



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARACTERIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TEPETATES
EN EL GLACIS DE BUENAVISTA MORELOS:
INTERACCIÓN DE PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS Y
AMBIENTALES.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A :

GUILLERMO PAULINO GUERRERO OLIVARES

ASESOR: DRA. ELIZABETH SOLLEIRO REBOLLEDO



Ciudad Universitaria

México D.F., marzo 2007.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

Resumen	
1.- Introducción.....	3
1.1.- Objetivos.....	4
2.- Marco Teórico.....	5
2.1.- Los Tepetates.....	5
2.1.1.- Origen.....	5
2.1.2.- Tipos de Tepetate.....	7
2.1.3.- Distribución.....	9
2.2.- Características físicas, químicas y mineralógica.....	10
2.2.1.- Físicas.....	10
2.2.2.- Químicas.....	11
2.2.3.- Mineralógicas.....	11
2.3.- Importancia del reconocimiento de Tepetates en el terreno.....	12
2.3.1.- Glacis.....	14
3.- Área de estudio.....	17
3.1.- Geografía.....	17
3.1.1.- Ubicación.....	17
3.1.2.- Vías de comunicación.....	18
3.2.- Geología.....	19
3.2.1.- Marco Geológico.....	19
3.3.1.1.- Geología regional.....	19
3.3.- Fisiografía.....	21
3.3.1.- Provincias fisiográficas.....	21
3.3.1.1.- Provincia del Eje Neovolcánico.....	21
3.3.1.2.- Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac.....	22
3.3.1.3.- Subprovincia Sur de Puebla.....	22
3.3.1.4.- Provincia de la Sierra Madre del Sur.....	23
3.3.1.5.- Subprovincia de las Sierras y Valles Guerrerenses.....	23
3.4.- Geomorfología del Estado de Morelos.....	24
3.5.- Cuencas hidrológicas.....	24
3.6.- Estratigrafía.....	25
3.6.1.- Rocas Pre-terciarias.....	25
3.6.2.- Rocas del Terciario Continental.....	27
3.6.2.1.- Grupo Balsas (Teob).....	27
3.6.2.2.- Riolita Tilzapotla (Tot).....	28
3.6.2.3.- Andesita Buenavista (Tob).....	28
3.6.2.4.- Formación Tepoztlán (Tmt).....	29
3.6.2.5.- Andesita Zempoala (Tmpz).....	29
3.6.2.6.- Formación Cuernavaca (Tpc).....	30
3.6.3.- Rocas del Cuaternario.....	31
3.6.3.1.- Grupo Chichinautzin (Qch).....	31
3.6.3.2.- Gravas y arenas volcánicas (Qcbc).....	32
3.6.3.3.- Aluvión (Qal).....	32
3.7.- Geología Estructural.....	32
3.8.- Suelos.....	33
3.9.- Climas.....	33
3.10.-Vegetación.....	34
3.11.-Antecedentes de la zona de estudio.....	34
3.11.1.-Fisiografía del Glacis de Buenavista.....	34
4.- Metodología.....	38
4.1.- Trabajo de Gabinete.....	38
4.1.1.- Fotointerpretación.....	38
4.2.- Trabajo de Campo.....	40
4.3.- Análisis Geomorfológico.....	40
4.3.1.-Mapa de disección de relieve.....	40
4.3.2.-Mapa de pendientes.....	41

4.4.- Laboratorio.....	42
4.4.1.-Petrografía.....	42
4.4.2.-Composición Química Total.....	42
4.5.- Análisis e Interpretación.....	43
5.- Discusión y Resultados.....	44
5.1.- Resultados.....	44
5.1.1.-Descripción de sitios en campo.....	44
5.1.2.-Análisis Geomorfológico.....	46
a) Fotointerpretación.....	46
b) Mapa de pendientes.....	49
c) Mapa de disección de relieve.....	49
d) Mapa de distribución de Tepetates.....	51
5.1.3.-Propiedades de los Tepetates.....	52
a) Morfología.....	52
b) Propiedades físicas y químicas.....	54
5.1.4.-Análisis petrográfico.....	55
5.1.5.-Arreglo de los minerales:	56
5.2.- Discusión.....	59
5.2.1.-Génesis de los Tepetates.....	59
5.2.2.-Mecanismos de distribución.....	60
5.2.3.-Interpretación Paleoambiental.....	60
5.3.-Problemática.....	61
6.- Conclusiones.....	62
Glosario.....	64
Bibliografía.....	66

RESUMEN

Se presenta un estudio de caracterización y distribución de tepetates localizados en el glacis de Buenavista, Morelos. La zona estudiada cuenta con horizontes endurecidos (tepetates), los cuales subyacen a un luvisol en la parte norte y sobreyacen a un vertisol en la parte sur. Se consideran productos de procesos erosivos, pedogenéticos y de sedimentación.

Las evidencias geomorfológicas y ambientales indican su génesis producto de flujos hiperconcentrados, asociados a lahares. Sometidos a procesos de compactación debido a la alta proporción de material limo-arcilloso, se produce un colapso en su estructura interna y en consecuencia un proceso de hidroconsolidación. Productos de procesos geológicos catastróficos, en donde diferentes materiales piroclásticos fueron removidos por agua, después de lluvias intensas.

Los mecanismos de distribución de los tepetates se consideran a partir de establecer un mapa de pendientes, mapa de disección de relieve, análisis de fotografías aéreas y correlación con puntos localizados en la zona de estudio.

Estableciendo su localización en la parte central del glacis, pendientes suaves, asociación de cenizas volcánicas como material parental y una disección de relieve moderada.

Se establecen tres tipos de tepetates por su coloración: pardo (el más joven), rosa y blanco (el más antiguo) formados bajo un régimen de inestabilidad geomórfica, al estar asociados a una matriz arcillosa y compactada favorecen al escurrimiento y no a la infiltración de agua, repercutiendo a una dinámica ambiental y estableciéndose como una zona de riesgo geológico.

1.- INTRODUCCIÓN

La palabra tepetate engloba una amplia gama de materiales de diferente origen, que incluyen desde rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas, hasta horizontes pedogenéticos. Los tepetates tienen una distribución amplia en diversos países de América Latina. Los de origen volcánico frecuentemente ocurren en los pie de monte de las sierras y cadenas montañosas.

En las zonas volcánicas de México son comunes, estimándose un área de 30,700 km², que representa el 27% de la Franja Volcánica Transmexicana (FVT), (Zebrowsky, 1991). Afloran básicamente, en las laderas de la Sierra Nevada, en los estados de México, Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, Querétaro y Morelos (Servenay y Prat, 2000). Su génesis es diversa y, en ocasiones, se les ha referido como tobas piroclásticas o sedimentos tobáceos (Mielich, 1992), lahares (Luzio y Saavedra, 1992), “surges u oleadas piroclásticas (Pratt et. al., 2002) e inclusive depósitos eólicos, tipo loess, de ceniza volcánica (Heine y Schönhals, 1973). También se les asocia con flujos piroclásticos o depósitos de caída más o menos consolidados, en el momento de su emplazamiento (Zebrowsky et. al., 1991).

Sin embargo, también se ha planteado que su formación puede ser producto de procesos pedogenéticos, los cuales movilizan los cementantes. Dichos cementantes, que litifican las partículas del suelo, pueden ser de diferentes tipos. Tal vez el más común para el centro de la República Mexicana es la sílice (SiO₂), que se deriva del intemperismo de materiales de origen volcánico.

Particularmente, el estado de Morelos presenta en su parte septentrional estribaciones de la Sierra del Chichinautzin y en los flancos sur y suroeste del volcán Popocatepetl, grandes áreas con tepetates (Flores et. al., 1996) asociados frecuentemente con suelos arcillosos (Solleiro et. al., 2003). Las áreas han sido sometidas a una deforestación intensa, y a cultivo, lo que ha repercutido en erosión. De esta forma, los tepetates quedan expuestos en la superficie. Por lo tanto su presencia en el paisaje provoca problemas ambientales tales como degradación del suelo, erosión, modificación del

régimen hídrico, que inclusive puede causar aridización, y finalmente, repercutir en el desarrollo urbano.

1.1.- OBJETIVOS

Con base en la importancia que tiene la presencia de tepetates en el paisaje, se ha planteado como objetivos principales de esta tesis:

- 1.- Realizar una caracterización de estas capas endurecidas en el Glacis de Buenavista, Morelos.
- 2.- Determinar su distribución en esta geoforma y su relación con otros elementos del paisaje.
- 3.- Determinar su génesis así como las condiciones ambientales de formación.

2.- MARCO TEÓRICO

2.1.- LOS TEPETATES

2.1.1.- ORIGEN

En la antigüedad los aztecas tenían una clasificación de los materiales del suelo, basada principalmente por su color y dureza. Ellos conocían lo que era el tepetate y cómo manejarlo, sabían que durante la sequía no se trabaja el tepetate porque está muy duro, pero al mojarse un poco se vuelve frágil y fácil de trabajar. Para ellos los suelos con más bajos rendimientos en sus cultivos eran los tepetatosos éstos se tenían que sembrar tardíamente, con el fin de que el suelo con tepetate se humedeciera y ablandara (Valdés, 1970).

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

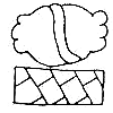



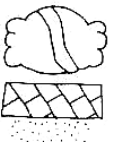

Glifo	Nombre en náhuatl	Traducción	Glifo	Nombre en náhuatl	Traducción
	Tepetlali	Tepetate		Atoctli	Aluvión
	Tazoquilt	Tierra Arcillosa		Teuhtlali	Tierra Limosa
	Tepetlali, xalalli	Tepetate Arenoso		Xalalli	Tierra Arenosa

Figura 1. Glifos de Suelos del Códice Vergara. Mediados del siglo XVI (Navarro et. al., 1998).

La palabra “tepetate” deriva del náhuatl, vocablo compuesto por las raíces Tetl: que significa piedra y Petiatl: petate; por lo cual el significado etimológico es petate de piedra o cama de piedra (Navarro et. al., 1998). Los edafólogos y campesinos mexicanos emplean el término tepetate para designar horizontes cementados y específicamente para capas gruesas, formadas a partir de cenizas volcánicas, que son suaves cuando húmedas y muy duras cuando secas.

Agronómicamente los tepetates son estratos endurecidos que afloran a la superficie terrestre y que en un principio, descansaba sobre ellos una capa fértil de suelo, la cual fue eliminada por la erosión como una consecuencia del mal manejo de los suelos tanto agrícolas como pecuarios o forestales. El tepetate involucra diversos materiales tanto de origen geológico como edafogénico, caracterizados por presentar diferentes grados de compactación o cementación secundaria. Estos materiales generalmente subyacen al suelo. Cuando llegan aflorar siempre son índices de problemas severos de erosión.

Valdés (1970) menciona que el tepetate es un material volcánico depositado en forma líquida consolidado de ligera a moderadamente, (de la época del Plioceno tardío y Pleistoceno), por una matriz de arcilla y sedimentos finos, con bandas de caliche que se encuentran a lo largo de una formación.

Pedológicamente es definido como un horizonte cementado, de color pardo a café rojizo de consistencia dura y textura de arcilla hasta grava fina. Los agentes cementantes pueden ser silicio, carbonatos o sesquióxidos (Nimlos et. al., 1987).

Su génesis es aún muy difícil de establecer en la mayoría de ellos, ya que pueden originarse a través de procesos puramente diagenéticos o pedogénicos, o por acción de ambos. (Flores et. al., 1996).

Los mecanismos implicados en la formación de tepetates, involucra flujos de cenizas volcánicas acompañadas por grandes cantidades de vapor de agua. Este vapor se condensa y ocasiona fuertes aguaceros, sobre los depósitos cineríticos mismos que al saturarse fluyen hacia partes bajas, a veces recorriendo distancias considerables. Es evidente que en condiciones de saturación de humedad hay una liberación de sílice que

cementa la masa entera de cenizas, con la formación de un material endurecido. (Nimlos et. al., 1987).

La cementación por sílice es el tipo de endurecimiento más común en los suelos derivados de cenizas volcánicas, pero su génesis es menos conocida y es muy complicada. En algunos casos la sílice se produce por eluviación (lavado) de un horizonte superior e iluviación (acumulación) en uno inferior, donde cementa al horizonte. Pero como su solubilidad es baja, suele encontrarse como cemento sólo en materiales muy antiguos. (Nimlos, 1987).

En el caso de las cenizas volcánicas, se considera que la solubilidad del sílice es relativamente alta, siendo de carácter amorfo, ya que la ceniza se enfría tan rápidamente que no pueden formarse los cristales. El sílice amorfo es mucho más soluble que su equivalente cristalino, por lo cual las costras sílico-cementadas se forman más rápidamente en cenizas volcánicas que en otros materiales bajo condiciones semejantes.

Pero la génesis es complicada porque algunos endurecimientos son claramente más geológicos que pedogénicos. Se han descrito costras en México (Nimlos et. al., 1987) de 100 m de profundidad respectivamente. Es claro que el transporte de sílice por procesos edafológicos no es capaz de explicar este tipo de costra, que debieron desarrollarse por procesos geológicos.

Estos procesos que dependen del tipo de material y de las condiciones ambientales son más o menos claros como los causantes de la cementación por sílice en los tepetates. Sin embargo, son pocos los casos en el centro de México, en donde se ha encontrado sílice amorfa como material que cementa los estratos endurecidos. Casos particulares en el estado de Tlaxcala (Poetsch, 2004), se tienen asociados a climas más secos que permiten su solución y depositación en forma de ópalo.

2.1.2.- TIPOS DE TEPETATES

Los suelos volcánicos endurecidos son descritos con diferentes nombres en diversos países y por diferentes etnias (Nimlos, 1987).

Los cementos más comunes que influyen en el endurecimiento son los carbonatos, sesquióxidos y sílice, solos o en combinación dan como resultado costras morfológicas con bastantes formas diferentes. Cuando la cementación es por sílice, SiO₂, reciben el nombre de duripanes; también se les llama silcretas o duricostras; su color por lo regular es claro, blanco o gris y en menos frecuencia rojo o amarillo. (Navarro et. al., 1998).

Cuando los cementantes son carbonatos de calcio, CaCO₃, dan lugar a los petrocálcicos; también a los petrogípsicos si el mismo calcio se presenta en forma de sulfato de calcio, CaSO₄, en ambos predomina el color blanco. Si la cementación es por sesquióxidos Fe₂O₃ y Al₂O₃ forman lateritas; plintitas ó petroplintitas, su color varía de muy claro hasta rojo intenso.

Cuando existe compactación fuerte y cementación escasa o nula se llaman fragipanes (Flores et. al., 1996).

En el caso particular de los tepetates en zonas volcánicas, reciben diversos nombres de acuerdo al país o etnia. (Tabla 1).

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

Tabla 1. Denominación de los tepetates, en diferentes países o etnias (Nimlos, 1987).

2.1.3.- DISTRIBUCIÓN

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

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

En la Figura 2 (Flores et. al., 1996) se presenta un mapa con la distribución de tepetates en nuestro país, observándose que la mayor parte de los mismos se localizan en la Altiplanicie, una parte pequeña al norte de la vertiente del Golfo; otra al noroeste del estado de Sonora y otra a lo largo de la península de Baja California.

Tomando en cuenta las características climáticas de aridez y semiaridez que predominan en la Altiplanicie Mexicana, los tepetates son petrocálcicos, petrogípsicos y en menor proporción duripanes, (Flores et. al., 1996), ocupando un 30% del territorio nacional.



Fig. 2 Distribución de tepetates en la República Mexicana. Esc: 1:12 000 000 (Flores et. al., 1996).

2.2.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS.

2.2.1.- FÍSICAS

Hay tepetates de diferentes colores como reflejo de su composición, el tepetate blanco es diferente del tepetate amarillo y rojo, tanto en color en seco como en húmedo. También se afirma que el tepetate amarillo y rojo son diferentes en cuanto a color en húmedo, pero no así en seco por lo que se dice que el tepetate rojo tiende al amarillo.

En diferentes estudios se reporta que en cuanto a la granulometría también hay variaciones, se estima que el mayor porcentaje de arena corresponde al tepetate rojo (66%), enseguida el tepetate amarillo (64%) y finalmente el tepetate blanco con un 59% de arena (Valdés, 1970).

Debido a su compactación, su densidad aparente se encuentra entre los valores 1.1. a 1.4 g/cm³, la densidad real entre 2.4 y 2.8 g/cm³ (Etchevers et. al., 1992). El espacio poroso en los tepetates es variable, fluctúa desde 20% hasta el 60%, el tamaño de la arena es gruesa.

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

-Valdés (1970) mencionan que la textura predominante es arena migajosa, por lo tanto el contenido promedio de arcilla es bajo (4.5 a 5%), mientras que el de arena es alto oscilando con un promedio de 75.5%.

-Pratt (2002) mencionan que el tepetate tiene características físicas e hídricas que corresponden a un material limoso masivo, endurecido, de densidad aparente de 1 g/cm³. La porosidad es de 60% del volumen del material y la microporosidad de 40% de la porosidad total.

2.2.2.- QUÍMICAS

Los diferentes tipos de tepetates son similares en algunas de sus propiedades químicas, pero su composición depende de la naturaleza del material.

Los tepetates presentan un porcentaje extremadamente bajo en materia orgánica y nitrógeno total (Valdés, 1970). En lo que se refiere a la reacción del suelo, el pH va de moderadamente ácido 5.1-6.5 a medianamente alcalino 7.4-8.5. La conductividad eléctrica es baja siendo en promedio de 0.4 mmh/cm, en lo que respecta a los cationes intercambiables, los valores por lo regular son altos (Valdés, 1970).

2.2.3.- MINERALÓGICAS

Los diferentes tipos de tepetates están constituidos por minerales primarios, como el cuarzo, feldespatos, piroxenos, anfíboles, plagioclasas, ferromagnesianos, vidrio, cristobalita y calcita (Valdés, 1970) lo que denota su naturaleza volcánica.

Valdés (1970) reporta para el tepetate los siguientes minerales: cuarzo, feldespatos, microclina y ortoclasa alterada, como cementantes está el CaCO_3 pero no en forma de calcita sino de caliche, clasificándolo como toba andesítica alterada.

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

2.3.- IMPORTANCIA DEL RECONOCIMIENTO DE TEPETATES EN EL TERRERNO.

En la práctica, el estudio de los tepetates cobra interés cuando las parcelas de los agricultores se encuentran enclavadas en este tipo de material de baja productividad, propiciando conflictos de tipo socioeconómicos muy graves que los conducen al abandono de las actividades agropecuarias que son la principal fuente de ingresos y provocan la emigración a otras localidades.

Por ello surge la necesidad de conocer con mayor detalle el manejo racional de este tipo de material, por considerarse susceptible de recuperación mediante el estudio y empleo de prácticas adecuadas de recuperación y conservación de las mismas, llegando a convertirse en productivas (Nimlos et. al., 1987).

La cementación de los horizontes del suelo constituye una forma grave de degradación del suelo que impide el desarrollo radical de las plantas, porque la presencia de capas cementadas favorece la erosión del suelo al impedir el paso del agua al subsuelo y propiciar el drenaje lateral interno y un mayor escurrimiento superficial con la consecuente disgregación y transporte de partículas minerales (Flores et. al., 1996).

La erosión de los relieves volcánicos progresa a ritmos muy diversos según la desigual resistencia de las rocas. De entre todos los materiales volcánicos, las cenizas son los más sensibles a la erosión. Al saturarse de agua y ser impermeables, son arrastradas por las corrientes sobre todo en las pendientes. Las cenizas disectan por erosión remontante, generando profundos cañones. Las escorias resisten mejor (Navarro et. al., 1998).

Desde el punto de vista geológico, el ambiente es el que crea los suelos, transforma a los minerales primarios en arcillas a través del intemperismo. Generalmente la erosión es el nombre a todos los procesos que han transportado material terrestre de un lugar a otro ya sea por acción del agua o del viento, el resultado de la acción del agua y de la gravedad.

Estos procesos erosivos pueden ser naturales o antrópicos. En este último caso, se presenta una degradación del paisaje que puede producir desertificación (acción conjunta de la erosión y la degradación) (Navarro et. al., 1987).

La erosión en la zona del glacis de Buenavista atiende a un carácter urbano de riesgo. La zona está constituida de Tepetates y distintos suelos como Andosoles, Luvisoles y Vertisoles entre otros, que obedecen a un sistema ambiental de alta dinámica erosiva.

A los tepetates se les han dado diversos usos ya sea con fines agropecuarios, forestales, artesanías y sobre todo en la construcción, en esta última en forma de bloques que son altamente resistentes

a la meteorización e intemperismo, tal como se les puede observar en algunas casas particulares e iglesias antiguas, incluso en construcciones modernas donde se alternan los tepetates blancos con los tepetates amarillos (Navarro et. al., 1998).

Teniendo en cuenta que el suelo no es indicado para el asentamiento urbano, los factores climáticos influyen a desestabilizar el terreno, las propiedades de los tepetates provocan que al estar éstos en seco se convierten en un material muy fuerte y compacto, pero al estar en contacto con el agua los mismos se comportan bastante inestables por que se disgregan, actúan absorbiendo toda la humedad y esto le da inestabilidad a toda la zona.

El riesgo de los asentamientos se acentúa por la presencia de huellas de desecación notables, que no permiten el peso en la zona. El relieve fluvial con cauces más amplios y profundos, aumentando la disección del relieve limitando el crecimiento de casas.

La ciudad de Cuernavaca es una zona turística y por su posición geográfica es también de descanso de pobladores de grandes ciudades como el Distrito Federal, poco a poco se ha ido incrementando la demanda de vivienda a cualquier nivel. La zona cercana al glacis es de nivel residencial, el cual a pesar de los buenos cimientos, el terreno está conformado por material erodable y de probable deslizamiento. Esto afectaría a una zona segura de vivienda y por supuesto a la diversidad biológica modificando el patrón de distribución de suelos. Sin olvidar que la actividad agrícola también produce degradación en el terreno.

El clima, con una alta humedad, en esta geoforma produce acumulación de material. Con la dinámica erosiva provoca un suelo “no deseable” para el urbanismo a pesar de que éste es cada vez mayor, pues es inestable y el movimiento de masas será mas fácil y con mayor fuerza a medida de que los cambios climáticos sucedan y principalmente la acción del agua tanto fluvial como pluvial, la cual actúa sobre las arcillas y en general en todo el terreno.

Por estas razones debería de entrar un plan emergente ambiental primero para evitar el deterioro de suelos por acción de los agricultores, ya que la acción del clima seguirá en constante aumento; detener el crecimiento urbano para que el ambiente no sea afectado y modificado, de igual manera el riesgo de desprendimiento de material y destrucción de viviendas.

El conocer la distribución de los tepetates en la zona permitiría que dicho plan ambiental tenga mayor potencialidad de éxito.

2.3.1.- GLACIS

Se trata de un término francés, derivado del latín *glacies*, que significa terreno plano e inclinado (simbólicamente, “resbaladizo” o similar a una superficie helada) sin llegar a la magnitud de escarpe o cortado. Ha sido definido por Pedraza (1986) como franja o talud sobre la que se eleva algo, por ejemplo un relieve o una fortaleza

Existe una gran diversidad de opiniones sobre el significado de la palabra glacis. La noción fue acuñada por primera vez por Carman, en 1939 en un trabajo que versa sobre los “pie de montes” del Macizo Central del Gran Atlas publicado en el Congreso Internacional de Geografía que tuvo lugar en Amsterdam. En éste, se definen a los glacis como formas con perfil longitudinal ligeramente cóncava y con pendiente siempre inferior a 6°. A partir de esta fecha se han sucedido largas series de términos que tienen por resultado una enorme confusión en la terminología internacional.

Se puede decir que más que una cuestión de vocabulario, se trata de una cuestión conceptual, dentro de la cual se distinguen dos escuelas que mantienen posturas diferenciadas:

La Escuela Americana; la cual utiliza el término *pediment* para designar a formas de este tipo, bien sea en rocas blandas o duras. Si este *pediment* se encuentra cubierto por un manto aluvial o coluvial emplean el término de glacis cubierto.

La Escuela Francesa; se encuentra dividida entre dos grandes grupos de autores, de un lado los que están vinculados a la Universidad de Estrasburgo, el cual define como glacis a toda superficie labrada tanto en materiales blandos como en materiales duros. Del otro destacan los integrantes de la Comisión de Zonas Áridas que definen el término glacis a las formas engendradas en rocas de escasa resistencia a la erosión, pendiente suave y el *pediment* para formas desarrolladas, directa o indirectamente, en rocas que ofrecen una mayor resistencia a la erosión (Zebrowski, 1991).

Como ya se ha mencionado, los tepetates derivados de materiales volcánicos en México, se encuentran ampliamente distribuidos en el Eje Neovolcánico, en las zonas de pie de monte de los estratovolcanes o sierras volcánicas. Particularmente, las zonas de glacis, con su topografía suave parecen ser áreas preferenciales de acumulación de tepetates.

El reconocimiento de estas geoformas en el paisaje es importante pues controlan procesos de acumulación y erosión. Tomando en cuenta el principio de inestabilidad del paisaje propuesto por Scheidegger (1987), se nota que el relieve posee un equilibrio dinámico que conlleva a cambios en el tiempo.

En el talud del glacis, estos cambios se ven reflejados en la formación de 3 partes: una región eluvial en la parte superior donde ocurren procesos de transporte; una zona coluvial en la parte central con una topografía más abrupta y con movimientos de masa; y una zona aluvial en la parte más baja, en una topografía más plana; en donde ocurren procesos de sedimentación. (Scheidegger, 1987).

El glacis se forma por material aluvial y coluvial que se encuentran estrechamente relacionados con material encostrado, generado por la sedimentación depositada y un sistema de drenaje. Con distintos tipos de escorrentía (Pedraza, 1986).

Los factores involucrados en su formación son: un clima tropical seco con lluvias torrenciales en verano; estabilidad tectónica, ya que entre mayor sea ésta, mayor será la extensión del glacis; y finalmente el tipo de roca y su estructura ya que, según la litología y estructura de la superficie topográfica sobre la que se desarrolle son las características geomorfológicos que desarrollará.

3.- ÁREA DE ESTUDIO

3.1- GEOGRAFÍA

3.1.1.- UBICACIÓN

El estado de Morelos se localiza en la región centromeridional de la República Mexicana (Fig. 3), limita hacia el norte con el Distrito Federal y el estado de México; al este y sudeste, con el estado de Puebla; al sur y sudoeste con el estado de Guerrero. Tiene una superficie de 4,956 km², de la cual 85% corresponde a la parte meridional, de planicies y valles fértiles, cruzados por numerosos ríos, la mayoría afluentes del río Amacuzac y, en menor proporción, afluentes del río Atoyac. El 15% restante corresponde a la partes septentrional de terreno montañoso, formado por las estribaciones de las cordilleras del Ajusco y la Sierra Nevada (Volcán Popocatepetl).

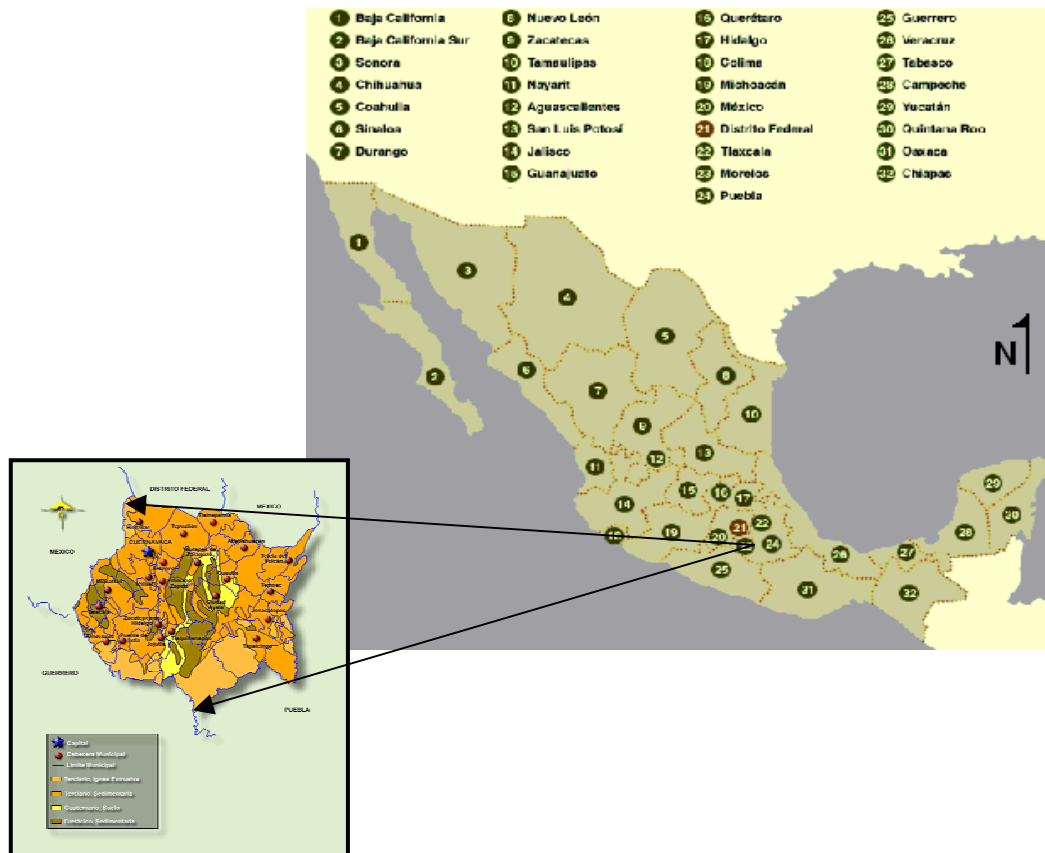


Fig. 3. Mapa de Localización del Estado de Morelos. (INEGI, 2002).

La zona de estudio, el glacis de Buenavista se ubica en el NW del Estado de Morelos, en los límites del Estado de México, al W de Cuernavaca (Fig. 4).

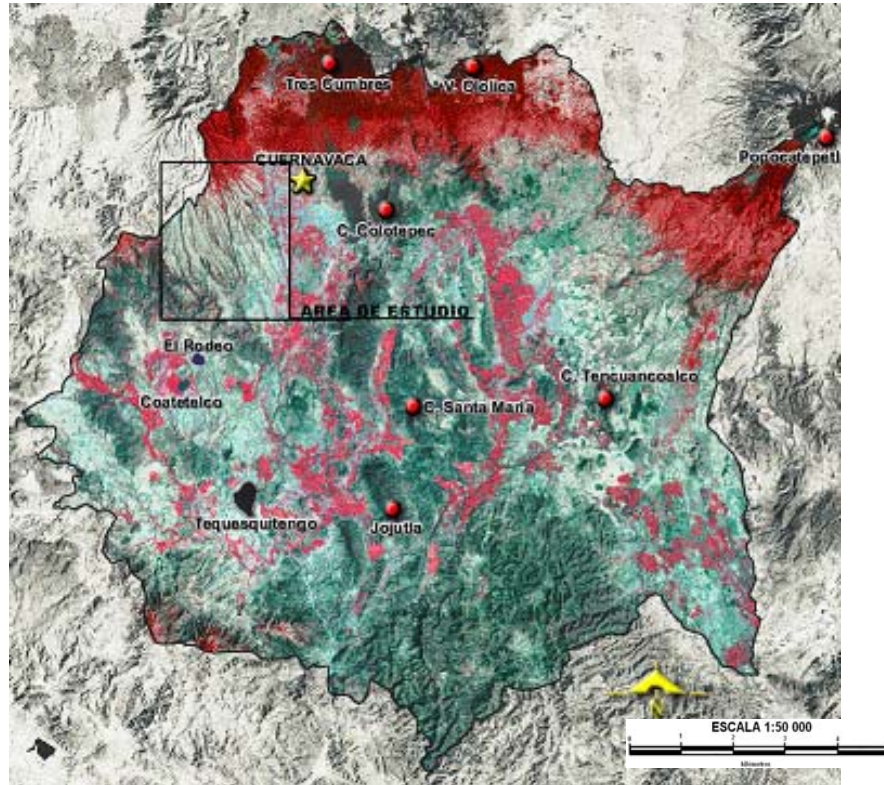


Fig.4 Localización del glacis. (Gama et. al., 2004)

3.1.2-VIAS DE COMUNICACIÓN

El estado de Morelos está bien comunicado interiormente y hacia las entidades vecinas; Se comunica con el Distrito Federal a través de cuatro carreteras pavimentadas. La más importante es la autopista No. 95 México-Cuernavaca, la cual tiene una longitud de 86 km. La carretera México-Acapulco cruza las poblaciones de Tres Marias, Cuernavaca, Temixco, Puente de Ixtla y Amacuzac. La carretera federal de cuota México-Cuautla es un ramal de la autopista a Cuernavaca y pasa por Tepoztlán, Oacalco y Oaxtepec (Fig. 5).

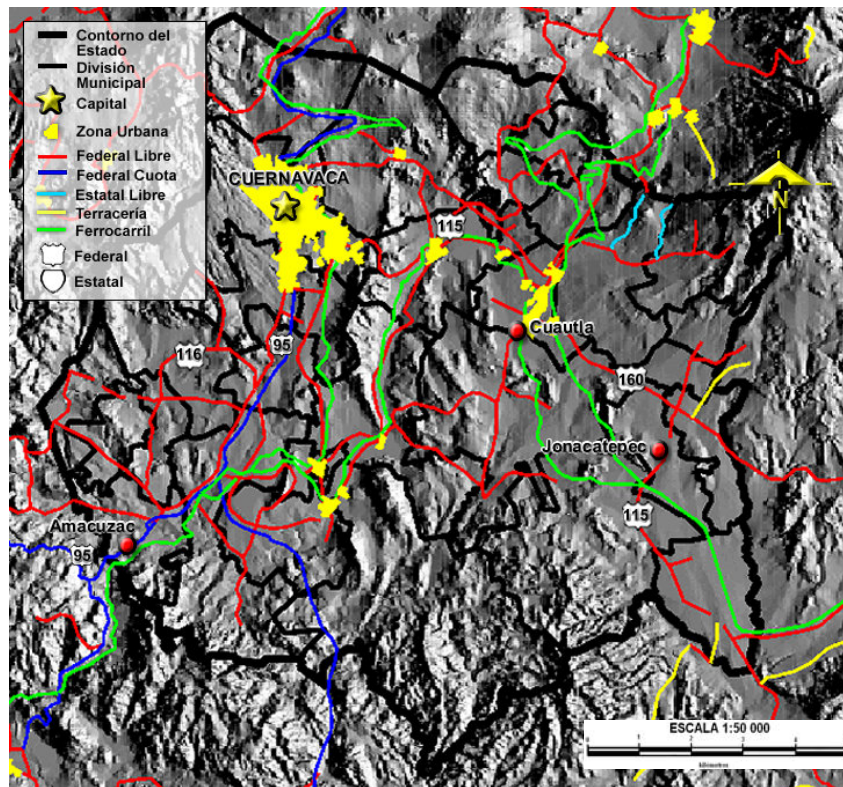


Fig. 5. Vías de comunicación. (INEGI, 2002).

3.2.- GEOLOGÍA

3.2.1.- MARCO GEOLÓGICO

3.2.1.1.- GEOLOGÍA REGIONAL

En el Estado de Morelos está constituido de rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas volcánicas son las más jóvenes y las más abundantes. (Fig. 6).

Las estructuras geológicas más notables son las constituidas por aparatos volcánicos y sus grandes espesores de lava enclavadas en el terreno tectonoestratigráfico Mixteco, (Capra et. al., 2002).

De acuerdo a estos autores, el basamento del terreno son las rocas del Complejo Acatlán, que no afloran en el área, cubiertas por un potente espesor de rocas calcáreas,

La región está limitada estratigráficamente por áreas que corresponden a dos provincias fisiográficas del país: la provincia de la Sierra Madre del Sur y la provincia del Eje Neovolcánico (Lugo, 1988). El territorio estatal cuenta con más de 2,700 m de desnivel entre su parte más alta de 3,450 m.s.n.m; (Volcán Chichinautzin) y la parte más baja (donde el río Amacuzac entra al estado de Guerrero) de aproximadamente 700 m.s.n.m.

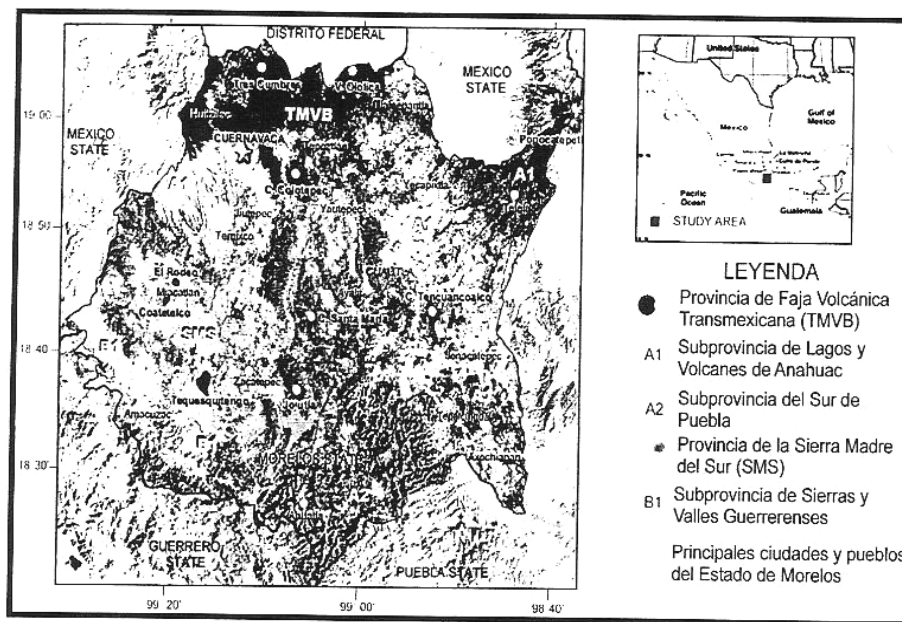


Fig. 7 Mapa de provincias fisiográficas de Morelos. (Gama et al., 2004)

3.3.1.1.- Provincia del Eje Neovolcánico

Esta provincia cubre la mayor parte del estado de Morelos desde el norte al sureste. Limita al sur y occidente con la subprovincia cuenca del Balsas (Provincia de la Sierra Madre del Sur). Se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de varios tipos acumulada en innumerable eventos volcánicos que se iniciaron a mediados del Terciario (hace 35 millones de años) y continuaron hasta el presente.

3.3.1.2.- Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac

Abarca todo el norte y el este del estado de Morelos, y cubre los municipios de, Huitzilac, Tlalnepantla, Totolapan, Tlayacapan, Atlatlahuacán, Cautla, Yecapixtla, Ocuituco, Tétela del Volcán, Zacualpan, Temoac, Jantetelco, Jonacatepec, Axochiapan y parte de los de Cuernavaca, Tepoztlán, Yautepec, Ayala y Tepalzingo. El área que

ocupa la subprovincia es de 2,204 km², lo que significa el 44.45% con respecto a la superficie total estatal.

Esta subprovincia está constituida propiamente por la gran sierra volcánica del Ajusco, que va del límite meridional de la sierra de las Cruces (estado de México-D.F.) y se extiende al oriente hasta las proximidades del Popocatepetl. El volcán Chichinautzin es el más elevado, dentro del estado de Morelos, con 3,450 m.s.n.m.

En la zona destaca la sierra de laderas escarpadas del Tepozteco formado por una intensa erosión de material de lahar (flujos hiperconcentrados de material volcánico). En el extremo noroeste los límites estatales se extienden en una angosta franja por las faldas del Popocatepetl hasta el cráter del volcán. Otra unidad de gran importancia es el gran llano con lomeríos a 1,250 m.s.n.m. que se extiende desde Yautepec hasta Axochiapan y cuya población más importante es Cuautla.

3.3.1.3.- Subprovincia Sur de Puebla

Esta provincia cubre la porción central y suroeste del estado de Morelos y limita al norte y oriente con el Eje Neovolcánico. Abarca una región de litología muy diversa, constituida por una gran variedad de rocas volcánicas antiguas, metamórficas de diferentes tipos y sedimentarias continentales, que incluye así mismo, depósitos lacustres de yeso del Mioceno. Se trata esencialmente, de la cuenca del río Atoyac, uno de los grandes e importantes afluentes del río Balsas. Los arroyos que alimentan al río Atoyac, han excavado cañadas en sus dos márgenes.

La subprovincia penetra al estado en su porción centro meridional, y está representada por una sierra volcánica de laderas escarpadas. La sierra está sumamente erosionada, por lo que se presenta como un enjambre de cerros, y su altitud va en aumento desde la periferia (1,000 m.s.n.m.) hasta la máxima en el centro (1,650 m.s.n.m.)

Ocupa el 12.21 % (605.76 km²) de la superficie total estatal y comprende parte de los municipios de Ayala, Tepalzingo y Tlaquiltenango (INEGI, 2002).

3.3.1.4.- Provincia de la Sierra Madre del Sur

Esta provincia limita al norte con la del Eje Neovolcánico, al este con la Llanura Costera del Golfo Sur, las Sierras de Chiapas y al Oeste de la Llanura Costera Centroamericana del Pacífico, y al sur con el Océano Pacífico. Abarca parte de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, México, Morelos, Puebla, Oaxaca, Veracruz y todo el estado de Guerrero. Está considerada como la más compleja y menos conocida del país, y debe muchos de sus rasgos particulares a su relación con la Placa de Cocos.

3.3.1.5.- Subprovincia de las Sierras y Valles Guerrerenses

Ocupa 2,148.33 km² del territorio morelense e incluye los municipios de Amacuzac, Coatlán del Río, Emiliano Zapata, Jiutepec, Jojutla, Mazatepec, Miaatlán, Puente e Ixtla, Temixco, Tetecala, Tlaltizapán y Xochitepec; así como partes de Ayala, Cuernavaca, Tlaquiltenango, Yautepec y una pequeña porción del municipio de Tepoztlán (INEGI, 2002).

En esta zona algunos de los sistemas montañosos de la subprovincia tienden a orientarse en dirección norte-sur, al contrario de la tendencia general de la provincia que es este-oeste.

Tal es el caso de los lomeríos surcados por cañadas sobre las laderas de la sierra del Ajusco, inmediatamente al este de Cuernavaca; de las sierras escarpadas calcáreas del noroeste de la subprovincia; de la llanura aluvial con lomeríos del valle del río Yautepec; de la llanura aluvial que se extiende al sur de Cuernavaca, desde Emiliano Zapata hasta Jojutla y de la gran meseta calcárea con cañadas que se extiende desde las ruinas de Xochicalco hasta Tehuixtla. Esta última, que presenta sus escarpes por el margen serpentional del río Amacuzac, tiene la particularidad de presentar algunos destacados rasgos cársticos. Entre ellos se encuentran el lago de El Rodeo. Por último, en el suroeste del estado hay una gran meseta con lomeríos que van de 900 a 1,200 m.s.n.m y que está constituida por aluviones antiguos erosionados (INEGI, 2002).

Particularmente, el glacis de Buenavista pertenece a la Parte Frontal de la Sierra Madre del Sur, pero por sus características particulares, se le ha ubicado en una zona transicional con el Eje Neovolcánico (Gama et. al., 2004).

3.4.- GEOMORFOLOGÍA DEL ESTADO DE MORELOS

Se presentan tres formas de relieve: zonas accidentadas que cubren el 17% del terreno al norte y al sur de la localidad y al sureste del municipio, se encuentran zonas semiplanas con una extensión de 37% del terreno en las faldas de los cerros y lomeríos al sureste del municipio y zonas planas que abarcan el 46% del centro del municipio

3.5.- CUENCAS HIDROLÓGICAS

La cuenca del río Balsas-Mezcala es una de las más importantes de la república mexicana, se ubica entre los paralelos 17°00' y 20°00' de Latitud Norte y los meridianos 97°27' y 103°15' de Longitud Oeste. Esta región abarca la totalidad del estado de Morelos con una superficie de 4,958.22 km², forma parte de dos sub-cuencas, la de los ríos Amacuzac y la del río Atoyac. La aportación de esta última es mínima. (Fig. 8).

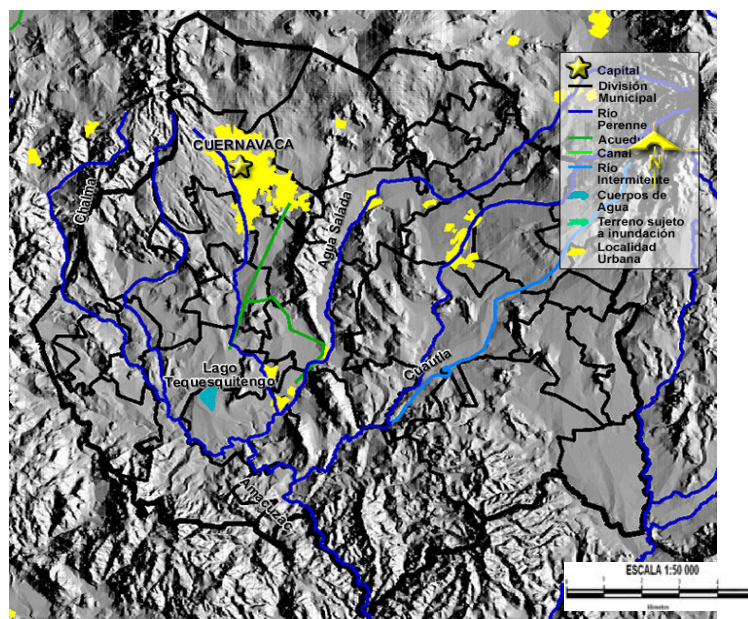


Fig. 8 Mapa de regiones hidrológicas del estado de Morelos. (INEGI, 2002).

La totalidad de los cuerpos de agua del estado pertenecen a la cuenca del río Balsas, el río más grande del sur del país que desemboca en el Océano Pacífico. En el estado de Morelos, el río Balsas se encuentra dividido en tres subcuencas: la cuenca de río Amacuzac con una superficie de 4,303.39 km², la cuenca del río Atoyac con 673.27 km² y la cuenca del río Balsas-Mexcala.

Entre los ríos resalta el Amacuzac, que tiene su origen en los ríos Chontalcoatlán y San Jerónimo, cuyas aguas afloran en las Grutas de Cacahuamilpa ya con el nombre de río Amacuzac. Éste se interna en Morelos por el Occidente, en su recorrido recaen los caudales de los ríos Chalma, Tebebe, Apatlaco, Tetlama, Yautepec, Cuautla y otros de menor importancia. En su trayecto de 68.8 km por la entidad, cruza los municipios de Amacuzac, Puente de Ixtla, Jojutla y Tlaxiiltlenango.

3.6.- ESTRATIGRAFÍA

3.6.1.-ROCAS PRE-TERCIARIAS

En la región afloran rocas sedimentarias marinas de edad Cretácico Inferior y Superior, representadas por calizas de ambientes lagunares y de plataforma, así como terrenos calcáreos en una secuencia flisch. Estas rocas presentan una topografía de aspecto redondeado; conforman sierras y valles alargados de rumbo norte-sur y noroeste-sureste que corresponden a pliegues anticlinales y sinclinales.

A su vez estas rocas que constituyen a las más antiguas de las que afloran en esta zona, se encuentran cubiertas por depósitos continentales, representados por conglomerados, areniscas, limonitas y evaporitas así como por derrames y depósitos volcánicos de composición andesítica y riolítica. Estas unidades están afectadas por fallas normales y fracturas, que definen dos sistemas principales cuyos rumbos son NW-SE y NE-SW.

Además se tiene la presencia de cuerpos intrusivos hipabisales granodioríticos, cuya interacción con los sedimentos carbonatados marinos ha provocado la formación de calizas marmorizadas y algunos depósitos de hierro, que rellenan fracturas primarias.

En esta provincia, donde afloran las rocas más antiguas que se han encontrado en el estado de Morelos, corresponden a la Formación Morelos del Cretácico Inferior. Esta unidad se presenta en estratos gruesos de calizas y dolomías de ambiente marino, con afloramientos en las cercanías de Cuautla: estas rocas presentan pliegues antitclinales y sinclinales recostados.

A esta unidad sobreyace la Formación Cuautla que presenta calizas con menos dolomías que la Formación Morelos y donde los estratos de caliza llegan a medir hasta 4m de espesor; en ocasiones con abundante pedernal en forma de lentes y nódulos que afloran en la cercanía de Tlayecac.

El Cretácico Superior está representado por una secuencia interestratificada de areniscas y lutitas calcáreas conocida como la Formación Mezcala, que presenta estratos delgados y plegados, con afloramientos cercanos a la ciudad de Cuautla.

Del Cenozoico afloran tanto rocas sedimentarias clásticas como rocas volcánicas que cubren en discordancia a las rocas del Cretácico. Entre estas el grupo Balsas, cubre en discordancia a las unidades más antiguas (Fig. 9).

TABLA ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA MORELOS-GUERRERO						
ERA	SISTEMA	SERIE	PISO	REGION DE CHILPANCINGO (1)	GUERRERO (2) CENTRO Y NORTE	MORELOS
CENOZOICO	CUATERNARIO		RECIENTE	ALUVION	ALUVION	ALUVION
			PLEISTOCENO			
	TERCIARIO		PLIOCENO	CHILPANCINGO	CUERNAVACA	CUERNAVACA
			MIOCENO	ROCAS VOLCANICAS	ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS	ROCAS VOLCANICAS FM ISPOLANITO
			EOCENO PALEOCENO	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRICIANO			
			CAMPANIANO			
			SANTONIANO	MEXCALA	MEXCALA	MEXCALA
			CONCACANO			
			TURONIANO	CUAJUTLA	CUAJUTLA AGUA SUCRA	CUAJUTLA
	MEDIO	CENOMANIANO	MORELOS	TAMAU-LIPAS SUPERIOR	MORELOS	
		ALBIANO				
		AFTIANO	GRUPO CICAPA*	CALLIZAS CON NERINEAS	TECOCUYUNGA AGUA SUCRA	
		BARREMIANO				
		HAUTERVIANO			ROCAS VERDES SECUENCIA METAMORFICA	
	INFERIOR	VALANGINIANO		ANHERITAS		
		BERRIASIANO				
		TITONIANO			FM ANGAD	
		BONONIANO				
		HAVRIANO				
JURASICO	SUPERIOR	DIPLERIUMEDIO				
		ARGOVIANO				
		DIVESIANO				
		CALLOVIANO				
MEDIO	BATHONIANO	JUR MED.	SPO. MARINO	CORGL. CUALAC		
	BAJOCIANO		TECOCUYUNGA			
INF	LIASICO		SPO. CONSUELO			
TRIASICO	SUP	RETIANO				
		NORIANO	FM CHAPOLAPA			
		CARNIANO				
		PERMICO				
PALEOZOICO	SUP	CARBONIFERO	IXCUINTOYAC ?	ESQUISTO TAXCO NO DIFERENCIADO		
		DEVONICO				
	MED	SILURICO	COMPLEJO IOLAPA			
		ORDOVICICO				
INF	CAMBRICO					
PRE-CAMBRICO		GNEISSES Y ESQUISTOS				

* Nombre informal
 (1) J. González A. (1972) y otros (2) G. Delibes T. y otros (1974) ** Información de subserie Paso Teocoma 2
 E. LOPEZ RAMOS (1978)

Fig. 9 Columna estratigráfica de la cuenca Morelos-Guerrero. (López Ramos, 1976)

3.6.2.- ROCAS DEL TERCIARIO CONTINENTAL

3.6.2.1.-Grupo Balsas (Teob)

(Eoceno – Oligoceno)

Los depósitos terciarios que descansan encima de las rocas cretácicas consisten de un grupo de sedimentos clásticos, volcánicos y lacustres, no marinos, que se denomina Grupo Balsas. Se encuentra constituido por conglomerados y materiales piroclásticos, algunas lavas andesíticas y basálticas, así como delgados estratos de caliza lacustre; estas características litológicas dividen el grupo en dos unidades: la primera es un conglomerado calcáreo formado por fragmentos de caliza, pedernal, dolomías y arcilla;

su coloración varía de rojiza a amarillenta, con litología muy similar a la Formación Cuernavaca.

3.6.2.2.-Riolita Tilzapotla

El nombre de Riolita Tilzapotla se propone para los afloramientos extensos de brecha tobácea riolítica situados en las cercanías de Tilzapotla, al sur de Tequesquitengo y del río Amacuzac. El área donde afloran dichas rocas se extienden por una distancia de 8 km al oriente de Tilzapotla, casi la misma distancia hacia el norte antes de que la formación desaparezca como resultado de la erosión. Consiste de una brecha tobácea de color pardo a rojizo oscuro, muy bien cementada y de grano grueso. La estratificación es tan gruesa o masiva que difícilmente se distingue en los afloramientos. Los centros eruptivos de este material probablemente estuvieron situados a unos pocos kilómetros de distancia hacia el sur. El espesor máximo de la unidad cerca de Tilzapotla es del orden de 250 m. La Riolita Tilzapotla descansa en concordancia sobre las capas más jóvenes del Grupo Balsas

3.6.2.3.-Andesita Buenavista

El grupo Buenavista fue propuesto por (Fries, 1960), para describir la potente sucesión volcánica compuesta por corrientes lávicas, brechas y toba de composición andesítica predominante, que forma el alto macizo montañoso situado al sur del río Amacuzac y al oriente de la carretera entre Amacuzac y Buenavista de Cuellar, Guerrero, De Cserna y Fries (1981), reconocen la porción jerárquica de esta unidad como correspondiente a una formación y proponen denominarla andesita Buenavista.

Los derrames de esta unidad varían en composición desde basalto a dacita y en la parte superior se presentan rocas riolíticas, pero los estudios geoquímicos de las muestras provenientes del área de Buenavista – tilzapotla indicaron que en esta área predomina la dacita sobre la andesita (Morán et. al., 1998). Interestratificadas con las corrientes lávicas se encuentran tobas y brechas volcánicas, así como capas tobáceas clásticas depositadas por agua. La primera capa encima de la toba riolítica Tilzapotla al oriente

de Amacuzac, es una lava alterada de color púrpura, probablemente de composición dacítica o de latita cuarcífera, con un espesor estimado de 600 a 1,000 m.

3.6.2.4.-Formación Tepoztlán

Los afloramientos de la Formación Tepoztlán se encuentran en la porción noroccidental de la zona, concretamente en los alrededores del poblado Tepoztlán, ubicado al norponiente de Yautepec. Cubre con discordancia erosional al Grupo Balsas. Constituye el cerro de El Sombrerito al sureste de Tlayacapan, en la zona norte y sur del poblado de Tepoztlán; a 6 km al este de dicha población aparece cubierta localmente por derrames basálticos de la Formación Chichinautzin.

Su composición es predominantemente de clásticos volcánicos andesíticos depositados en capas que varían en espesor quizás de 50 cm hasta más de 1,000 m. La topografía desarrollada en la formación difiere algo de la que caracteriza la mayoría de las rocas volcánicas de la región, ya que están mejor desarrollados los acantilados escalonados, por lo que los afloramientos exhiben la topografía más accidentada y acantilada que se observa en la región.

El espesor original completo de la formación no se observa en ninguna parte de la región; debido a la erosión posterior. El espesor máximo medido desde la base de la unidad cerca de Oacalco, hasta el afloramiento más alto al norte de este lugar, es aproximadamente de 1,000 m.

3.6.2.5.-Andesita Zempoala

El nombre de andesita Zempoala lo propuso Fries (1960), para referirse a la sucesión de rocas volcánicas andesíticas que afloran en la parte noroccidental del estado de Morelos y que se extienden por varios km al noroeste y al norte del estado de México; la sucesión forma algunas de las cumbres más altas de la región, que suben a alturas de 3,400 a 3,800 m.s.n.m.

Esta unidad está compuesta por derrames andesíticos de color gris, que están intercalados con brecha volcánica de la misma composición, capas tobáceas y algunos lahares; su composición varía de andesita a andesita basáltica. Su espesor se estima de por lo menos 800 m.

Esta andesita descansa concordantemente sobre la Formación Tepoztlan. Entre ambas unidades hubo un cierto grado de erosión pero no se observan evidencias de erosión intensa o de larga duración. La unidad que la sobreyace es el Grupo Chichinautzin del Pleistoceno, que se acumuló encima de la topografía quebrada, cortada profundamente en la Andesita Zempoala. Su edad se asigna al Mioceno tardío - Plioceno temprano. (De Cserna et. al., 1981).

3.6.2.6.-Formación Cuernavaca

La formación Cuernavaca, toma su nombre de los depósitos clásticos transportados por agua, expuesto y extensos, sobre los que se construyó la ciudad de Cuernavaca. La unidad aflora principalmente en la cuenca hidrológica del río Amacuzac y de sus afluentes. El borde septentrional de su área de afloramiento se extiende casi directamente al oriente desde la base austral del Nevado de Toluca, situado de 50 a 60 km, al poniente de Cuernavaca hasta la base del volcán Popocatepetl situano unos 25 km al oriente-nororiente de Cuautla, donde entra en el estado de Puebla (Fries, 1960).

La litología de la Formación Cuernavaca es muy compleja y variada, comprende materiales diversos tales como: cenizas, depósitos fluviales, brechas, travertino, margas y paleosuelos que constituyen rellenos antiguos del valle de Yautepec e incluso depósitos de yeso, así como materiales propios de los abanicos aluviales.

La parte septentrional y topográficamente más alta de la unidad está constituida predominantemente por conglomerados, cuyos constituyentes principales son fragmentos de rocas andesíticas, mientras que en las zonas bajas las capas de conglomerados son de materiales finos, limos y arenas (COREMI, 2000).

La Formación Cuernavaca descansa sobre la mayoría de las formaciones antes descritas (Fig. 10), en forma discordante; mientras que las rocas que la cubren son de la Formación Chichinautzin y se le ha asignado una edad del Plioceno (Fries, 1960)

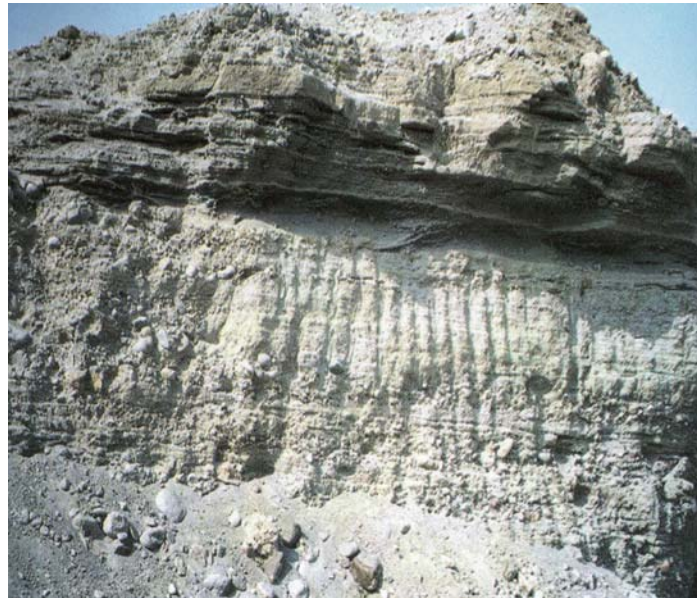


Fig. 10 Formación Cuernavaca

3.6.3.-ROCAS DEL CUATERNARIO

3.6.3.1.-Grupo Chichinautzin

El nombre del Grupo Chichinautzin proviene del alto cerro de este nombre, que es un volcán basáltico del Pleistoceno tardío o del Reciente situado al límite entre el estado de Morelos y el Distrito Federal. Se propone a este grupo para comprender todas las corrientes lávicas, estratos de toba, brecha y materiales clásticos interestratificados depositados por agua, de composición andesítica y basáltica. Descansan en discordancia encima de la Formación Cuernavaca o de unidades más antiguas. Unas corrientes lávicas se extienden en lengüetas irregulares hacia el sur, hasta la confluencia del río Amacuzac (Fries, 1960).

El grupo Chichinautzin muestra una topografía distintiva dondequiera que se presente. Se caracteriza por su juventud extrema y poca erosión. La interrupción del desagüe, con la acumulación aluvial son resultantes de otro rasgo característico alrededor de las corrientes lávicas. Las corrientes superficiales son irregulares y muchas hondonadas no desaguadas, que puede asemejarse las pequeñas dolinas que se forman en terreno calizo casi plano (Fries 1960).

La litología de este grupo es conformada principalmente de basaltos de olivino, con menor abundancia de basaltos de iddingsita, hiperstena y enstatita. Su espesor alcanza aproximadamente los 1,500 m (COREMI, 2000).

3.6.3.2.-Gravas y arenas volcánicas

Se constituye principalmente por material volcánico que cubre la superficie topográficamente bajas, estos depósitos son de pocos metros de espesor.

3.6.3.3.-Aluvión

El aluvión del Pleistoceno-Holoceno consiste en clastos de textura arenosa, de granulometría media a gruesa y en menor proporción, gravas que provienen de las rocas aledañas. Localmente se encuentran intercaladas con arcillas, lo que confiere confinamientos al acuífero de interés. Cubren casi toda la porción baja del área con espesores de unos cuantos metros.

3.7.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la región se presentan dos grandes zonas, determinadas por su litología.

- a) Zona inferior; consta de sedimentos marinos plegados en ondulaciones dirigidas esencialmente de sur a norte como producto de la Orogenia Laramide, que desaparecen debajo de la Sierra del Tepozteco.
- b) Zona superior; consta principalmente de depósitos volcánicos terciarios y cuaternarios. Los terciarios, consisten en su mayoría de productos volcánicos

como la Formación Tepoztlán y la cubre una enorme masa de lavas y conos de escoria denominados sierra elevada del Chichinautzin. Estas rocas volcánicas son en su mayor parte controladas por esfuerzos tensionales, genéticamente relacionados con la Faja Volcánica Transmexicana, cuyo fracturamiento principal va de SW-NE (Navarro et. al., 1998).

El extremo norte del área está dominado por estructuras volcánicas dispuestas W-E, mientras que las rocas sedimentarias de la parte central y sur siguen un arreglo N-S, (Fries, 1960).

3.8. SUELOS

Al norte de la entidad, los suelos tienen un origen predominantemente residual y volcánico, lo que los hace ácidos y poco fértiles, por lo que su uso agrícola es muy limitado. Además se tienen los Andosoles (INEGI, 2002), que son suelos que se encuentran en áreas en donde ha habido actividad volcánica reciente; así como Regosoles, Cambisoles, Acrisoles y Luvisoles. Otros suelos presentes en la subprovincia en llanos, lomeríos y valles son: Litosoles, Feozems, Chernozems y Fluvisol calcárico.

Los suelos dominantes en el glacis son: Acrisoles, Luvisoles y Andosoles en la porción norte; Regosoles, Leptosoles y Vertisoles en el sur.

3.9.-CLIMAS

Los climas subhúmedos, cálidos y semicálidos imperan en gran parte de la provincia, pero en ciertas regiones elevadas que incluyen algunas con extensos terrenos planos, los climas son semisecos, templados y semifríos; en el oriente, hay importantes áreas montañosas húmedas cálidas y semicálidas.

3.10.- VEGETACIÓN

La vegetación que predomina en la depresión del Balsas en las regiones surorientales de la provincia, es la selva baja caducifolia, los bosques de encinos y de coníferas ocupan las zonas más elevadas, y la selva mediana sucaducifolia, se extiende sobre toda la franja costera del sur. Aparte de esta vegetación hay en la provincia una de las comunidades florísticas más ricas del mundo.

3.11.- ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO

311.1-FISIOGRAFIA DEL GLACIS DE BUENAVISTA

El glacis de Buenavista es un pie de monte volcánico, localizado en los límites de 2 provincias fisiográficas: Sierra Madre del Sur y Eje Neovolcánico (Gama et. al., 2004). Se extiende entre los estados de Morelos y México entre las coordenadas 18° 45'-19° 00' de latitud N y 99° 25'-99° 05' longitud W. Ocupa una superficie e 301 km² (Ortiz, 1978), pero recientemente Martínez y López (2005) le asignan una extensión de 202.7 km² (Fig. 11).

El pie de monte volcánico del glacis está formado por un extenso abanico, constituido por materiales de la formación Cuernavaca (Palacio, 1982). Ortiz (1978) señala que esta estructura se forma por acumulación de sedimentos volcánicos procedentes de la denudación del relieve montañoso de las Sierras de Zempoala y Chichinautzin.

La edad del glacis ha sido ubicada en el Plioceno (Palacio, 1982), aunque Mooser atribuye su formación al Pleistoceno por asociación a extensos abanicos volcánicos correspondientes a la Formación Tarango. Los tepetates que sobreyacen a la Formación Cuernavaca fueron fechados por Solleiro et. al., (2003) dando una edad de 12,190 años.

Las altitudes varían de los 3,000 a los 1,100 m.s.n.m. Los tepetates dentro del glacis se ubican en elevaciones comprendidas entre los 1,900 m.s.n.m. y afloran en sitios en donde se presenta erosión intensa. A pesar de que la mayoría de los tepetates se pueden observar en superficie, en la zona sur-este, subyacen a un suelo poligenético (suelo

formado en dos o más períodos de pedogénesis, en cada uno de los cuales se producen propiedades específicas lo suficientemente diferentes que, sin embargo, han tenido una posterior evolución conjunta) y que ha sido clasificado como Luvisol (Escamilla et. al., 2002).

Más recientemente Martínez y López (2005). Estudian las unidades ambientales biofísicas en el glacis, estableciendo 7 categorías:

1.- Laderas de montaña de origen endógeno volcánico de flujos piroclásticos del Plio-Cuaternario.

2.- Lomeríos de origen endógeno volcánico de flujos piroclásticos del Plio-Cuaternario.

3.- Pie de montes generales de origen endógeno volcánico de flujos piroclásticos del Plio-Cuaternario.

4.- Superficies cumbrales interfluviales entre barrancos adyacentes de origen endógeno volcánico de flujos piroclásticos del Plio-Cuaternario.

5.- Pie de montes locales de origen exógeno acumulativo aluviales del Cuaternario (Holoceno).

6.- Planicies aluviales de origen exógeno acumulativo del Cuaternario (Holoceno).

7.- Laderas de barranco de origen exógeno denudatorio del Cuaternario (Holoceno) con planicies aluviales acumulativas marginales.

El clima de la región es templado-húmedo, con una temperatura media anual de 20.7 °C (García, 1988) y una precipitación anual de 1,147 mm, con régimen de lluvias de verano de 993 mm. En los meses de junio a septiembre se presenta el periodo más húmedo en la zona y el más seco pertenece al periodo comprendido de diciembre a marzo. Perteneciendo a un grupo de clima semicálido (INEGI, 2004).

La vegetación corresponde a bosques de *Pinus* y *Quercus*, en las partes más altas (>1.900 m) y a especies de sucesión secundaria, como los *Juniperus* (Rzedowsky, 1978); aunque en la actualidad, esta vegetación se ha visto disminuida por la presencia de actividad agrícola, así como debido al pastoreo; y se observa una intensa erosión que ha dejado amplias zonas denudadas.

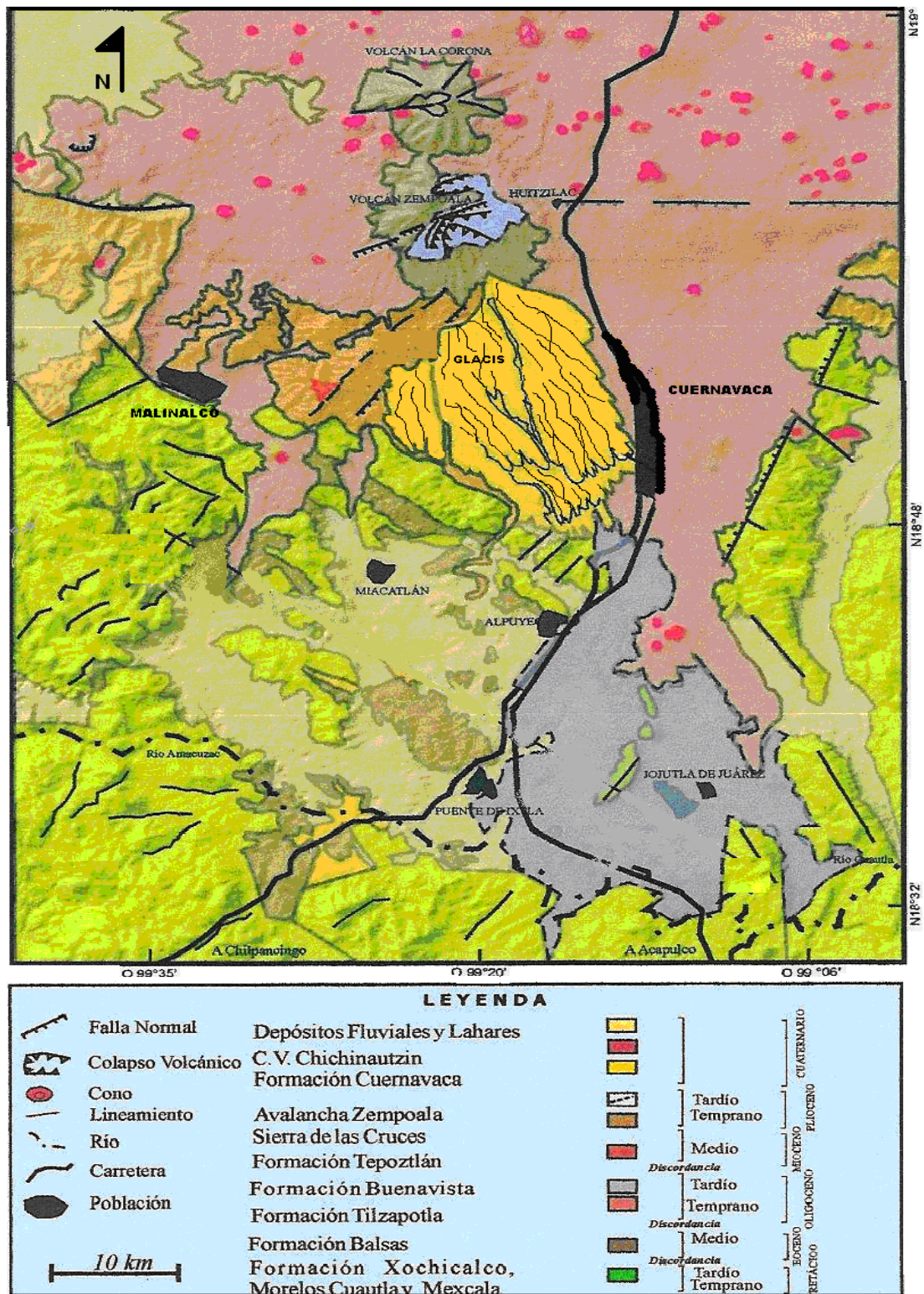


Fig. 11 Mapa Geológico del área de estudio. Compilado de (Fries, 1956,1960), Fries y De Cserna ,1966,1981; García-Palomo et. al., 2000; y Siebe et. al., 2004.

4.- METODOLOGÍA

Los métodos aplicados para estudiar la distribución y génesis de los tepetates en el glacis, involucran 4 fases de trabajo:

- 1).- Trabajo de gabinete.
- 2).- Trabajo de campo
- 3).- Análisis geomorfológico y petrográfico
- 4).- Interpretación y discusión de resultados

4.1.- TRABAJO DE GABINETE

Se inició con la búsqueda de información, delimitación del área y fotointerpretación

4.1.1.- FOTOINTERPRETACIÓN

La fotointerpretación es definida como el acto de examinar una imagen fotográfica con el propósito de identificar objetos y determinar su relevancia en el contexto. Es decir, que permite determinar la naturaleza y las características de los objetos fotografiados, utilizando la técnica de la fotogrametría (American Society of Photogrammetry, 1984). Esta técnica consiste en elaborar mapas topográficos por métodos indirectos estableciendo relaciones geométricas a escala y matemáticas entre los detalles del terreno con un registro fotográfico de cubrimiento estereoscópico (Silva et. al., 2001).

La técnica requiere una conjunción de elementos para la obtención de buenos resultados, entre los cuales está la de conocer como son los objetos en la realidad para poder localizarlos en una fotografía. La interpretación por fotografía aérea siempre va a depender de las formas y de las características específicas de la zona.

Se analizaron fotografías aéreas en escala de 1:50,000 del Estado de Morelos, clave 1063, AA20291, 26367, de la foto 19A R-5 13-21 hasta la 19A R-5 16-22 de INEGI del año 2002 (Fig.12); Utilizando un estereoscopio marca Wild / Heerbrugg modelo ST4-17717, aumento de 3x, año 2001. Se analizaron mapas topográficos e imágenes de satélite, con lo cual se logró determinar rasgos morfológicos importantes, lineamientos estructurales e identificar el sistema de drenaje presente en la zona mediante un mapa de densidad de disección del Glacis.

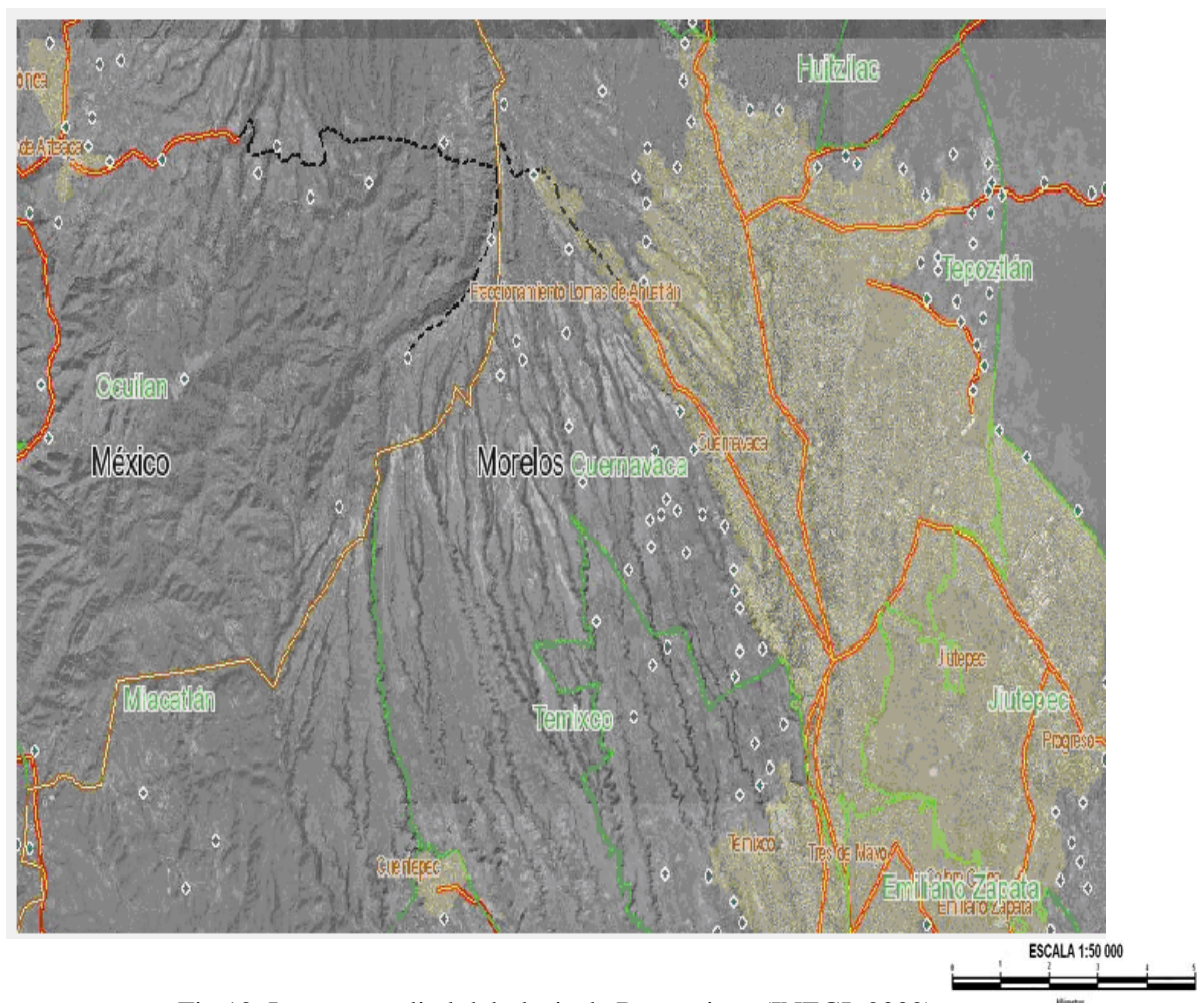


Fig.12 Imagen satelital del glacis de Buenavista. (INEGI, 2002)

4.2.- TRABAJO DE CAMPO

Se hizo un recorrido por la zona del glacis en diciembre del 2005 y mayor 2006, tomando como base lo observado en fotos y el trabajo previo realizado por Escamilla et. al., (2002) y Solleiro et. al., (2003).

El trabajo de campo se llevó a cabo en 12 días, dividido en dos salidas al área de estudio. La primera etapa de 10 días y la segunda de 2 días; en el primero se realizaron levantamientos de secciones estratigráficas de N-S, con el fin de reconocer el material edafológico en la zona, haciendo una recolección de muestras e identificación detallada. Mediante un GPS marca Garmin modelo 2000 se ubicaron los puntos dentro del mapa topográfico. La segunda etapa consistió de 2 días en los cuales se recorrió la zona de estudio para establecer posibles relaciones con el material perteneciente a la formación del Tepozteco y de la Sierra del Chichinautzin.

Se describieron un total de 51 sitios seleccionados, para llevar a cabo una descripción del material parental y mineralógico (megascópicamente) utilizando una lupa de 15x. Se identificaron los tepetates y su relación con los suelos, sobreyacentes y el material conglomerático que le subyace.

4.3.-ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Con base en el mapa topográfico clave Cuernavaca E-14-A-59 escala 1:50,000 (INEGI) se hizo un análisis del relieve, siguiendo la metodología de Lugo (1988).

4.3.1.-MAPA DE DISECCIÓN DE RELIEVE

En este plano se marca la densidad de corrientes fluviales a través de la medición de los tawlets, los cuales son el resultado de la acción fluvial. Por principio, se dibujan en el plano topográfico todos los tawlets, no sólo los que se observan en la carta, expresados por las corrientes fluviales, sino también, los que se infieren por las formas de las curvas de nivel. Después se divide el plano en figuras geométricas, regulares de 16 a 25 km² de área total, dependiendo de la escala de la carta topográfica que se esté utilizando.

En cada figura se cuenta el número total de tawlets y se divide entre su área, anotando el resultado en el centro de la misma. Es muy recomendable utilizar las figuras geométricas como rectángulos o cuadrados, por la facilidad para calcular el área

correspondiente en base a la configuración misma de las cartas topográficas, las cuales contienen una red por donde se sitúa la latitud y longitud.

Con todos los números centrales se hace una configuración total, interpolando los valores que no aparezcan en los vértices y uniendo los valores con isolíneas (Fig. 15). Finalmente los intervalos entre isolíneas se colorean o se achuran, dependiendo de la elección del autor. La configuración consiste en unir los puntos del mismo valor con líneas, las cuales no deben cruzarse, ni cortarse (Lugo,1988).

4.3.2.-MAPA DE PENDIENTES

Para el estudio de suelos este análisis es de gran importancia, ya que la pendiente condiciona un gran número de sus propiedades (color, drenaje, desarrollo) (Lugo, 1988). De igual manera influye en las variaciones del mesoclima y del microclima, los sedimentos y también el movimiento de agua. Es posible evaluar de igual manera el potencial erosivo de los suelos a través de la pendiente que está sujeta a dos variables: L = longitud y S =gradiente.

El procedimiento para elaborar este mapa consiste en medir la distancia horizontal que hay entre dos curvas de nivel, (L) sobre una línea perpendicular a ambas. Después se divide el valor de la distancia vertical (S) intervalo entre las dos curvas de nivel y la distancia horizontal medida previamente. El intervalo de curvas de nivel que se elige es a criterio del autor, pero es recomendable que no sea muy grande, para que puedan ser identificados los cambios en la pendiente del terreno. El resultado puede ser expresado en grados (empleando la función trigonométrica \tan^{-1} del cociente anteriormente señalado). También puede dejarse en forma de quebrado, o efectuar la división y manejar la pendiente en porcentaje multiplicando el cociente por cien. En cartografía geológica es recomendable utilizar el valor de la pendiente en grados, pero en mapas de suelos, normalmente se expresa en grados (Lugo, 1988).

4.4.-LABORATORIO

4.4.1.-PETROGRAFÍA

Una actividad del laboratorio consistió de analizar secciones delgadas de muestras de tepetate de la zona de estudio, posteriormente con estas secciones delgadas se procedió a la descripción petrográfica con el fin de caracterizar mineralógicamente los constituyentes más comunes y característicos. Al mismo tiempo esto sirvió para hacer una correlación del material recolectado e identificado. Se definieron fábricas, texturas y se identificaron rasgos asociados con la pedogénesis de 7 muestras que se tomaron y analizaron en láminas delgadas.

4.4.2.-COMPOSICIÓN QUÍMICA TOTAL

El análisis se realiza con las siguientes relaciones químicas para poder interpretar los valores numéricos y así inferir los procesos a los que está sometido el material. Los datos obtenidos fueron por medio de fluorescencia de rayos X, en el laboratorio de Fluorescencia de rayos X del Instituto de Geología de la UNAM (Escamilla, 2002).

Relación sílice/aluminio (Sa).

El valor disminuye al progresar el intemperismo (VanWanbeke, 1991).

$$Sa = \text{SiO}_2 / \text{PM} / \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{IP} \setminus / 1$$

Relación $\text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$.

Esta relación depende del contenido de minerales amorfos y marca la diferencia entre los amorfos silicatados y los amorfos de hierro. El valor es pequeño cuando se trata de suelos jóvenes poco desarrollados con grandes cantidades de alofano (cercana a cero), mientras que un valor de 0.4 implica que se tiene un 40% de amorfos de hierro.

Relación bases/alúmina.

Una relación más grande que la unidad refleja un suelo alcalino o de desarrollo débil (Retallack, 1990).

$$\text{Bases/alúmina} = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$$

4.5.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Con toda la información se elaboraron mapas de distribución de tepetates. Con el resultado de los análisis físicos, químicos y petrográficos se plantearon hipótesis en cuanto a la génesis.

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.-RESULTADOS

5.1.1.-DESCRIPCIÓN DE SITIOS EN CAMPO

Como se observa en la tabla 2 y la figura 16 los tepetates se encuentran principalmente en la zona centro del glacis en las siguientes coordenadas.

DATOS	COORDENADAS (°)	ALTITUD (m.s.n.m)	OBSERVACIONES	
1	N W	185826.2 991836.7	2013	Suelo rojo.
2	N W	185604.9 991950.2	1984	ZONA DE AFLORAMIENTO DE TEPETARES.
3	N W	185603.2 991946.7	1975	Agrietamiento del suelo, debido a propiedades vérticas.
4	N W	185600.9 991947.3	1916	Suelo rojo.
5	N W	185556.2 991945.3	1873	Zona de transición donde sobresale el TEPETATE color pardo.
6	N W	185604.1 991811.6	1866	La porción continua de suelos se acaba y comienzan a aflorar los TEPETATES.
7	N W	185557.2 991811.2	1871	Contacto con el conglomerado y el TEPETATE.
8	N W	185503.6 991744.8	1777	Suelo comienza a agrietarse, presencia de vidrio volcánico.
9	N W	185435.2 991736.2	1676	Suelo pardo
10	N W	185423.5 991727.1	1662	Vertisoles
11	N W	185417.1 991723	1624	Regosoles
12	N W	185543.2 992014.3	1844	TEPETATE color pardo
13	N W	185527.7 992012.9	1836	Vertisol.
14	N W	185522.0 992003.1	1832	Vertisol.
15	N W	185518.2 991959.6	1814	Vertisol.
16	N W	185512.7 991948.6	1793	Regosol.
17	N W	185457.5 992002.2	1708	Regosol.

18	N W	185421.3 991951.7	1647	Vertisol
19	N W	185432.8 991955.9	1672	Vertisol.
20	N W	185505.0 992003.0	1623	Vertisol
21	N W	185352.5 991944.5	1617	Leptosol.
22	N W	185358.6 992012.7	1611	Leptosol.
23	N W	185242.7 991934.7	1597	Aluvión.
24	N W	185240.6 991934.8	1596	Aluvión.
25	N W	185211.0 991920.8	1591	Cuatepec, conglomerado.
26	N W	185155.0 991918.9	1580	Cuatepec , conglomerado
27	N W	185057.9 991819.1	1604	El suelo ha cambiado usado para potrero principalmente
28	N W	185024.5 991650.0	1601	Suelo sobre el conglomerado.
29	N W	184915.1 991539.3	1623	Vertisol.
30	N W	184915.4 991539.2	1622	Banco de arena.
31	N W	185243.3 991625.4	1601	Conglomerado por encima del vertisol.
32	N W	185243.3 991625.3	1604	Conglomerado
33	N W	185438.2 991706.7	1763	Conglomerado.
34	N W	185512.2 991715.0	1775	Sedimento suelto
35	N W	185546.3 991720.8	1768	Sedimento suelto.
36	N W	185547.5 991721.0	1766	Luvisol.
37	N W	185550.8 991722.2	1878	Afloramiento del TEPETATE.
38	N W	185610.1 991727.6	1869	Vertisol.
39	N W	185609.5 991728.0	1867	Vertisol.
40	N W	185540.1 991721.4	1860	Vertisol más desarrollado.
41	N W	185521.7 992002.5	1853	Vertisol.
42	N W	185523.9 992006.7	1853	Vertisol.

43	N W	185423.8 991727.6	1847	Vertisol.
44	N W	185425.4 991726.6	1845	Suelo rojizo sobre el TEPETATE
45	N W	185436.2 991734.8	1839	Suelo rojizo.
46	N W	185450.5 991739.8	1864	Suelo redepositado sobre el TEPETATE.
47	N W	185613.1 991726.6	1882	TEPETATES de tonalidad rosa.
48	N W	185609.2 991729.2	1879	TEPETATES de tonalidad rosa.
49	N W	185609.6 991728.2	1877	TEPETATES de tonalidad rosa.
50	N W	185547.5 991721.1	1873	TEPETATES de tonalidad rosa.
51	N W	185547.4 991721.1	1871	TEPETATES, AQUÍ SE ACABAN.

Tabla 2. Coordenadas de localización de tepetates en el glacis de Buenavista

5.1.2.- ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

a).- Fotointerpretación

El mapa de fotointerpretación está constituido por los tawlets (red fluvial radial detrítica) en color azul, en rojo materiales arcillosos (suelo arcilloso) y aluvión (de textura mas gruesa) distinguidos por diferencia de tonalidad; en color rosa, tobas de composición andesítica bastante características del relieve volcánico extrusivo. La red fluvial radial detrítica está distribuida de norte-sur, en la parte norte se encuentran solamente las tobas, no hay presencia de escarpes profundos, éstos comienzan en la parte central y se extienden hacia el sur; En la parte central del glacis se encuentra la mayor acumulación de aluvión. La tonalidad más oscura dentro del aluvión representa los tepetates caracterizado como tobas, ya que por este método no se puede diferenciar el aluvión de los tepetates (Fig.13).

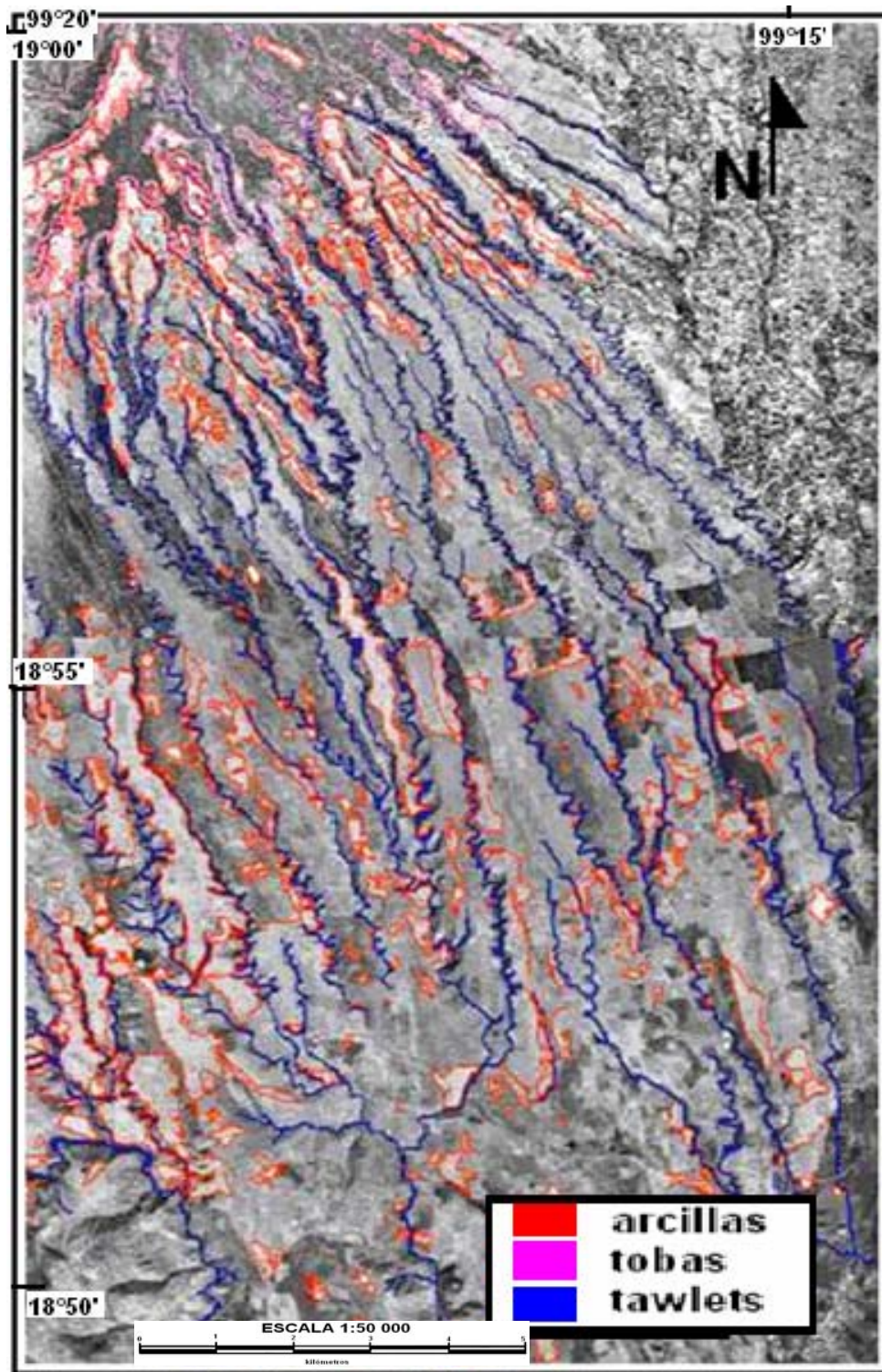


Fig. 13 Mapa de Fotointerpretación del glacis de Buenavista.

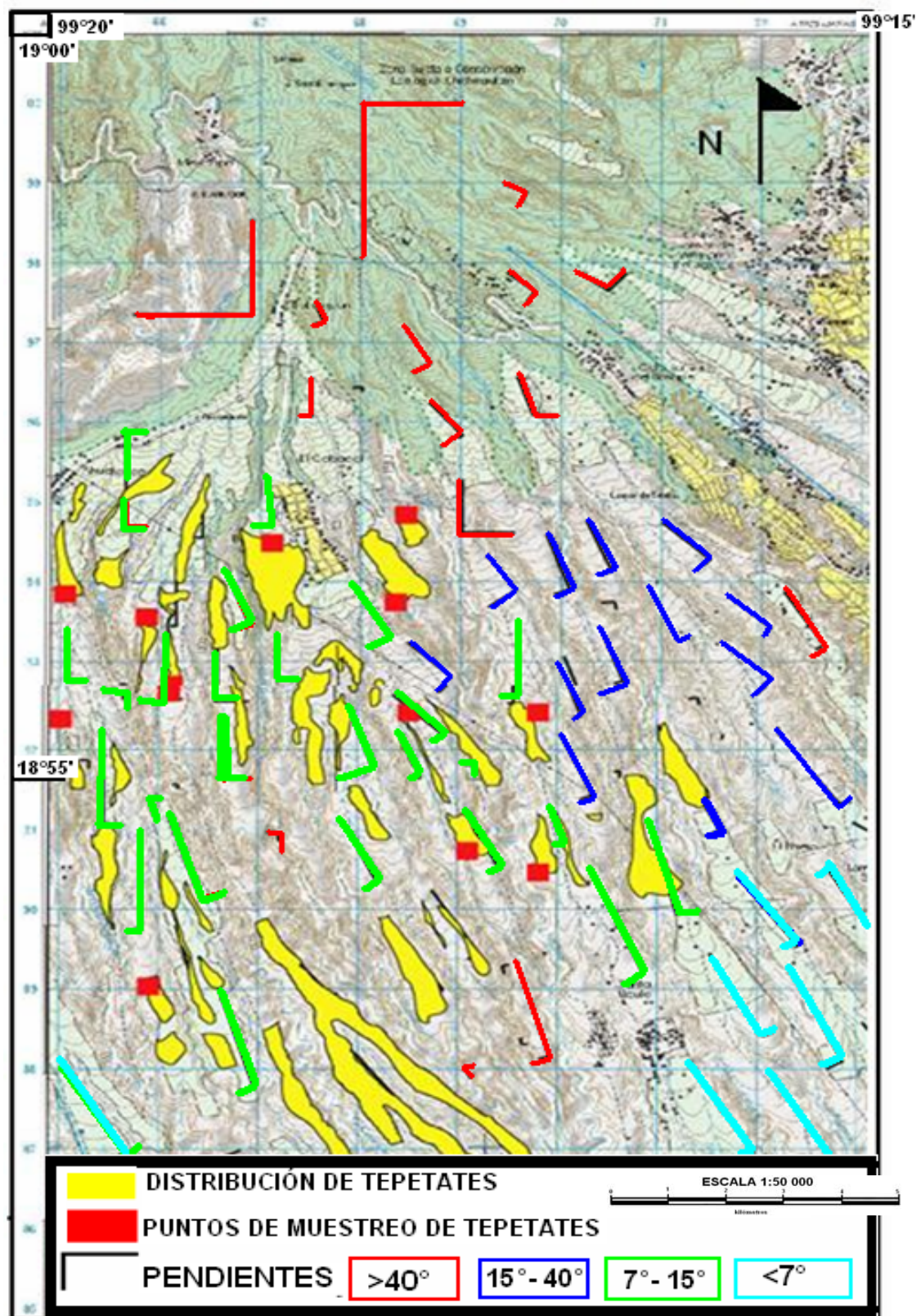


Fig. 14 Mapa de pendientes del glacis de Buenavista.

b).- Mapa de pendientes

Las pendientes dentro del glacis son variables, van de 5°-80° (Fig.14), en la zona norte, en la base de la Sierra de Zempoala entre las coordenadas 18°56'03''N-18°58'27''N y altitudes > 1,975-2013 m.s.n.m., las pendientes son > 40°. Iniciando el pie de monte a altitudes entre 1,596-1,975 m. Las pendientes son más suaves variando de 10°-15° y en la parte sur de 5°-10°. Se tienen escarpes y barrancas con un desnivel de 100 m y pendientes > 60°, cuya orientación es N-S.

La zona en donde se encuentran los tepetates es la central, en pendientes de 10°-15° ya que en esta configuración del relieve se permiten los procesos de acumulación.

c).- Mapa de disección de relieve

La configuración de isolíneas dentro del mapa de disección de relieve demuestran las zonas de acumulación de agua, de escorrentía y la tendencia que hay en la acumulación de sedimentos (Lugo, 1988).

Los datos obtenidos de disección del relieve muestran que la zona norte es la más disectada con valores de 4.43-4.93 km/km² (18°55'N-18°58N), en tanto que la región sur, a altitudes < 1,775 m.s.n.m. se tienen los valores más pequeños 3.0-3.6 km/km².

De esta información se obtiene que la zona donde hay menor acumulación de agua es donde se encuentran depositados la mayor parte de los tepetates con valores que van de 3.62-4.93 km/km² (Fig. 15).

La porción norte con la disección más alta, es donde ocurre una mayor escorrentía y en consecuencia, se tiene menor acumulación, la zona sur corresponde con una zona de infiltración.

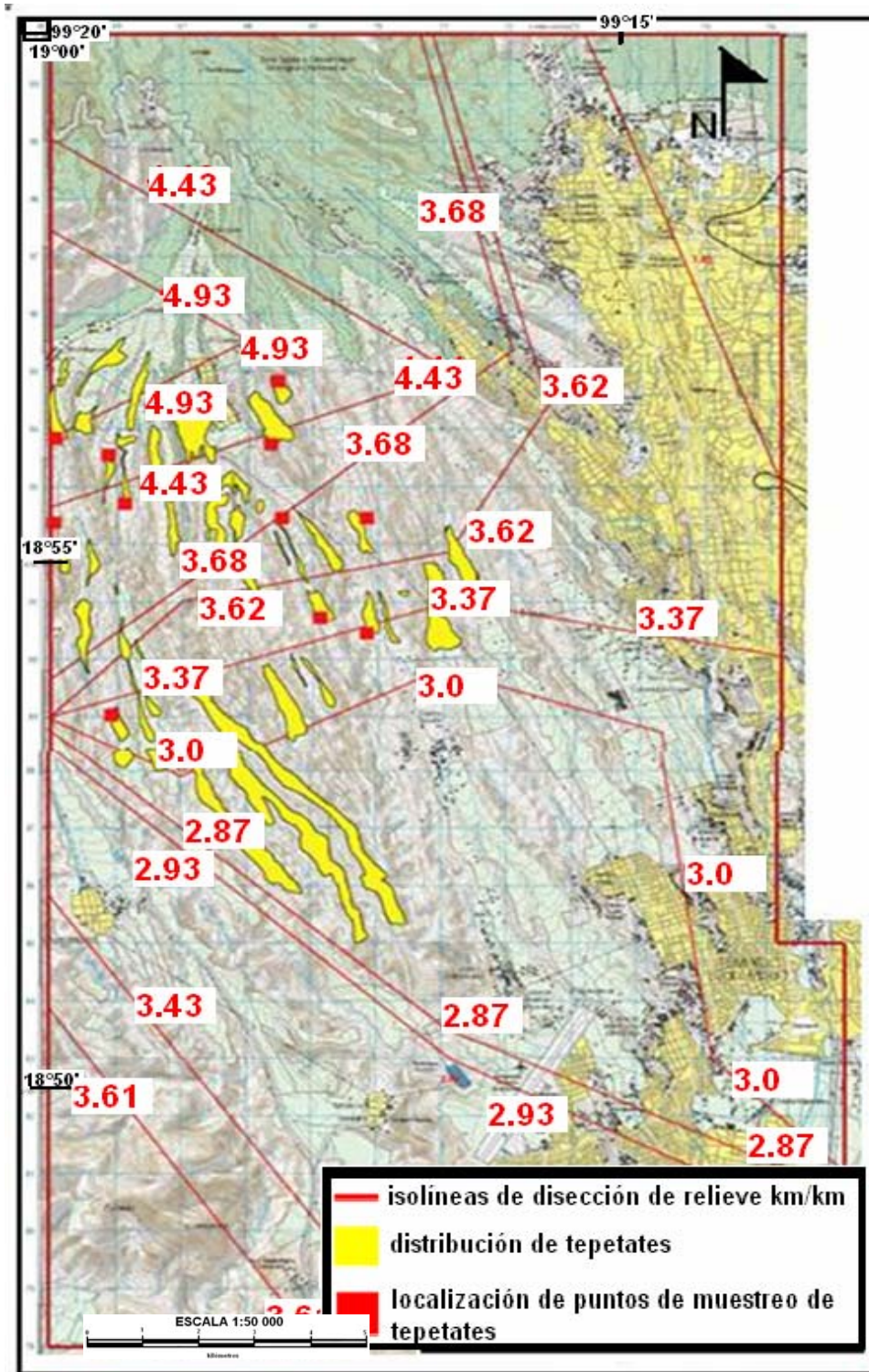


Fig. 15 Mapa de disección de relieve.

d).- Mapa de distribución de tepetates

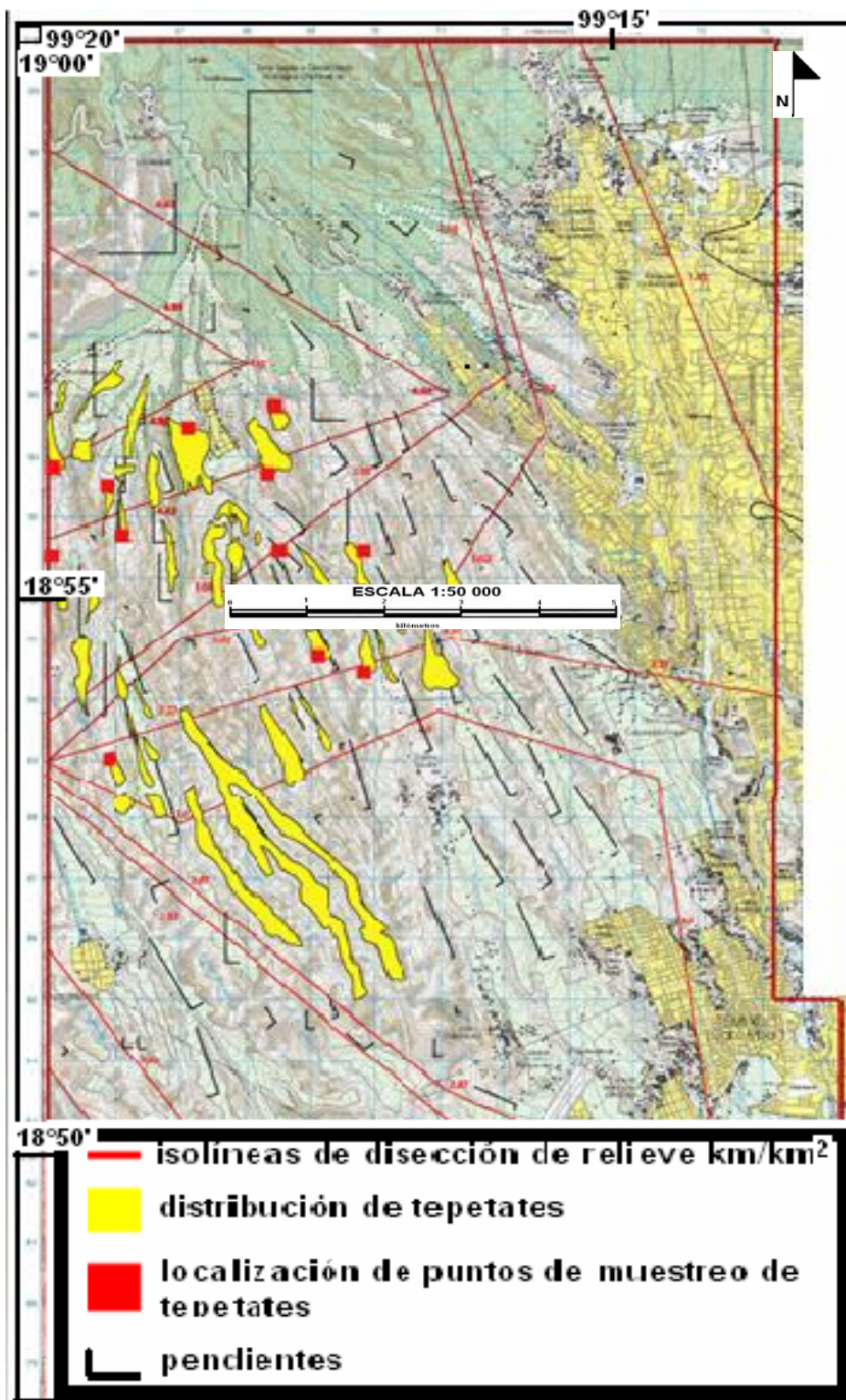


Fig. 16 Mapa de distribución de Tepetates en el glacis de Buenavista.

Por los puntos de verificación de tepetates en la zona central del glacis (1,844-1,984 m.s.n.m.), se establece que la distribución de los tepetates corresponden a las siguientes condiciones: Coinciden con zonas de disección de relieve intermedio y pendientes

suaves; Se considera que esta área por dichas condiciones geomorfológicas resultó adecuada para la acumulación de estos materiales.

En la porción norte, los tepetates subyacen a suelos rojos arcillosos (Acrisoles, Luvisoles) (Fig.16), tanto que en el sur, no hay tepetates ni suelos rojos y en su lugar se tienen suelos de color negro (Vertisoles), agrietados, descansando sobre los conglomerados de la Formación Cuernavaca.

5.1.3. PROPIEDADES DE LOS TEPETATES

- a. **Morfología**
- b. **Propiedades físicas y químicas**

a. **Morfología:** Se identificaron 3 tipos de tepetates (Fig. 18)

a).- Tepetate Blanco: Comprende las capas inferiores (Fig. 18-a). Es un tepetate con tonalidades claras (color Munsell 10YR 7/3), tanto en húmedo como en seco. Es masivo y con una textura principalmente arcillo limo-arenosa. Está constituido principalmente por feldespatos y vidrio volcánico.

b).- Tepetate Rosa: Su color predominante es un poco más oscuro que el anterior, que se nota aún mas en húmedo (color Munsell seco 10YR 6/4; húmedo 10YR 3/6). Muestra un material más heterogéneo, con una mezcla de partículas de minerales volcánicos frescos, alterados y restos de suelo con fragmentos de carbón. En él son claros los cutanes de arcilla. Su estructura, aunque es masiva, muestra un fuerte agrietamiento. Su textura es más arcillosa que el tepetate blanco (Fig. 18-b). Un rasgo característico es la presencia de abundantes concreciones de Fe-Mn de 1 mm de diámetro.

c).- Tepetate Pardo: Comprende el tepetate superior (Fig.18-c), cuyo color es pardo amarillento (color Munsell seco 10YR 3/6; húmedo 10YR 5/6). Muestra material volcánico grueso, en una matriz arcillosa, con fragmentos de suelo y gruesos cutanes de arcilla. Se observan laminaciones delgadas, discontinuas de óxidos de hierro.

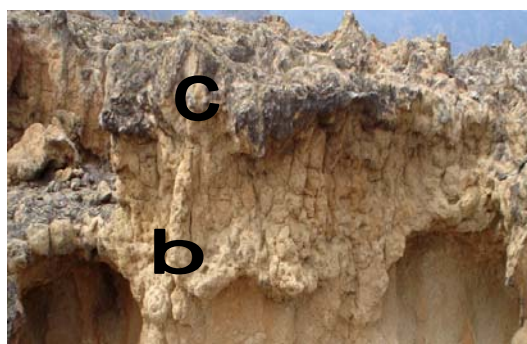


Fig. 17. Capas de tepetate subyaciendo a los Suelos rojos en la parte norte del glacis

Fig. 18. Detalle de las capas de tepetate, en la parte norte del glacis.

Un rasgo característico de todos los tepetates es su grado alto de compactación, su dureza y la presencia de un agrietamiento fuerte. Este es más notorio en el tepetate pardo y rosa. En vista de planta estas grietas forman polígonos extendiéndose las fracturas en los planos verticales (Fig. 19). El tepetate rosa es más suave, lo que origina que por erosión diferencial, el pardo y el blanco sobresalgan.



Fig. 19 Agrietamiento de forma poligonal de tepetates.

b. Propiedades físicas y químicas:

Cada Tepetate, de acuerdo a diferencias observadas en el campo, fue subdividido en capas. El tepetate blanco comprende las capas VI y VII; el rosa las capas IV y V; el pardo las capas I, II y III.

Sus propiedades físicas y químicas se presentan en la tabla 3.

Tabla 3 Propiedades físicas y químicas de Tepetates.

Tepetate	Capa	Prof. [cm]	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%) <0.002 [mm]	Si/Al*	B/A**	Fes***
Pardo	I	0-25	4.98	25.96	73.69	2.69	0.08	0.17
Pardo	II	25-73	49.18	22.96	27.77	3.75	0.39	0.11
Pardo	III	73-105	59.65	12.57	27.88	3.32	0.56	0.12
Rosa	IV	105-138	23.91	36.23	39.86	5.09	0.14	0.18
Rosa	V	138-160	12.86	39.32	47.81	6.62	0.1	0.12
Blanco	VI	160-200	15.53	29.51	54.96	4.63	0.09	0.14
Blanco	VII	200-220	25.37	30.54	44.08	4.5	0.11	0.11

* Relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

** Índice bases/alúmina

*** $\text{Fes} = \text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$

El tepetate pardo, muestra variaciones texturales marcadas entre las 3 capas; inicialmente se asociaron al mismo tepetate porque no se tiene una superficie discontinua, con agrietamiento en su parte superior, que sí es claramente observable entre los 3 tepetates. La primera capa es muy arcillosa, lo que puede deberse únicamente a una gradación en el depósito. Los índices de alteración muestran valores similares, para las capas II y III, variando de 3.3-3.8 en la relación sílice/alúmina; de 0.4-0.6 en la de bases/alúmina y de 0.11-0.12 en la de hierro/sílice; estos valores reflejan poco intemperismo. Los que presentan la capa I son diferentes, por lo que es probable que esta capa no se asocie genéticamente al tepetate pardo y sea resultado de un proceso de sedimentación.

Las capas IV y V del tepetate rosa poseen propiedades similares con porcentajes semejantes de arena, limo, arcilla, dominando las fracciones finas, así como en sus índices de alteración los cuales muestran valores que denotan un intemperismo bajo. Las capas VI y VII del tepetate blanco también son muy parecidas, con mayor dominancia de arcilla y valores bajos del índice sílice/alúmina que en el rosa, indicando un mayor intemperismo.

5.1.4.- ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Se analizan 7 láminas delgadas de los tepetates para describir cada capa.

TEPETATE PARDO CAPA I 0 – 25 [cm]

Se observa una matriz arcillosa de color pardo con plagioclasas de tamaño limo que son semiangulosas. Los minerales de mayor tamaño son semiredondeados. La mineralogía observada está constituida de: cuarzo, plagioclasas, minerales Fe-Mn muy alterados por

oxidación, biotita y hematita. Se observa acumulación de fitolitos y cutanes como presencia de rasgos pedogenéticos y pequeños fragmentos de carbón. (Fig. 19-a).

TEPETATE PARDO CAPA II 25-73 [cm]

Se observa una matriz arcillosa de color pardo con material volcánico grueso. Fragmentos de roca de tamaño arena semiangulosos. La mineralogía observada está constituida de: plagioclasas, cuarzo, micas. Se observan nódulos de hierro y manganeso demostrando condiciones de óxido reducción. (Fig. 19b).

TEPETATE PARDO CAPA III 73-105 [cm]

Se observa una matriz arcillosa de color pardo con impregnaciones de Fe, minerales pequeños muy alterados, semiredondeados y poligonales. La mineralogía observada está constituida de: cuarzo, plagioclasas, micas, minerales ferromagnesianos, se tienen fitolitos. (Fig. 19-c).

TEPETATE ROSA CAPA IV 105-138 [cm]

Se observa una matriz arcillosa de color pardo claro alterada, plagioclasas de tamaño arcilla, semiredondeadas, a los de mayor tamaño son redondeados. La mineralogía observada es: cuarzo, plagioclasas, micas. Hay cutanes de arcilla y partículas de carbón. (Fig. 19-d).

TEPETATE ROSA CAPA V 138-160 [cm]

Se observa una matriz parda, notable presencia de alteración y con acumulación de óxidos de Fe. La mineralogía observada es: micas, cuarzo, minerales ferromagnesianos. Dominan partículas de tamaño arena con rellenos de arcilla. (Fig. 19-e).

TEPETATE BLANCO CAPA VI 160-200 [cm]

Se observa una matriz arcillosa de color pardo. Las plagioclasas son de tamaño limo. Los de mayor tamaño, son semiangulosos. La mineralogía observada es cuarzo, fragmentos de roca, biotita, hematita. Hay una fuerte alteración con presencia de óxidos de Fe. (Fig. 19-f).

TEPETATE BLANCO CAPA VII 200 [cm] Presencia de una matriz arcillosa de color pardo claro, plagioclasas muy alteradas semiangulosos. La mineralogía observada es: cuarzo, plagioclasas, biotita, hematita. Presencia de fitolitos, en la matriz y cutanes de arcilla. (Fig. 19-g).

5.1.5. - ARREGLO DE LOS MINERALES.

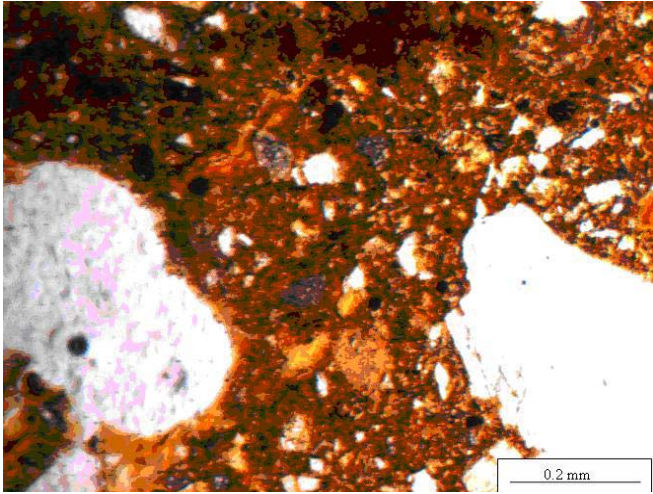


Fig. 19-a

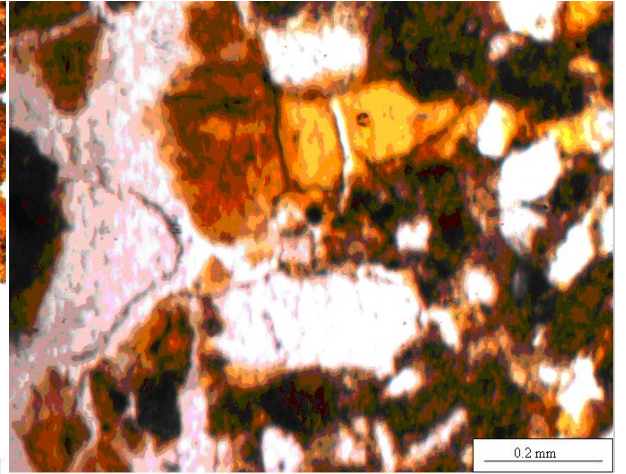


Fig. 19-b

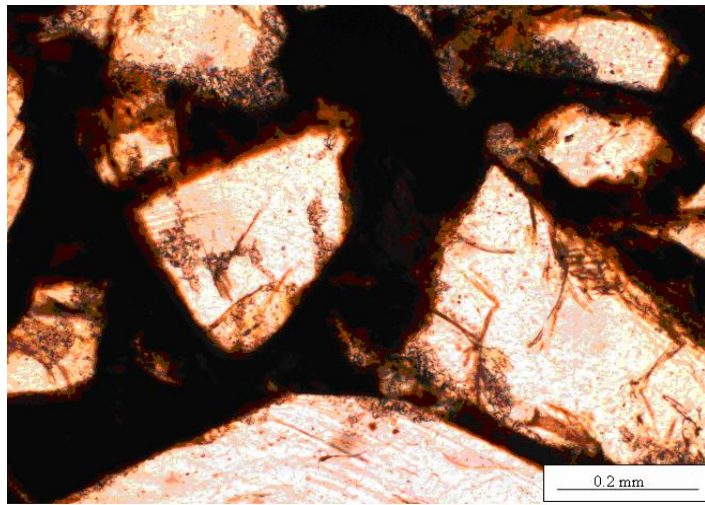


Fig. 19-c

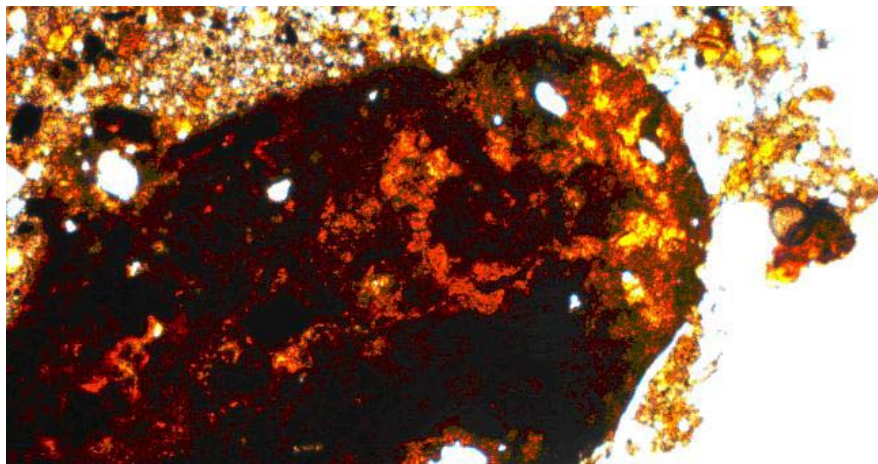


Fig. 19-d

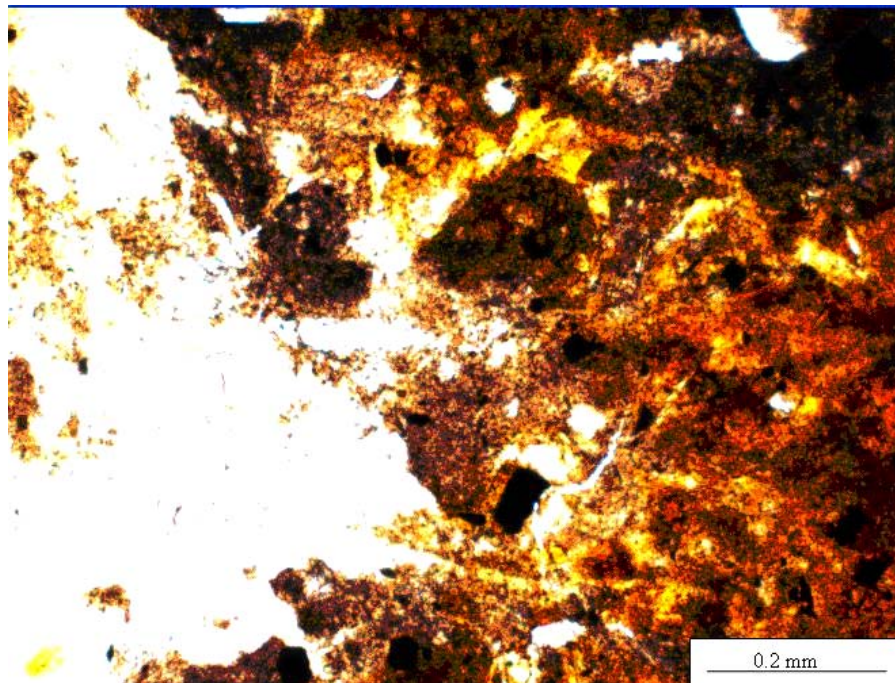


Fig. 19-e

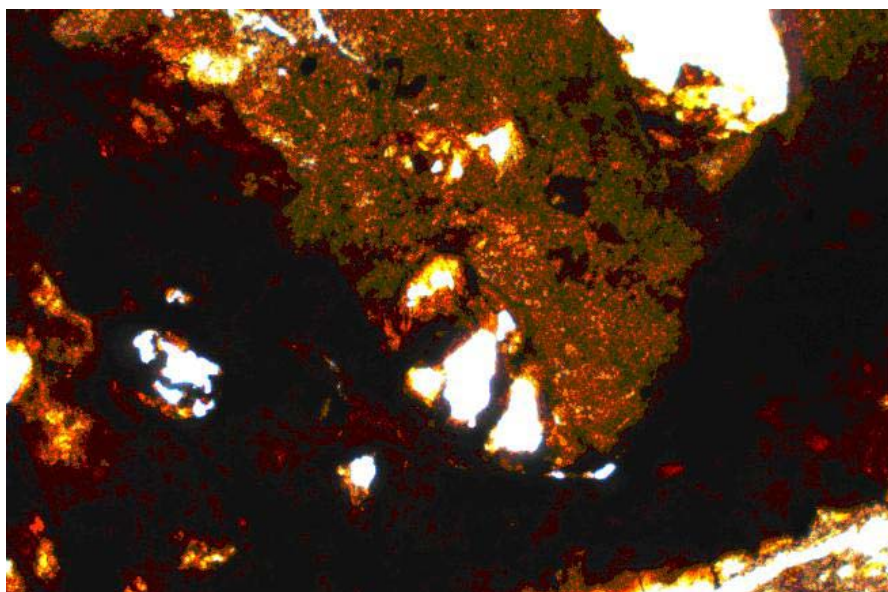


Fig. 19-f

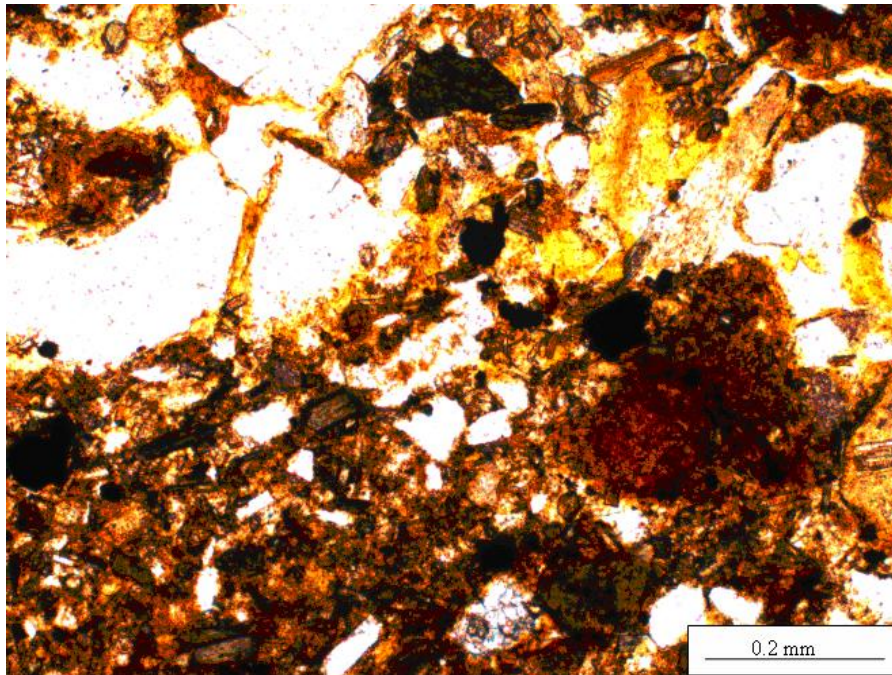


Fig. 19-g

Fig. 19 Características petrográficas de los tepetates a. capa I; b. capa II; c. capa III; d. capa IV; e. capa V; f. capa VI; g. capa VII.

5.2 - DISCUSIÓN

5.2.1. - GÉNESIS DE LOS TEPETATES

Varios autores han estudiado la génesis de los tepetates, los cuales destacan por su dureza y su baja conductividad hidráulica que los hacen ser impermeables y favorecen el escurrimiento y por lo tanto la erosión.

Autores como Mielich (1992) Y Luzio y Saavedra (1992), los consideran como de origen geológico, pues los clasifican como tobas; otros marcan un origen pedológico por procesos de cementación por arcilla o sílice (Rossignol y Quantin, 1997); o bien una

combinación de procesos geológicos y pedológicos, a partir de la alteración de una toba (Hidalgo et. al.,1997).

En el caso de los tepetates del glacis de Buenavista se considera, de acuerdo a las observaciones de campo y propiedades de laboratorio, que se derivan de flujos hiperconcentrados, asociados con lahares. Los procesos de compactación, aún cuando no se tienen bien claros, parecen relacionarse a la desecación intensa de los depósitos, saturados con agua, tal y como lo revela el intenso agrietamiento que presentan (grietas de desecación, poligonales).

Al desecarse, debido a la alta proporción de material limo-arcilloso, se produce un colapso en su estructura interna y en consecuencia un proceso de hidroconsolidación (Bryant, 1989).

Así, se piensa que estos tepetates formados hace 13,000 años (Solleiro et. al., 2003), se produjeron por procesos geológicos catastróficos, en donde diferentes materiales piroclásticos fueron removidos por agua, después de lluvias intensas. No hay evidencias de cementación por sílice u otro agente y por el contrario, los materiales resultan frágiles y se dispersan en agua.

5.2.2. - MECANISMOS DE DISTRIBUCIÓN.

Los focos de emisión de los materiales, se localizan en la parte norte del Glacis, posiblemente de la Sierra Chichinautzin, en donde la actividad volcánica pleistocénica fue intensa (Martin del Pozo et. al., 1987; Siebe, 2000). Estos materiales, aunque se hayan producido como flujos piroclásticos, considerados inclusive como tales por Martínez y López (2005), fueron retrabajados y movilizados como lahares (José Luis Macías, comunicación personal). De hecho, la heterogeneidad del material, su matriz arcillosa y la incorporación de restos de suelos en la masa (observadas en las láminas delgadas), son indicios claros de esta movilización.

Entonces, el material volcánico originado en el norte, se redistribuye por agua hacia el sur; Su distribución está relacionada con las zonas de mayor acumulación, que fueron detectadas en el análisis geomorfológico: Pendientes oscilando entre 10°-15°, disección del relieve de 3.62-4.93 km/km².

Las características de los depósitos muestran ser las partes distales de los flujos, que desaparecen a partir de los 1,650 ms.n.m., en donde los procesos acumulativos ya no son tan prominentes.

5.2.3.- INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL

Dado que la movilización del material que constituye a los tepetates se dio bajo lluvias fuertes pero de corta duración, con periodos largos de sequía, sugieren condiciones paleoambientales particulares durante su formación, presentes hacia fines del Pleistoceno. Es posible la existencia de un clima, predominantemente seco en éste periodo.

Estas condiciones cambian en el Holoceno, ya que sobreyaciendo a los tepetates hay suelos rojos (Acrisoles, Luvisoles) cuya presencia se asocia con climas húmedos, con precipitaciones anuales de más de 1,000 mm, distribuidas en más de 9 meses, lo que demuestra que el clima en el Pleistoceno Superior fue diferente al que se presenta en el Holoceno.

5.3.- PROBLEMÁTICA

La presencia de los tepetates en la zona de estudio repercute en los siguientes problemas, desde el punto de vista de la geología ambiental

1).- Erosión: Inicialmente, los suelos rojos estaban cubiertos por vegetación de selva baja, que fue cortada para someterlos al cultivo. El suelo aporta pocos nutrimentos, de tal forma que se abandona e inicia la erosión dejando al descubierto los tepetates. Estos

tepetates al ser compactos y poco permeables favorecen el escurrimiento y propician mayor erosión.

2).- Los tepetates, duros y consolidados, difícilmente pueden restaurarse naturalmente, ya que las raíces no pueden penetrarlos. Por lo tanto no se pueden cultivar, sin usar técnicas de rehabilitación avanzadas (Pratt et. al., 2002).

3).- Al cambiar el régimen hídrico, mayor escurrimiento superficial, no hay recarga de acuíferos, afectando la disponibilidad de agua.

4).- Repercusiones en el clima, al modificarse la vegetación, las tasas de evapotranspiración y en consecuencia, la humedad ambiental.

6.- CONCLUSIONES

El glacis de Buenavista presenta las características y condiciones de formación de un glacis a partir del pie de monte con características generales como pendiente, acumulación y distribución de sedimentos, determinada principalmente por la red fluvial, y el tipo de material piroclástico del Plio-cuaternario.

Dentro del glacis se encuentran 3 áreas distribuidas de norte a sur. En la porción norte se encuentran Andosoles (suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas) sobreyaciendo a Luvisoles (suelos pardos y rojos de mayor desarrollo. Hacia la parte central, afloran tepetates (sedimentos de origen principalmente volcánico, endurecidos) asociados con suelos rojos. Hacia el sur, los tepetates desaparecen y se encuentran suelos de color gris oscuro, agrietados (Vertisoles).

Los tepetates se distribuyen en zonas con una disección del relieve baja, que representan áreas de acumulación con valores de 3.0 a 4.2 km/km², entre las altitudes de 2,000 y 1,800 m.s.n.m. y pendientes < 10°, orientadas hacia el sur.

De acuerdo a sus características morfológicas se reconocieron 3 tipos de tepetate: pardo (el más joven), rosa y blanco (el más antiguo). El rosa fue fechado en 13,000 años, por lo que su formación se da a fines del Pleistoceno.

Por sus características petrográficas se determinó que los tepetates están constituidos por una mezcla de material volcánico fresco e intemperizado, restos de suelos y algunos rasgos pedológicos como son presencia de cutanes de arcilla, fitolitos, nódulos de Fe-Mn.

Se determinó que los sedimentos que formaron los tepetates fueron depositados por lahares procedentes de las sierras del norte (Zempoala y Chichinautzin), durante eventos catastróficos. La presencia de grietas de disecación en su superficie evidencia su exposición a un ambiente seco.

La presencia de estos tepetates en el paisaje, que afloran por la erosión representa un signo de inestabilidad geomórfica. Además, los tepetates repercuten en la dinámica ambiental, ya que al ser capas endurecidas, no pueden ser cultivados ni fácilmente reforestados. Son materiales compactos que impiden la infiltración del agua, favorecen el escurrimiento y por lo tanto la erosión.

Por esta razón fue importante conocer los mecanismos de formación y su distribución en el glacis de Buenavista en donde la extensión de los asentamientos humanos constituye un riesgo.

GLOSARIO

ANDOSOL Es el **suelo negro** que hay en los **volcanes** y sus alrededores. Se desarrollan sobre **cenizas** y otros materiales volcánicos ricos en elementos vítreos, además tienen una gran capacidad de retención de **agua**.

ALUVIAL Suelo formado por sedimentos del agua de los ríos.

CHERNOZEM Suelo que se deriva de los vocablos rusos "chern" que significa negro y "zemplja" que significa tierra, haciendo alusión al color negro de su horizonte superficial, debido al alto contenido en materia orgánica.

COLUVIAL Depósitos formados de materiales depositados por gravedad al pie de una pendiente, procedentes de la erosión de las vertientes que han sido transportados por mecanismos ligados y acumulados a su pie.

CUTANES DE ARCILLA Material formado por el agua de las precipitaciones atmosféricas que moviliza a la arcilla de los horizontes superiores, la cual al dispersarse pasa a la solución del suelo en forma de suspensión. Por la acción de la gravedad, las suspensiones se infiltran por el suelo a través de los macroporos. Las paredes de los macroporos actúan como filtros, ya que las partículas de arcilla no pueden pasar a través de los microporos y son retenidas y se concentran formando delgadas películas fuertemente retenidas.

DIAGÉNESIS Incluye todos los procesos físicos y químicos que afectan al sedimento después del depósito.

DISPERSIÓN Es un indicador de suelos que ocurre cuando el sodio excesivo está presente, proceso que da lugar a la arcilla que se forma alrededor del agregado cuando se agrega el agua por las fijaciones del sodio a la arcilla.

DURIPAN Es un horizonte de suelos duros, sub-superficiales. Son cementados por sílice u otros materiales tales como óxidos del hierro o carbonato de calcio.

EDAFOGÉNESIS Son las etapas en la formación de suelos: Etapa inicial, de maduración y climática.

EROSIÓN REMONTANTE Proceso de erosión que progresa gradualmente hacia la cabecera de una cuenca fluvial por causas climáticas y/o tectónicas.

FEOZEMS Suelo oscuro debido al término Feozem deriva del vocablo griego "phaios" que significa oscuro y del ruso "zemplja" que significa tierra, haciendo alusión al color oscuro de su horizonte superficial, debido al alto contenido en materia orgánica. Se asocian a regiones con un clima suficientemente húmedo para que exista lavado pero con una estación seca.

FEOZEM HÁPLICO Suelo feozem con textura que va de mediana a gruesa (limo-arena), de resistencia alta y difícil erosión.

FITOLITOS Son cristales de sílice que se forman en la epidermis de las plantas, estas son células vegetales que se han mineralizado, se forman por la precipitación del sílice disuelto en agua que las plantas absorben del suelo, se depositan principalmente en los espacios intercelulares del tejido epidérmico de hojas, tallos y raíces.

FLUVISOL Suelo que deriva del vocablo latino "fluvius" que significa río, haciendo alusión a que estos suelos están desarrollados sobre depósitos aluviales.

FLUVISOL CALCÁREO Suelo fluvisol que es **calcáreo** entre 20 y 50 cm desde la superficie. El material presenta una fuerte efervescencia con HCl al 10 % en la mayor parte de la tierra fina, o presenta más del 2 % de equivalente en carbonato cálcico.

FRAGIPAN Es como el tepetate con mayor superficie territorial, suelos que afloran a la superficie por la erosión ocasionada por mal manejo.

LIXIVIACIÓN Es el proceso de lavado del **suelo** gracias a la filtración del **agua**.

LUVISOL Se deriva del vocablo latino "luere" que significa lavar, haciendo alusión al lavado de arcilla de los horizontes superiores para acumularse en una zona más profunda. Suelos que predominan en zonas llanas o con suaves pendientes de climas templados fríos o cálidos pero con una estación seca y otra húmeda.

REGOSOL Suelo que deriva del vocablo griego "rhegos" que significa sábana, haciendo alusión al manto de alteración que cubre la superficie, suelos que se desarrollan sobre materiales no consolidados, alterados y de textura fina.

REGOSOL EÚTRICO Otros Regosoles que se diferencian por el porcentaje en su saturación.

SECUENCIA FLISH Secuencia de lutitas y areniscas estratificadas.

VERTISOL El término deriva del vocablo latino "vertere" que significa verter o revolver, haciendo alusión al efecto de batido y mezcla provocado por la presencia de arcillas hidratadas. Suelo que se vuelve muy duro en la estación seca y muy plástico en la húmeda, rico en arcilla.

VERTISOL PÉLICO Suelo vertisol que va hasta los 30 cm de profundidad.

BIBLIOGRAFIA

American Society of Photogrammetry, Multilingual Dictionary of Remote Sensing and Photogrammetry, Virginia - EEUU, 1984.

Capra, L., Macías, J.L., Scout, K.M., Abrams. M., Garduño-Monroy, V.H., 2002. Debris avalanches and debris flows transformed from collapses in the Trans-mexcan volcanic Belt. Mexico behavior and implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113.

Carman, P.C., 1939. *J. Agr. Sci.* 29.

COREMI, 2002. Monografía del estado de Morelos.

Bryant, R.B., 1989. Physical processes of fragipan formation. In Smeck, N.E. and Ciolkosz, E.J. (Eds.), *Fragipans: their occurrence, classification and genesis*. Soil Science Society Special Publication, 24.

De Cserna, Z., Fries, C, Jr., Rincón-Orta, C., Silver, L.T., Westley, H., Solorio-Munguía, J., y Schmitter-Villada, E., 1974. Datos geocronométricos terciarios de los Estados de México y Guerrero. *Boletín, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*.

De Cserna, Z., Fries, C., 1981. Hoja Taxco 14 Q-h (7), con resumen de la geología de la hoja de Taxco, estados de Guerrero, México y Morelos. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta geológica de México, Serie 1:100,000, mapa con texto: 47.

Escamilla-Sarabia, G., Solleiro-Elizabeth., Sedov-Sergey., Gama-Jorge., 2002. Tepetates del glacis de Buenavista Morelos: interacción de procesos geomorfológicos pedogenéticos, *Investigaciones Geográficas*, 48.

Etchevers, B., R. M. López, C. Zebrowsky y D. Peña 1992, Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y de Tlaxcala, México" *Terra* 10 (núm. especial),

Flores-Román, D.R., Alcalá-Martínez, A. González-Velázquez and J. Gama-Castro, 1996. Duripans in subtropical and temperate subhumid climate of the Trans-Mexico Volcanic Belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 13(2).

Fries, C., Jr., 1960. Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Instituto de Geología, UNAM, México.

Gama-Castro, J., Flores-Román, C., Solleiro-Rebolledo, E., Jasso-Castañeda, C. Rocha, T.A., Villalpando, J.L., 2004. Neosols, relic paleosols and alterites characterization and spacial distribution in the Transmexican volcanic belt, Morelos state: a regional approximation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 21

García, E., 1988. modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. 217 (edición especial preparada por el autor). Gama-Castro.

García-Palomo, A., Macías, J.L. Garduño-Monroy, V. H., 2000. Miocent to recent structural evolution of the Nevado de Toluca volcano region, central Mexico. *Tectonophysics*, 318.

Heine, K. y E. Schönhals. 1973. Entstehung und Alter der Toba-sedimente in Mexiko. *In: Eiszertalter und Gegenwart*, Band 23/24.

Hidalgo, C., P. Quantin et F. Elsass, 1997. Caracterización mineralógica de los tepetates tipo fragipan del Valle de México. Mem. III Simposio Int. Suelos volcánicos endurecidos, Quito, diciembre 1996.

López-Ramos, E., 1976. Geología general, Ed. Particular. México.

Lugo-Hubp, J., 1988. Elementos de Geomorfología aplicada (Métodos cartográficos). Instituto de Geografía, UNAM, México.

Luzio, W.L., M.N. Saavedra, 1992. Los suelos volcánicos endurecidos de Chile.

Martín del Pozzo, A. L., 1987. Monogenetic vulcanism in Sierra Chichinautzin, Mexico. Bulletin of Volcanology, 45.

Martín del Pozzo, A.L. Córdova, C. and López, J., 1997. Volcanic impact on the southern Basin of Mexico during the Holocene. Quaternary International. 43/44.

Martínez-García, F., López-Blanco, J., 2005. Caracterización de las unidades ambientales biofísicas del Glacis de Buenavista, Morelos, mediante la aplicación del enfoque geomorfológico morfogenético, Instituto de Geografía, UNAM, México. 58

Mielich, G., 1992. Formation and properties of tepetate in the Central highlands of México. En: Zebrowsky, C., Prat, J. Etchevers, H. Arias, M.E. Miranda (Eds.) Los suelos volcánicos endurecidos, Terra 10.

Morán-Zenteno D.J., Alba-Aldave, L.A., Martínez-Serrano, R.G., Reyes-Salas, M.A., Corona-Esquivel, R., and Ángeles-García, S., 1998. Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the tertiary volcanic sequences of the Taxco-Quetzalapa region, southern Mexico, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15(2).

Munsell (1990), Soil Color Charts, edition Munsell Color Company, Inc. Baltimore, Maryland, 21218, USA.

Muñoz Jiménez, J. 1993, Geomorfología General. Ed. Síntesis, Madrid.

Navarro-Garza, H; Poupon, H; Pérez-Olvera, M.A., 1998, Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (Tepetates). Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México.

Nimlos, T.J. y C.A. Ortiz S. 1987. Tepetate the rock mat. J. Soil Water Conservation 42.

Ortiz Pérez, M.A., 1978. Estudio geomorfológico del Glacis de Buenavista, Estado de Morelos. Instituto de Geografía, UNAM, México, 8.

Palacio-Prieto, J.L., 1982 Análisis geomorfológico de la región de Cuernavaca-Tenancingo-Ixtapan de la Sal. Estados de Morelos y México, tesis de maestría, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Pedraza Gilsanz, J. 1986, Geomorfología General: Principios, Métodos y Aplicaciones. Ed. Rueda, Madrid. En Zebrowsky, C., Pratt, C., Etchevers, J., Arias, H., Miranda, M.E., (Eds.). Los suelos volcánicos endurecidos. Terra 10.

Pratt, C., Ordaz Ch. V., Rugama U.J.A., 2002. Impacto de la rotulación y del manejo agronómico de un tepetate sobre su estructura. Terra 21.

Poetch, T. Formas and dynamics of silica get in a tuff-dominated soil colmes: Results of micromorphological studies in the Central Highlands of Mexico 2004, *Revista de Ciencias geológicas*. 21.

Rzedowsky, J., 1978. *Vegetación de México*: México, D.F., Limusa.

Rosignol, J.P. et Quantin P. 1997. Secuencia de transformación de un suelo ferralítico en tepetate silicificado en la región de Xalapa (Veracruz, México). Mem. II Simposio Int. Suelos volcánicos endurecidos, Quito, diciembre 1996.

Siebe, C., Rodríguez-Lara, V., Schaaf, P., Abrams, M., 2004. Geochemistry, Sr-Nd isotope composition and tectonic setting of Holocene Pelado, Guespalapa and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 130.

Silva-Romo, G., Campos-Madrigal, E., Mendoza-Rosales, C., 2001, *Elementos de cartografía Geológica*. México, UNAM. Facultad de Ingeniería

Solleiro-Rebolledo E., Sedov, S., Gama-Castro, J. Flores, R.D., Escamilla-Sarabia, G., 2003. Paleosol-sedimentary sequence of the Glacis de Buenavista, central Mexico: Interaction of Late quaternary pedogenesis and volcanic sedimentation. *Quaternary International*, 106-107.

Scherdegger, A.E. 1987. The fundamental principles of landscape evolution, *Catena Supplement* 10.

Vázquez-Sánchez, E., Jaimes-Palomera. R., 1989. Geología de la cuenca de México. *Geofísica Internacional*, 28.

Valdés Marín, L.A. 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de Tepetate de la Cuenca de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialista en Suelos Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

www.inegi.gob.mx

Zebrowsky, C., 1991. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina: Colegio de Posgraduados, montecillo, Primer Simposio Internacional, Suelos Volcánicos Endurecidos (uso y manejo de tepetates, México, Memoria. 4.

BIBLIOGRAFIA

American Society of Photogrammetry, Multilingual Dictionary of Remote Sensing and Photogrammetry, Virginia - EEUU, 1984.

Capra, L., Macías, J.L., Scout, K.M., Abrams, M., Garduño-Monroy, V.H., 2002. Debris avalanches and debris flows transformed from collapses in the Trans-mexcan volcanic Belt. Mexico behavior and implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113.

Carman, P.C., 1939. *J. Agr. Sci.* 29.

COREMI, 2002. Monografía del estado de Morelos.

Bryant, R.B., 1989. Physical processes of fragipan formation. In Smeck, N.E. and Ciolkosz, E.J. (Eds.), *Fragipans: their occurrence, classification and genesis*. Soil Science Society Special Publication, 24.

De Cserna, Z., Fries, C, Jr., Rincón-Orta, C., Silver, L.T., Westley, H., Solorio-Munguía, J., y Schmitter-Villada, E., 1974. Datos geocronométricos terciarios de los Estados de México y Guerrero. *Boletín, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*.

De Cserna, Z., Fries, C., 1981. Hoja Taxco 14 Q-h (7), con resumen de la geología de la hoja de Taxco, estados de Guerrero, México y Morelos. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta geológica de México, Serie 1:100,000, mapa con texto: 47.

Escamilla-Sarabia, G., Solleiro-Elizabeth., Sedov-Sergey., Gama-Jorge., 2002. Tepetates del glacis de Buenavista Morelos: interacción de procesos geomorfológicos pedogenéticos, *Investigaciones Geográficas*, 48.

Etchevers, B., R. M. López, C. Zebrowsky y D. Peña 1992, Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y de Tlaxcala, México" *Terra* 10 (núm. especial),

Flores-Román, D.R., Alcalá-Martínez, A. González-Velázquez and J. Gama-Castro, 1996. Duripans in subtropical and temperate subhumid climate of the Trans-Mexico Volcanic Belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 13(2).

Fries, C., Jr., 1960. Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Instituto de Geología, UNAM, México.

Gama-Castro, J., Flores-Román, C., Solleiro-Rebolledo, E., Jasso-Castañeda, C. Rocha, T.A., Villalpando, J.L., 2004. Neosols, relic paleosols and alterites characterization and spacial distribution in the Transmexican volcanic belt, Morelos state: a regional approximation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 21

García, E., 1988. modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. 217 (edición especial preparada por el autor). Gama-Castro.

García-Palomo, A., Macías, J.L. Garduño-Monroy, V. H., 2000. Miocent to recent structural evolution of the Nevado de Toluca volcano region, central Mexico. *Tectonophysics*, 318.

Heine, K. y E. Schönhals. 1973. Entstehung und Alter der Toba-sedimente in Mexiko. *In: Eiszeitalter und Gegenwart*, Band 23/24.

Hidalgo, C., P. Quantin et F. Elsass, 1997. Caracterización mineralógica de los tepetates tipo fragipan del Valle de México. Mem. III Simposio Int. Suelos volcánicos endurecidos, Quito, diciembre 1996.

López-Ramos, E., 1976. Geología general, Ed. Particular. México.

Lugo-Hubp, J., 1988. Elementos de Geomorfología aplicada (Métodos cartográficos). Instituto de Geografía, UNAM, México.

Luzio, W.L., M.N. Saavedra, 1992. Los suelos volcánicos endurecidos de Chile.

Martín del Pozzo, A. L., 1987. Monogenetic vulcanism in Sierra Chichinautzin, Mexico. Bulletin of Volcanology, 45.

Martín del Pozzo, A.L. Córdova, C. and López, J., 1997. Volcanic impact on the southern Basin of Mexico during the Holocene. Quaternary International. 43/44.

Martínez-García, F., López-Blanco, J., 2005. Caracterización de las unidades ambientales biofísicas del Glacis de Buenavista, Morelos, mediante la aplicación del enfoque geomorfológico morfogenético, Instituto de Geografía, UNAM, México. 58

Mielich, G., 1992. Formation and properties of tepetate in the Central highlands of México. En: Zebrowsky, C., Pratt, J. Etchevers, H. Arias, M.E. Miranda (Eds.) Los suelos volcánicos endurecidos, Terra 10.

Morán-Zenteno D.J., Alba-Aldave, L.A., Martínez-Serrano, R.G., Reyes-Salas, M.A., Corona-Esquível, R., and Ángeles-García, S., 1998. Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the tertiary volcanic sequences of the Taxco-Quetzalapa region, southern Mexico, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15(2).

Munsell (1990), Soil Color Charts, edition Munsell Color Company, Inc. Baltimore, Maryland, 21218, USA.

Muñoz Jiménez, J. 1993, Geomorfología General. Ed. Síntesis, Madrid.

Navarro-Garza, H; Poupon, H; Pérez-Olvera, M.A., 1998, Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (Tepetates). Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México.

Nimlos, T.J. y C.A. Ortiz S. 1987. Tepetate the rock mat. J. Soil Water Conservation 42.

Ortiz Pérez, M.A., 1978. Estudio geomorfológico del Glacis de Buenavista, Estado de Morelos. Instituto de Geografía, UNAM, México, 8.

Palacio-Prieto, J.L., 1982 Análisis geomorfológico de la región de Cuernavaca-Tenancingo-Ixtapan de la Sal. Estados de Morelos y México, tesis de maestría, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Pedraza Gilsanz, J. 1986, Geomorfología General: Principios, Métodos y Aplicaciones. Ed. Rueda, Madrid. En Zebrowsky, C., Pratt, C., Etchevers, J., Arias, H., Miranda, M.E., (Eds.). Los suelos volcánicos endurecidos. Terra 10.

Pratt, C., Ordaz Ch. V., Rugama U.J.A., 2002. Impacto de la rotulación y del manejo agronómico de un tepetate sobre su estructura. Terra 21.

Poetch, T. Formas and dynamics of silica get in a tuff-dominated soil colmes: Results of micromorphological studies in the Central Highlands of Mexico 2004, *Revista de Ciencias geológicas*. 21.

Rzedowsky, J., 1978. *Vegetación de México*: México, D.F., Limusa.

Rosignol, J.P. et Quantin P. 1997. Secuencia de transformación de un suelo ferralítico en tepetate silicificado en la región de Xalapa (Veracruz, México). Mem. II Simposio Int. Suelos volcánicos endurecidos, Quito, diciembre 1996.

Siebe, C., Rodríguez-Lara, V., Schaaf, P., Abrams, M., 2004. Geochemistry, Sr-Nd isotope composition and tectonic setting of Holocene Pelado, Guespalapa and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 130.

Silva-Romo, G., Campos-Madrigal, E., Mendoza-Rosales, C., 2001, *Elementos de cartografía Geológica*. México, UNAM. Facultad de Ingeniería

Solleiro-Rebolledo E., Sedov, S., Gama-Castro, J. Flores, R.D., Escamilla-Sarabia, G., 2003. Paleosol-sedimentary sequence of the Glacis de Buenavista, central Mexico: Interaction of Late quaternary pedogenesis and volcanic sedimentation. *Quaternary International*, 106-107.

Scherdegger, A.E. 1987. The fundamental principles of landscape evolution, *Catena Supplement* 10.

Vázquez-Sánchez, E., Jaimes-Palomera. R., 1989. Geología de la cuenca de México. *Geofísica Internacional*, 28.

Valdés Marín, L.A. 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de Tepetate de la Cuenca de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialista en Suelos Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

www.inegi.gob.mx

Zebrowsky, C., 1991. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina: Colegio de Posgraduados, montecillo, Primer Simposio Internacional, Suelos Volcánicos Endurecidos (uso y manejo de tepetates, México, Memoria. 4.