roca subyacente sería **Paralítico** (Figura IV.5.2).

Clasificación: Leptosol Paralítico

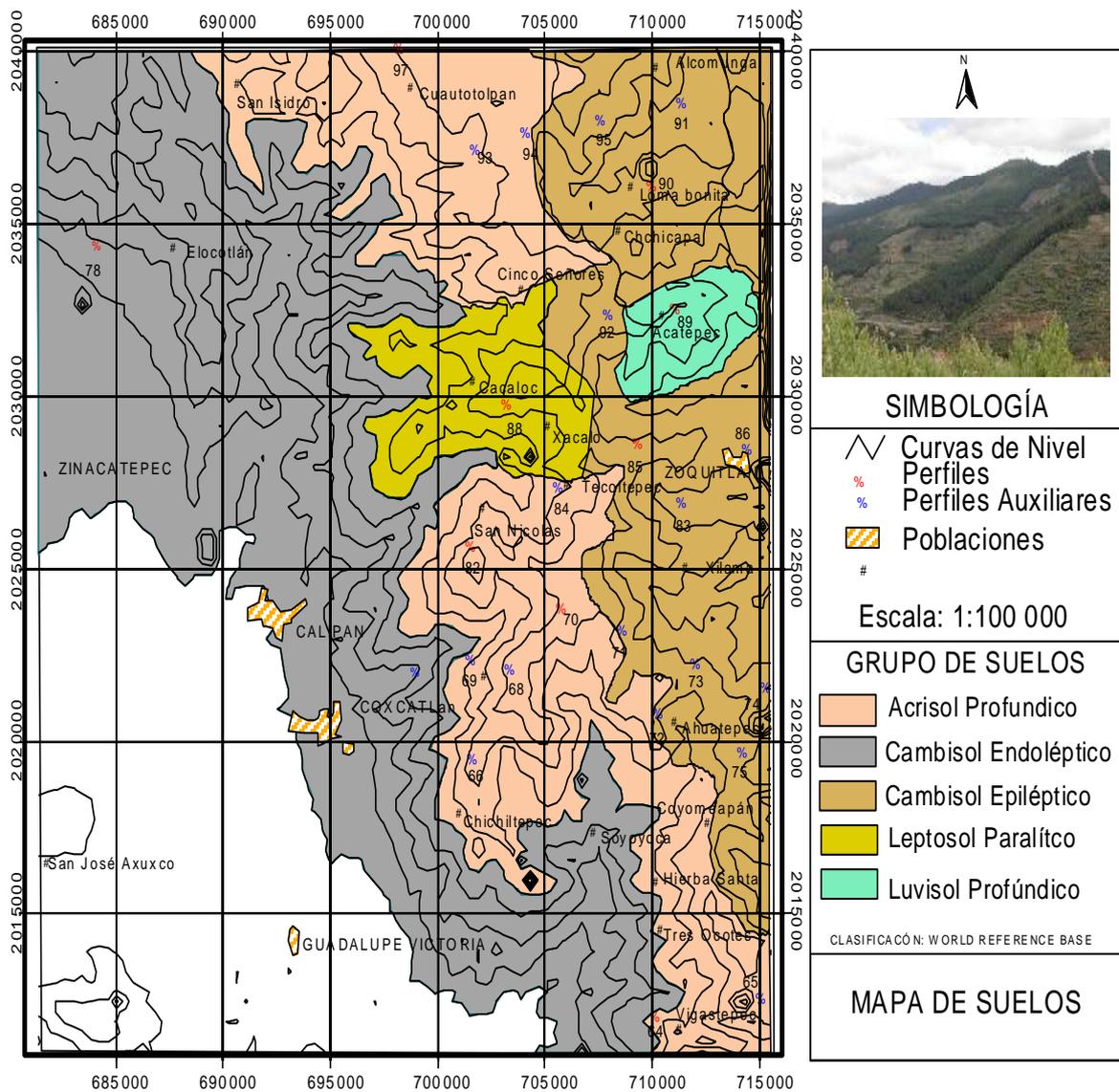


Figura IV.5.2 Mapa de suelos según la WRB 2006 (Digitalizado por Edgardo Torres Trejo).

V.- Conclusiones y Recomendaciones

V.1.- Evaluación de las condiciones climáticas

- De acuerdo con los climogramas complementarios en la zona de la Sierra Negra se presenta desde una escasa a nula deficiencia de agua para la vegetación natural y los cultivos a partir de los 2400 a 2700 msnm y de 2400 hacia las partes bajas alrededor de 900 msnm existe una gran deficiencia de humedad.
- En la Sierra Negra se presentan dos climas, en la parte Noreste es una zona templada subhúmeda con lluvias en verano, en el sur y oeste se ubica la zona semiseca y semicálida con lluvias en verano. La diferencia entre las temperaturas es de aproximadamente de 2 grados, ya que solo se presentan variaciones en la temperatura entre 15°C – 18°C y 18°C – 22°C de cada uno de ellos.
- La precipitación media anual varía de 400 a 500 mm en la parte oeste y sur y de 1000 a 2300 mm a en la parte noreste de la Sierra Negra.
- Existe la probabilidad de que se presenten algunos días de heladas en los meses de noviembre a febrero para la zona húmeda y para la zona cálida las heladas se presentan constantemente en los meses de noviembre a febrero, esto debe ser considerado en la planeación de prácticas agrícolas.
- Los Regímenes de Temperatura de los suelos de la Sierra Negra son Térmicos.
- Los Regímenes de Humedad de los suelos de La Sierra Negra son údicos en la parte norte y este y ústicos hacia sur y oeste, debido a que los primeros se localizan al noreste de la sierra donde la humedad que viene del Golfo choca con las montañas en esa parte y retienen humedad, mientras que para los segundos cambia totalmente porque las montañas sirven como pantalla evitando el paso de la humedad para la parte sur y oeste ocasionando un cambio drástico.

V.2.- Características edáficas de la Sierra Negra.

- En la zona de estudio se presenta una gran diversidad de suelos, todos ellos sometidos en diferente grado a procesos de degradación.
- Los procesos de degradación de los suelos en la zona son catalizados por las actividades antropogénicas que han determinado los diferentes usos del suelo, sin tomar en cuenta su potencialidad.
- Se identificaron 4 Órdenes de suelo: Alfisoles, Entisoles, Inceptisoles y Ultisoles de régimen údico que se localizan en la parte central y este de la sierra y un Inceptisoles de régimen ústico que se localizan en la parte sur y oeste.
- La mayoría de los suelos de la Sierra Negra son de carga variable puesto que en ellos dominan las arcillas con carga variable.
- De los Inceptisoles unos son de régimen údico los perfiles 85 y 90 estos localizados en las poblaciones de Zanjatitla, Pue., y Chichicapa, Pue., respectivamente, estos suelos están en una zona boscosa y están bien conservados, potencialmente susceptibles a erosión hídrica ocupando el 12.12% del área total de la sierra. Los Inceptisoles de régimen ústico (perfil 78 Ahuatla, Pue) se encuentran en una zona de vegetación de matorral xerófilo, con elevadas pendientes y ocupan el primer lugar en importancia en cuanto a su extensión ocupando un 43.79% del área total de de la zona de estudio. De estos suelos, los segundos cada año aumenta su área por la tala inmoderada, sin tomar en cuenta medidas de conservación de suelos y que avanza peligrosamente a la zona conservada y de seguir así en pocos años estos suelos podrían tener problemas de erosión.
- En cuanto a los Ultisoles que ocupan un 27.18% del área total se localizan en la parte media de la sierra desde el norte hasta el sur, con áreas dedicadas a la agricultura y otras de bosque de pino-encino.
- Los Alfisoles que se localizan al este de la sierra ocupando el 2.27% del área se ubican en regiones con pendientes pronunciadas bajo bosque de pino y encino.
- En cuanto a los Entisoles localizados en la parte central de la sierra, ocupan el 4.64% del área total bajo cobertura de bosque de encino.

- Los materiales parentales de la zona de estudio son principalmente caliza, lutita, arenisca.

Podemos concluir que existe una franja de suelos con régimen Ústico que si se sigue deforestando para cultivar las partes conservadas que aun existen en la sierra, sin tomar medidas de conservación de suelos en poco tiempo esta franja aumentará y cambiaran las condiciones de los suelos, el clima y la vegetación se convertirá en una área seca y desolada.

V.3.- Recomendaciones sobre el aprovechamiento de los conocimientos sobre el clima del municipio.

- Darles mantenimiento y actualizar las estaciones termopluviométricas, para que se continúe y actualice la conformación de bancos de datos sobre efectos climáticos, de tal forma que puedan ayudar a modelar y apoyar la planeación agrícola y la prevención de desastres naturales ya que ahora los datos no nos sirven mucho para hacer proyecciones a futuro.

V.4.- Recomendaciones sobre el uso de los recursos edáficos de la Sierra Negra.

- Seguir realizando estudios que den origen a mapas de uso del suelo, uso potencial de los suelos y calidad de los suelos, para mantenerlos actualizados.
- El establecimiento de sectores de referencia sobre prácticas de conservación de suelos, que sirvan como ejemplos y puedan ser utilizados en programas de capacitación para los productores agrícolas, pecuarios y forestales de la región.
- El establecimiento de un programa de conservación de suelos que promueva entre los productores las prácticas desarrolladas en los sectores de referencia.
- Realizar investigación agrícola, promoviendo los sistemas agroforestales.

- Realizar investigación forestal que promueva el manejo sustentable de la vegetación natural.

V.5.- Recomendación general para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales suelo y agua de la Sierra Negra.

- Elaboración y ejecución de un programa de manejo integral de los recursos naturales de la zona de estudio, bajo la óptica de la sustentabilidad y combate a la pobreza. Este programa deberá de tener garantías de continuidad a mediano y largo plazo, deberá de ser evaluado frecuentemente para su actualización o reorientación.

Bibliografía

- Alcanzar, G. G., J. Etchevers Barra, A. Aguilar Santelises. 1992. Los análisis Físicos y Químicos. Su aplicación en Agronomía. Ed. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados.
- Aguilar, A. G. 1987. Capacidad de Intercambio Catiónico. Pp 93 – 107. En: A. Aguilar, J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos (ed), Análisis Químicos para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. (Publicación Especial No. 1).
- Aguilar-Santelises, A. 1988. Métodos de análisis de suelos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo/Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Aguilera, N. 1989. Tratado de Edafología de México, Tomo I. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México, México. D.F.
- American Society of Photogrametry. 1983. Manual of Remote Sensing. II.Vol. Ed. Simonett, S and Estes J. E. Virginia. U.S.A.
- Alexander M. 1980. Microbiología del suelo. AGT Editores. México
- Álvarez, R. J. 1982. Retención aparente de la materia seca, materia orgánica y el nitrógeno en pollos alimentados con miel final. Datos preliminares. Revista Cubana de Ciencia Avícola.16 (1):83-87.
- Bandullo, G. J. M. 1994. Climatología y ciencia del suelo. Editorial Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- Baver, D., Gardner, H. y Gardner, R. 1972. Física de suelos, Editorial UTEHA, México 529 pp.

- Bielders CL, De Baker LW, Delvaux B. 1990. Particle density of volcanic soils as measured with a gas pycnometer. *Soil Science Society of America Journal* 54:822-826.
- Bockheim, J. G. and A. N. Gennadiyev. 2000. The role of soil- forming processes in the definition of taxa in *Soil Taxonomy and World Soil Reference Base*. *Geoderma* 95: 53-72.
- Bohn, H.; B. McNeal; G. O, Connor. 1993. *Química de Suelos*. Editorial Limusa. S.A.
- Bonneau, M. y B. Souchier. 1984. *Edafología II. Constituyentes y Propiedades del Suelo* Editorial Masson. París.
- Buol, W.S.; Hole, D.F.; y McCracken, J. R. 1981. *Génesis y Clasificación de Suelos*. Editorial Trillas, México, 417 pp.
- Blake, G.R.; K.H. Hartge, 1986, Bulk Density. In: A. Klute, ed., *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9* (2nd ed.) ASA and SSSA, Madison,WI. pp. 363-375.
- Brañes, R. 2000. *Manual de derecho ambiental*. Fundación mexicana para la educación ambiental. Fondo de Cultura Económica. México, DF. 2ª Ed. 776 pp.
- Buringh, P. 1963. The applications of aerial photographs in soil surveys. In: *American Society Photogrammetry. Manual of photographic interpretation*. Washington. p.633-666.
- Castellanos, R. J. 1985. El medio ambiente físico del suelo y su modificación mediante la aplicación de materia orgánica. Serie Temas Didácticos. SOMCS. Publicación Num. 2 30 p.

Carre, F. 1975 Lectura de las Fotografías Aéreas. Editorial Paraninfo. Madrid.

CEICADAR 1994. Diagnóstico General Agropecuario de las Regiones Indígenas del Edo. de Puebla, Gobierno del Estado, tomo I. 159 pp.

Colegio de Postgraduados. Chapingo. 1991. Manual de conservación de los suelos y el agua. 3ª Ed. México. Chapingo. 584 pp.

Coleman, E.A. 1970. Soil moisture and cells; instruction manual. Illinois, Soiltest. 20 p.

Consejo Nacional de Población (CONAPO). 1996. Situación demográfica del estado de Puebla, México.

Conti, M. E. 1998. Principios de Edafología. Con énfasis en suelos Argentinos. 1ª Ed.. 350pp. Orientac. Gráfica Editora.

CNA (1989) Manual de clasificación, cartografía e interpretación de suelos, con base en el sistema de clasificación de suelos. Comisión Nacional del Agua, México.

Cumbre para la Tierra 1992. (Resumen de prensa del Programa 21, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Rio de Janeiro).

Dangler, EW, SA El-Swaify. 1976 Erosion of Selected Hawaii Soils by Simulated Rainfall. Soil Science. Society of America Proceedings 40(5):769-73.

De Alba, S. 1998. Redistribución y erosión del suelo por las prácticas de laboreo en laderas cultivadas. En Investigaciones recientes de la Geomorfología Española (A. Gómez Ortiz y F. Salvador Franch, eds). Soc. Española de Geomorfología, Barcelona, 471-482.

- De Alba, S. (2000). Implicaciones geomorfológicas de la redistribución y erosión del suelo por las prácticas de laboreo: Tillage erosión. En VI Reunión Nacional de Geomorfología. Sociedad Española de Geomorfología. SEG-Universidad Complutense de Madrid.
- Dewis, J., y F. Freitas. 1984. Métodos Físicos y Químicos de Análisis de Suelos y Agua. FAO/UNESCO, Boletín de suelos de la FAO No. 10: 7-19.
- Duchaufour, P. 1978. Manual de Edafología. Editorial Toray - Masson S.A. 214 pp. España.
- Elliott, E. T. and Coleman, D. C. 1988. Let the soil work for us. Ecological Bulletins 39:23-32.
- Enkerlin, E. y Mier, R. 1997. Suelo y Agua. pp. 235-261. *In*: Enkerlin, E., Cano, G., Garza, R. y Vogel, E. (ed.). Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. International Thomson Editores. México.
- FAO. 1967. La erosión del suelo por el agua. Cuaderno de Fomento Agropecuario N° 81 Roma.
- FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. Roma.
- FAO. 1993. Forest Resource Assessment 1990. Tropical Countries, FAO Forestry paper 112, Rome.
- FAO. 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Servicio de fomento y conservación de Recursos de suelos. Dirección de Fomento de tierras y Aguas, UNESCO, Roma, 69 pp.

- FAO. 1998; Statistical Databases, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Fassbender H.W. y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en los suelos de América Latina. Ed. IICA, San José Costa Rica, pp. 420.
- Fernández, G. F. 2000. Introducción a la Fotointerpretación. Editorial, Ariel. Barcelona.
- Fitzpatrick, E. A. 1984. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. CECSA. México.
- Forsythe, W. 1985. Física de suelos. 213 p. IICA, San José, Costa Rica.
- Fuentes, A. 1972. Regiones Naturales del Estado de Puebla, UNAM, México, 143 pp.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de clasificación Climática de KOPPEN. 217 pp. (Edición Especial por la Autora).
- Gavande, 1972. Suelos de Física. Editorial Limusa. México.
- Guerra, P. F. 1980. Fotogeología. Dirección General de Publicaciones de la UNAM. México. 337 pp.
- Golden Software Inc. 1999. Surfer versión 7.0 USA.
- Herrera, H. B. 1983. Elementos de Fotogrametría. Uso de materiales aerofotográficos. Universidad Autónoma Chapingo. Serie agronomía No. 6. México. 173 pp.

Hudson, N. 1982 Conservación del suelo. Erosión. Esgurrimiento. Degradación. Editorial. Reverté S. A. Barcelona Bs. As. 295 pp.

INEGI. 1995. Carta Topográfica de Zinacatepec, E-14 B 76, escala 1: 50,000. 2ª. Edición, México.

INEGI. 1995. Carta Topográfica de Teotitlán del Camino Oaxaca. E-14 B 76, Escala 1: 50,000. 2ª. Edición, México.

INEGI. 1974. Fotografías Aéreas B/N. Escala 1:50,000. 1ª. Edición, México.

INEGI. 2000. Síntesis Geográfica del estado de Puebla. Libro electrónico, México.

INEGI. 1974. Guía De Interpretación de Suelos. 1ª Edición, México.

INEGI. 1994. Carta Edafológica de Orizaba. E-14-6, Escala 1: 250,000. 2ª. Edición, México.

INEGI. 1994. Carta de Climas de Orizaba E14-6, Escala 1: 250,000. 2ª. Edición, México.

INEGI, 1994. Carta Aguas Superficiales de Orizaba. E-14-6, Escala 1: 250,000. 2ª. Edición, México.

INEGI. 1994. Carta Geológica de Orizaba. E-14-6, Escala 1: 250,000. 2ª. Edición México.

INEGI. 1994. Carta Uso de Suelo y Vegetación de Orizaba. E-14-6, Escala 1: 250,000. 2ª. Edición, México.

INEGI. 1993. Revista de Geografía (Mapa de Vegetación y Uso del suelo de la porción sur del Valle de Tehuacán). Vol. 5. Num. 6.

- INEGI. 1997. Cuaderno Estadístico municipal de Zoquitlán. Puebla, México.
127 pp.
- INEGI. SEMARNAP, 1998. Estadísticas del Medio Ambiente, México, 1997.
Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y
Protección al Ambiente, 1995-1996. México.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del
Estado de Puebla. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México (Edo.
de Puebla).
- Instructivo para la determinación del clima de acuerdo al Segundo Sistema de
Thornthwaite. 1972. Dirección General de Estudio, Dirección Agrológica
de estudios Especiales, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México,
D.F.
- IUSS Working Group WRB 2006 World Referente Base for Soil Resource. 2nd
edition World Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Juárez, B. – R. Rodríguez. 1995. Mecánica de suelos. Editorial Limusa. México.
- León, R. y A. Aguilar 1987. Materia Orgánica, pp. 85 – 92. En: A. Aguilar, J. d.
Etchevers y J. z. Castellanos (ed), Análisis Químico para Evaluar la
Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C.
(Publicación Especial No. 1).
- López, J. 1998. Apuntes de Fotointerpretación. Instituto de Geografía UNAM.
- López, R. E. 1993. Geología General y de México. 454 pp.
- Mass, M., JM y F. García-Oliva (1990), "La conservación de suelos en zonas
tropicales: el caso de México", Ciencia y Desarrollo, CONACyT. Vol. XV,
núm. XV, núm. 90, enero-febrero, México.

- Mass, J M y F García-Oliva M. 1990. La investigación sobre la erosión de suelos en México. *Ciencia*. 41: 209-228.
- Mena, E. 1960. El Jurásico marino de la región de Córdoba. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*. Vol. XII, No. 7 – 8.
- M.E. Sunner. 1999. *Handbook of soil science*. Ed. CRC. Press.
- Moreno, G. 1980. Geología del área de Huautla de Jiménez, Oaxaca. Tesis profesional S.E.I.A., I.P.N.
- Morgan, R. P. C. 1997. *Erosión y conservación del suelo*. Ed Mundi-Prensa. Madrid.
- Mulders, M. A. 1994. Remote sensing for landscape analysis. *WAU*. 621.39:711.REM.
- Munsell. 2000. *Soil Color Charts, Washable* Baltimore, MA. USA.
- Muñoz VJ, Tovar SJL, Ortiz SCA, Castellanos RJZ (1990) El uso de estiércol como mejorador de algunas propiedades de suelos arcillosos de la comarca lagunera. *Agrociencia 1*: 127-144
- Ortega, T. E. 1978. *Química de los Suelos*. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, México. pp.93-100.
- Ortiz, V. B. & C. A. Ortíz Solorio. 1990. *Edafología*. Editorial de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

- Palmer, R. L., y F. R. Troeh. 1980. Introducción a las Ciencias de Suelo: Manual de Laboratorio. Traducción al español de la segunda edición por F. Márquez S. G. T. Editor, S. A. Cd. Méx. D. F. México.
- Patiño, J. H. 1978. Estudio Geológico de la cuenca de Zongolica, en el área Calipán – Tepexilotla. Tesis Profesional, E.S.I.A., I.P.N.
- Porta, C. J., López Acevedo, R. M. Roquero, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª. Edición. Editorial Mundi-Prensa. España. 849.pp.
- Porta, C.J.; López Acevedo, M.; Porch, R.M. 2008. Introducción a la Edafología uso y protección del suelo. Ed. Mundi-prensa. Madrid.
- Pritchett, W.L. 1986.- Suelos forestales.- Limusa.- México D.F.
- Riverol, M.; Cabrera, E.; Ronzonil, C. y Castro, N. Tecnología antierosiva en base a bordos de desagüe en suelos tabacaleros de Cuba.
- Ruiz, J. 1988. Particularidades de los Suelos del Macizo Montañoso Sagua-Baracoa. Tesis Doctoral. Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt. 177 pp.
- Ruiz, J.; Calderón E.; y Tamariz V. 1999. Manual para la descripción de perfiles de suelo y evaluación del entorno. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México. 65 pp.
- Ruiz, J.; Tamariz V.; y Calderón E.2001. La erosión de los suelos en la Sierra Norte del Estado de Puebla. Textos BUAP. Puebla, México. 54 pp.

- Ruiz, J., Riverol M.; y Calderón E. 2001. Diagnóstico de la erosión de los suelos en la sierra norte del Estado de Puebla. En: Fundamentos para la agricultura sostenible. Textos BUAP. Puebla, México. 163 pp.
- Rzedowski, J. 1981. Vegetación de México. Editorial Limusa. México.
- Saúl, M., Castillo, A., Ríos, O y Rosenzweig, R.1993. Vegetación del valle de Tehuacán. UAM Xochimilco – INEGI. México. 60pp.
- Segalen, P. 1968. Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxidestropicaux. Cahiers O.R.S.T.O.M., Séries pedologique, 6: 105 -126.
- SEMARNAP, 2002. Inventario Nacional de Suelos. Secretaría de Medio Ambiental, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F. 235 p.
- SEMARNAP, 2000. Base de datos electrónica del Sistema de Unidades de Manejo, Conservación y Aprovechamiento de la Vida Silvestre SUMA. Reporte interno de la Dirección General de Vida Silvestre, SEMARNAP. México, D.F.
- SEMARNAP/INEGI, 1997 Estadísticas del Medio Ambiente, México. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1995-1996, INEGI, México, 1998.
- Soil Survey Staff.1988. U.S Department of Agriculture Soil Conservation Service. Ed. Krieger. Malabar, Florida.
- Soil Taxonomy. 1995. Claves para la Taxonomía de suelos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación especial. México 306 pp.
- Soil Survey Staff .2006. Keys Soil Taxonomy, Tenth Edition. United States Department of Agriculture. 332 pp.

- Toledo, CG y M. Leal P. (ED). 1998. Destrucción del Hábitat Programa Universitario del Medio Ambiente Universidad Nacional Autónoma de México, 455 pp.
- THORNTHWAITE, G. W. The weather balance, Publications in Climatology, Volumen 8, N° 1, Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Centerton, N.Jersey, 1955.
- Torres, R. E. Agrometeorología. 1984. 2ª. Edición. Editorial Diana. México. 150 pp.
- Uehara, G., y G. Guilman. 1981. The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays. Westview Press, Coulter, Colorado.
- Unger, P.W., Stewart, B.A., 1974. Feedlot waste effects on soil condition and water evaporation. Soil Science Society of America Proceedings, 38, 954-957.
- USDA. Soil Taxonomy. Handbook 436. Soil Conservation Service. Washington.
- Valera, M. A .1993. Fisicoquímica y Mineralogía de Andosoles de La Región de Teziutlán Puebla. Tesis.
- Veruette, F. J. 1976. Apuntes Fotogrametría y Fotointerpretación. Instituto Agrario Nacional de Caracas, Venezuela. 68 pp.
- VINK, A.D. A. 1963. Fotografías aéreas y las ciencias del suelo. Delft: International Training Centre for Aerial Survey. 200p.
- Walkley, A., y C. Black. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.

Well, R.R., Kroontje, W., 1979. Physical condition of a Davidson clay loam after five years of heavy poultry manure application. Journal of Environmental Quality, 8(3), 387-392.

Weil R.R and Kroontje W. 1979. Organic Matter Decomposition in a Soil Heavily Amended with Poultry.

Páginas WEB

<http://www.cna.gob.mx> Comisión Nacional del Agua (CNA). Marzo, 2002. Recursos Hídricos.

<http://www.fao.org/documents>

<http://www.semarnat.gob.mx>.

<http://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm>

<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21sptoc.htm>

<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/puebla/index.html>