

59
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS



ANALISIS GEOMORFOLOGICO DETALLADO DEL
VOLCAN AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A
ALEJANDRA TOSCANA APARICIO

954403-
CORB56

ASESOR: DR. JOSE JUAN ZAMORANO OROZCO.



MEXICO, D. F.

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

1998.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A José Manuel y María Gloria

A José Carlos

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor José Juan Zamorano Orozco por su amistad, por ser tan buen asesor y porque su ayuda fue muy importante en la realización de esta tesis.

A los sinodales, Dr. José Lugo Hubp, Mto. Lorenzo Vázquez Selem, Dr. Jorge López Blanco y Lic. Oscar Salas García, por sus comentarios y su tiempo.

A Alberto Gómez Arizmendi, Oscar Frausto Martínez, Raúl Alvarado González, Raúl Gutiérrez Calderón, Efraín León Hernández e Israel Pantoja Galicia, por su ayuda y amistad.

A José Manuel, María Gloria, Gloria, Paloma, Adrián, Martín, Luz Fernanda, Einar y Luis porque también me ayudaron mucho.

A José Carlos por su paciencia y comprensión.

CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo I	3
1.1. El mapa geomorfológico detallado	3
1.2. Marco bibliográfico sobre el Volcán Ajusco y zonas adyacentes	12
Capítulo II: <i>Medio geográfico</i>	22
2.1. Localización	22
2.2. Clima	23
2.3. Hidrografía	24
2.4. Suelos	25
2.5. Vegetación	28
2.6. Síntesis del medio geográfico	30
Capítulo III: <i>Aspectos geológicos</i>	31
3.1. Marco geológico regional: la Cuenca de México	31
3.1.1. Geología y tectónica	31
3.2. Marco geológico local: Volcán Ajusco	34
3.2.1. Estratigrafía	37
3.3. Secuencia glacial del Ajusco	39
Capítulo IV: <i>Geomorfología</i>	54
4.1. Morfometría	54
4.1.1. Mapa altimétrico	55
4.1.2. Mapa de pendientes	56
4.1.3. Mapa de densidad de la disección	57
4.1.4. Mapa de profundidad de la disección	59
4.1.5. Mapa de energía del relieve	60
4.1.6. Zonificación geomorfológica	61
4.2. Morfogénesis	63
I. Relieve endógeno	63
II. Relieve exógeno	76
Conclusiones	89
Bibliografía	90

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta tesis es la elaboración de un mapa geomorfológico detallado, escala 1:10,000, del volcán Ajusco y sus zonas adyacentes.

El Ajusco comprende la mayor parte del área en estudio, situada al suroeste de la Cuenca de México, de igual forma una porción de la Sierra de Las Cruces y de la Sierra Chichinautzin. A grandes rasgos, es una zona en donde han intervenido la actividad volcánica y la actividad glacial como principales formadores y modeladores del relieve.

En dicho mapa se identifican y se clasifican las formas del relieve, con el fin de explicarlo desde la perspectiva de su génesis y evolución en el tiempo; en algunos casos también se explica la dinámica actual.

El mapa se realizó básicamente a partir de la identificación, interpretación y análisis de los elementos del paisaje en fotografías aéreas de 1987 y 1996. Los resultados se plasmaron en una carta topográfica para crear un mapa preliminar, que posteriormente se corroboró con información de campo en donde las fotografías no permitieron una interpretación adecuada o existían dudas. Cabe mencionar que también fueron de utilidad los estudios previos sobre esta zona y la teoría geomorfológica, aspectos que se incluyeron en la leyenda explicativa del mapa.

La tesis consta de cuatro capítulos. El primer capítulo se divide en dos partes. En la primera parte se analiza el concepto del mapa geomorfológico, algunos tipos de y la relación con la escala; la segunda parte consiste en un marco bibliográfico sobre la zona en estudio.

El segundo capítulo corresponde a los aspectos geográficos del Ajusco y zonas adyacentes: localización, clima, hidrología, suelos y vegetación, para relacionar estos aspectos con la geología, la morfometría y la morfogénesis en los capítulos posteriores.

El tercer capítulo trata sobre la geología. Se divide en tres apartados. El primero es un marco geológico regional (del sur de la Cuenca de México); en el segundo, se presenta un marco geológico local, es decir de la zona en estudio, para entender los

procesos geológicos que intervinieron en la formación del Ajusco. Por último, se explica la secuencia glacial en dicho volcán.

La geomorfología es el capítulo cuatro. Se analizan la altimetría, las pendientes, la densidad y profundidad de la disección, y la energía del relieve, a partir de mapas morfométricos, con el objetivo de obtener datos para complementar la información de gabinete y realizar una zonificación geomorfológica. En este mismo capítulo se incluye la morfogénesis.

Como resultado final se presenta un mapa morfogenético, escala 1:10,000.

La tesis también cuenta con conclusiones y bibliografía.

CAPÍTULO I

1.1. EL MAPA GEOMORFOLÓGICO DETALLADO

La geomorfología es una ciencia geológica-geográfica que se encarga de estudiar las formas de la superficie de la Tierra, es decir, el relieve. Se consolida como ciencia en el siglo XIX con los fundamentos de Davis y Penck respecto a la teoría de la evolución del relieve (Zamorano y Ortiz, 1993).

El estudio del relieve es importante y necesario para un uso y manejo racional de los recursos naturales, que se encuentran en dependencia directa con la superficie terrestre.

Para llegar al conocimiento de las formas del relieve, éstas deben estudiarse con base en principios morfológicos, genéticos, cronológicos y de su dinámica. Los parámetros morfológicos se refieren a la expresión del relieve: cada forma tiene un significado. El origen de las formas del relieve se debe a la interacción de las fuerzas del interior de la Tierra con los procesos externos. La edad relativa o absoluta del relieve se relaciona con la morfología. Por último, los parámetros de la dinámica reflejan la evolución espacio-temporal de las formas del relieve.

Este conjunto de principios puede expresarse de diferentes maneras. Una de ellas es el mapa geomorfológico, herramienta concisa y sistemática que reúne el conocimiento del relieve sobre un plano.

Así, un mapa geomorfológico representa las formas y procesos de la superficie terrestre, siendo la escala la que determina su grado de detalle. Ésta se elige según el objetivo de cada investigación.

Piotrovsky (1977, en Lugo Hubp, 1991) propone una clasificación de las formas del relieve terrestre de acuerdo con su tamaño.

1. Las unidades de millones de km^2 , tales como continentes y cuencas oceánicas, pueden expresarse a escala 1:50,000,000, donde se representa todo el planeta.
2. Las unidades de decenas y de miles de km^2 como altiplanos, países montañosos continentales, y depresiones cratónicas y oceánicas, a una escala entre 1:10,000,000 y 1:1,000,000.

3. Las unidades de cientos y miles de km², como montañas, grandes cuencas y algunas tricheras, quedan bien representadas en escala entre 1:1,000,000 y 1:100,000.
4. Las unidades de cientos y miles de m como colinas, terrazas, poljés y barrancos, a escala entre 1:50,000 y 1:10,000.
5. Las unidades de m y cientos de m, como bancos de cauce, barrancos y dolinas, a escala entre 1:25,000 y 1:5,000.
6. Las unidades de dm y m, como montículos y cárcavas, en escalas mayores a 1:5,000.
7. Las unidades de cm y dm, como cúmulos y estrías, también se representan en escalas menores a 1:5 000.

Cailleux y Tricart (en Martínez de Pisón, 1982) consideran que todas las unidades terrestres, desde continentes hasta formas microscópicas, pueden representarse en órdenes. Los mecanismos de causalidad y los métodos de trabajo cambian según la escala establecida, pero éstas se integran jerárquicamente y sólo se entienden en su reciprocidad.

La geomorfología es una ciencia que utiliza métodos propios (geomorfológicos) y métodos geográficos, geológicos y geofísicos. Zamorano y Ortiz (1993), consideran que los métodos geográficos permiten comprender las múltiples relaciones que existen entre los elementos del paisaje, y contribuyen a entender la dinámica de los procesos exógenos.

Martínez de Pisón (1982), considera que no existe un grupo de metodologías preestablecido que tenga que ser utilizado en las investigaciones geomorfológicas, sino que depende de los objetivos y metas a lograr de la investigación en cuestión. Por tanto, se evidencia la validez del método inductivo en la investigación geomorfológica.

De acuerdo con Klimaszewski (1982), un mapa geomorfológico a detalle, además de incluir los principios mencionados anteriormente, debe presentar las siguientes características:

1. Ser el resultado de un levantamiento de campo complementado con fotointerpretación;
2. Elaborarse a una escala mayor a 1:100,000 para dar lugar al detalle.
3. Representar las formas a través de símbolos y colores.
4. Incluir datos litológicos.
5. Incluir una leyenda en orden genético-cronológico.
6. Informar sobre los caracteres morfométricos que proporcionan datos que complementan la información del relieve, por ejemplo, las pendientes, la densidad y profundidad de la disección y la energía del relieve.

El mismo autor señala que el mapa geomorfológico tiene dos tipos de valor, el científico y el práctico.

El primero, entre otras cosas, porque da una visión precisa del relieve y de su dinámica, lo cual permite la reconstrucción de su desarrollo y la evaluación de la participación de los factores y procesos que lo crearon y lo transformaron; al presentar la información clasificada, facilita la regionalización, y permite hacer comparaciones adecuadas entre áreas similares en estructura y clima, pero distintas en edad, lo que ayuda en el conocimiento del desarrollo del relieve y los procesos que en él influyen. Por otro lado, el mapa geomorfológico es muy importante en el desarrollo de esta ciencia y de otras, como la pedología, la hidrología, la botánica, la ecología, la arqueología, etc., ya que es básico como estudio preliminar. La cartografía geomorfológica es un inventario de formas del relieve y su evolución, de ahí que es un punto de partida para todas las ciencias que están relacionadas con la superficie terrestre.

Su valor práctico radica en que las actividades humanas están conectadas, en mayor o menor grado, con el medio geográfico; un mapa geomorfológico que provee las características del relieve de una manera exacta y cuantificable, encaja perfectamente en la actual tendencia de la utilización racional del medio ambiente. La configuración de la superficie de la Tierra resulta de gran interés en la práctica de la agricultura, los asentamientos humanos, las vías de comunicación, la hidrología, el

turismo y la recreación, y el manejo de los recursos naturales. A manera de ejemplos se menciona brevemente la posible utilización de los mapas geomorfológicos:

- a) En la agricultura, un mapa geomorfológico a detalle indica las planicies y laderas del relieve aptas para esta práctica, incluso detalla en qué lugares puede resultar perjudicial esta actividad económica por la presencia de fenómenos como los deslizamientos de tierras, la reptación, el lavado laminar y el proceso de cárcavas, entre los más importantes.
- b) Referente a los asentamientos humanos, un mapa geomorfológico a detalle indica la distribución de los territorios amenazados por fenómenos naturales, como deslizamiento de rocas, inundaciones, agrietamientos, azolvamientos, susceptibilidad sísmica, etc. Esta información es determinante en la planeación del desarrollo urbano.
- c) Con respecto a las vías de comunicación, éstas han sido en muchas ocasiones afectadas por los fenómenos naturales, por encontrarse en lugares desfavorables; las mejores condiciones para las mismas se encuentran en lugares planos o de poca inclinación, donde están ausentes los fenómenos naturales perjudiciales. Un mapa geomorfológico puede brindar información sobre la distribución y extensión de las planicies y de las laderas, así como de la distribución de las zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa, de erosión y depositación. Para el buen funcionamiento de las vías de comunicación y la conservación del medio ambiente, éstas deben construirse en armonía con la naturaleza, para lo cual es necesario un amplio conocimiento del relieve.
- d) En la hidrología, un mapa geomorfológico es de gran importancia en el emplazamiento de las presas, ya que indica la configuración de los valles, la estabilidad de las laderas, los cursos de los ríos y el tipo de los lechos, las zonas de inundación, las de erosión y las de depositación, entre los más importantes. Estos datos llegan a ser valiosos para calcular la vida media de las presas, así como su conservación.
- e) Con respecto al turismo y recreación, es necesario tomar en cuenta la accesibilidad a los centros turísticos y de recreación que a menudo se encuentran en las costas marinas, en los lagos y en las montañas; el impacto que pueden causar en la

estabilidad ambiental, y los procesos modeladores que resulten amenazantes para dichas actividades. Un mapa geomorfológico a detalle brinda esta información.

f) Respecto a la industria de la construcción, algunas formas de la superficie terrestre están compuestas por depósitos que son importantes como materiales crudos en la industria de la construcción, por ejemplo, las cadenas de eskers suelen estar constituidas por arena y grava, los depósitos morrénicos frontales por bloques rocosos, las cuencas lacustres suelen estar rellenas de arcillas, las dunas son fuentes de arena, y los abanicos aluviales y las terrazas en zonas montañosas están compuestos por grava y arena. Un mapa geomorfológico a detalle puede indicar la distribución de este tipo de formas y así, de la distribución de ciertos materiales.

De los ejemplos anteriores se desprende que existen formas del relieve que favorecen o entorpecen el desarrollo de las actividades humanas, ésto es importante para lograr un mejor manejo y utilización del espacio geográfico. Un mapa geomorfológico a detalle es una síntesis muy útil en la planeación, no sólo por la información que contiene, sino porque es la base de futuros mapas derivados.

Los mapas geomorfológicos además de clasificarse por su escala, se pueden clasificar por el tipo de información que contienen. Verstappen y van Zuidam (1968) proponen una clasificación de los mapas geomorfológicos:

1. Los mapas geomorfológicos analíticos contienen información sobre las formas y procesos del relieve, la morfogénesis, la morfocronología, la litología y las morfoestructuras; resultan de un estudio profundo. Proporcionan las unidades de mapeo y la información geomorfológica detallada.

A manera de ejemplo, se tiene un levantamiento geomorfológico de la vertiente occidental del volcán Iztaccíhuatl, escala 1:20 000, llevado a cabo por Guillén Guerrero (1996). El levantamiento es resultado de un estudio realizado con el fin de ampliar el conocimiento de este elemento orográfico. El mapa se apoya en criterios geomorfológicos para identificar y clasificar las formas del relieve, de acuerdo con su génesis, evolución en el tiempo y dinámica actual.

Otro ejemplo es el trabajo de Mendoza Cantú (1994), que propone un análisis geomorfológico para conocer la distribución y el origen de las formas submarinas en la plataforma continental Campeche-Yucatán.

2. Los mapas geomorfológicos sintéticos, son el resultado de estudios vinculados a las relaciones ambientales entre la configuración del terreno y otros factores del paisaje, como el clima, el suelo, la vegetación y la hidrología. Son mapas hechos para estudios multidisciplinarios relacionados con la síntesis del paisaje. Aporta el contexto ambiental y las relaciones ecológicas del paisaje. Estos mapas no necesariamente se relacionan con la síntesis del paisaje, también pueden tratar otros temas, como de geomorfología estructural.

Un ejemplo de este tipo de cartografía es el trabajo de la reserva biosfera Pantanos de Centla, Tabasco, realizado por Enríquez Guadarrama (1997), cuyo objetivo fue caracterizar los sistemas terrestres (unidades homogéneas en cuanto a su génesis y su dinámica), a partir de la elaboración de la cartografía geomorfológica y de uso del suelo. Estos elementos de análisis sirven en su conjunto, como marco de referencia para posteriores trabajos de evaluación de impacto ambiental en la reserva de la biosfera Pantanos de Centla.

3. Los mapas geomorfológicos pragmáticos, resultan de investigaciones geomorfológicas guiadas por un propósito específico.

Como ejemplo de estos mapas está la cartografía realizada por Salas García (1995), en la que se propone una zonificación de procesos geomorfológicos en la ciudad de Pachuca, Hidalgo, para detectar y localizar a aquellos que representan un peligro latente (amenaza) para la sociedad y sus intereses. El objetivo se centra en el análisis fisiográfico y geomorfológico con el fin de mostrar los diferentes procesos del relieve y el impacto que estos tienen sobre la ciudad.

Otro ejemplo es el trabajo sobre la distribución de riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa de Morelos, D. F., de García Romero (1993). Se propone una zonificación de los riesgos de índole geomorfológica, tomando como punto de partida el análisis de valores de pendientes críticas, altitudes, concentración de estructuras

disyuntivas, arreglo y distribución de la profundidad y densidad de la disección, intensidad de erosión y características de la estructura geológica.

Los mapas geomorfológicos a detalle mencionados son también pragmáticos, puesto que tienen un propósito específico.

De acuerdo con Verstappen y van Zuidam (1968) y Klimaszewski (1982), para elaborar cualquier tipo de mapa geomorfológico es necesario hacer un levantamiento geomorfológico, el cual consiste en varios pasos. Lo primero que se hace es la interpretación de fotos aéreas o imágenes de satélite, según la escala a la que se esté trabajando. Para un mapa detallado se recomiendan las primeras, mientras que para mapas a pequeña escala se recomiendan las segundas. El objetivo es hacer un reconocimiento general del área en estudio y las zonas adyacentes, para situar la zona en un contexto. También deben consultarse fuentes cartográficas y bibliográficas.

El siguiente paso es hacer un mapeo provisional con base en un mapa topográfico de las formas y procesos visibles y relevantes; también se elabora una leyenda preliminar. Esto permite una fácil ubicación en el campo, y el reconocimiento de la información registrada.

Después se hace un mapeo más detallado, a partir de la información general previamente obtenida. Una vez que se tiene este mapa provisional, se hace un levantamiento en el terreno para verificar la información del mapa provisional y para incorporar la información que no pudo ser obtenida por los medios antes mencionados. Entre más grande sea la escala del mapa, menos generalizaciones deben hacerse y más información de campo debe contener, para dar lugar a la particularidad.

Finalmente, se incorporan a la leyenda los datos obtenidos del levantamiento de campo.

El mapa geomorfológico debe ir acompañado de un documento que contenga la información geomorfológica de la zona y los comentarios pertinentes.

Esta metodología es válida para aplicarse a cualquier parte de la superficie terrestre, y no excluye la combinación de métodos provenientes de otras escuelas geomorfológicas.

El trabajo de campo que se realizó en este estudio, tuvo el fin de corroborar la información obtenida a través de la fotointerpretación y verificar algunos aspectos puntuales difíciles de observar en fotografías aéreas. De esta manera, el contacto con el relieve no fue totalmente directo, pero se complementó con lecturas y el análisis de la morfometría y su relación con la geología. Así, se pudieron analizar las estructuras geomorfológicas, lo que facilitó la elaboración del mapa final; por lo tanto, considero que es una fortuna el poder analizar y confrontar una variada bibliografía sobre geología.

En este estudio se emplean métodos morfométricos para elaborar los mapas altimétrico, de pendientes, de densidad y profundidad de la disección, y de energía del relieve, que sirvieron para enriquecer, corroborar y complementar la información morfogenética obtenida a través de la metodología propuesta por Verstappen y van Zuidam (1968), así como para hacer una zonificación geomorfológica en el área estudiada.

El objetivo principal de esta tesis es elaborar un mapa geomorfológico a detalle, que contribuya al conocimiento del medio geográfico del Ajusco y sus alrededores, identificando y clasificando las formas del relieve de acuerdo con su génesis, evolución y dinámica actual (en algunos sectores). En este mapa, el punto de partida de taxonomía del relieve está dado por los fundamentos de dos representantes de la escuela rusa: Leontiev y Richagov (1988), quienes toman como punto de partida lo siguiente: cualquier porción de la superficie terrestre está compuesta por una serie de formas individuales, cada una de las cuales a su vez, está conformada por elementos que integran formas más complejas. Por elemento del relieve se entiende una expresión lineal, puntual o de superficie con pendiente semejante, los cuales conforman la estructura del relieve no importando su origen, de acuerdo con Bashenina (1977) esto corresponde a una unidad del relieve para escalas a detalle. En conclusión, lo que determina el uso de una u otra taxonomía es el objetivo del

trabajo. En el caso del Ajusco, se representan formas individuales integradas por elementos que pueden llegar a formar unidades, dependiendo de su génesis. El *tamaño* de las unidades del relieve no llega a determinar, en este caso, una clasificación ascendente o descendente de categorías, ya que el objetivo específico es el detalle, éste es el motivo de usar los criterios de Bashenina (1977) en la taxonomía del relieve que puede leerse en el mapa a detalle del Ajusco y zonas adyacentes.

La leyenda está representada por símbolos lineales y puntuales, y su significado aparece en el mapa. En el texto se trata de hacer un análisis, el cual incluye en algunas ocasiones, datos geológicos, morfométricos y observaciones en el campo, que se correlacionan con la teoría llegando a una explicación propia.

1.2. MARCO BIBLIOGRÁFICO SOBRE EL VOLCÁN AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES

El estudio del territorio en cuestión resulta de interés por varias razones. El Ajusco y sus zonas aledañas constituye una de las principales superficies de recarga de los mantos acuíferos de la Ciudad de México, y es el área verde más importante de la zona metropolitana, tanto por su extensión, como por su influencia sobre la misma, ya que ayuda a aminorar los altos niveles de contaminación. Además, es el hábitat natural de numerosas especies vegetales y animales.

El Ajusco es un elemento del paisaje que repercute en el aspecto climático de la cuenca de México, ya que gracias a esta elevación se producen precipitaciones de origen orográfico, dando como resultado que esta zona, suroeste, sea la más lluviosa del Distrito Federal. Los vientos locales del área metropolitana viajan del noreste al suroeste, donde chocan con el Ajusco y se ven obligados a ascender, por lo que se enfrían adiabáticamente y condensan su humedad para formar nubes que originan abundantes precipitaciones. Los vientos también hacen fluir hacia esta misma zona los contaminantes, por eso es importante conservar el bosque.

Como marco bibliográfico en esta tesis se utilizaron trabajos previos sobre geología, estratigrafía, vulcanología, geología glacial, geomorfología, etc., a nivel regional y local, es decir, de la cuenca de México, particularmente de su porción sur, y trabajos específicos del volcán.

Entre los autores de estudios geológicos de la Cuenca de México se encuentra Mooser, quien entre 1956 y 1996 ha publicado numerosos trabajos. En uno de los iniciales (1956b) considera que la gran cantidad de volcanes de la Cuenca de México se debe a que ésta se encuentra en una zona de la corteza terrestre de gran debilidad, el Eje Volcánico, estructura del Terciario tardío (Mooser, 1987, en Ezcurra, 1990) refleja una fractura de primer orden en la corteza terrestre, a lo largo de la cual, a partir del Plioceno se presentaron movimientos, principalmente horizontales que han dado lugar a varios grupos diferentes de fracturas secundarias a través de las cuales

Mooser et al.(1996) en su última versión de la geología de la Cuenca de México, reconoce las estructuras que se presentan con sus edades, y establece que el Ajusco con sus domos es un elemento joven del complejo San Miguel, el cual es un *escudovolcán* que sufrió en tres ocasiones colapsos con formación de calderas (mapa 2).

Los estudios sobre la estratigrafía¹ de la Cuenca de México es un tema tratado por varios autores.

Mooser (1956a) considera que la base oriental del Ajusco está formada por traquiandesitas pertenecientes a la formación Xochitepec del Terciario medio. Sobre esta formación descansa una sucesión de lavas, brechas y conglomerados del Plioceno inferior, que recibe el nombre de Andesita Ajusco para las lavas superiores del Cerro del Ajusco.

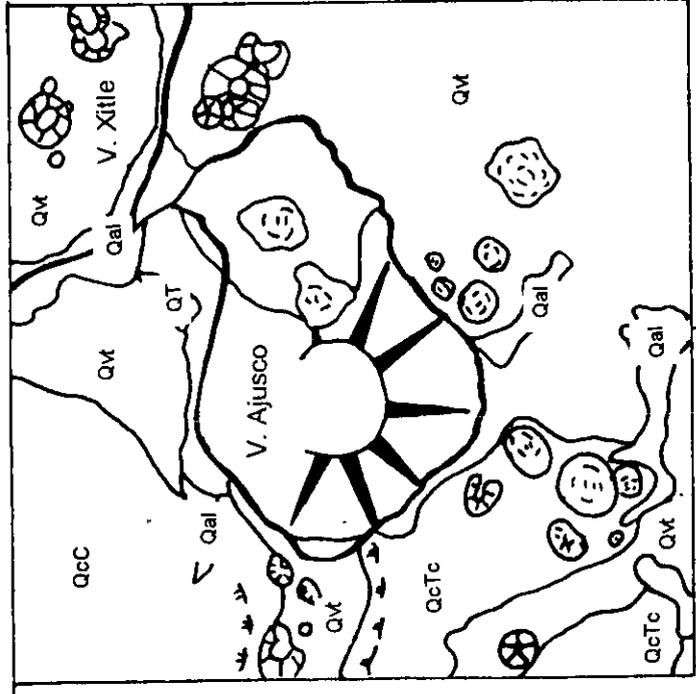
Mooser (1957) agrega que las lavas que formaron el Ajusco son andesitas de anfíbola.

Schlaepfer (1968) menciona que el Ajusco es un pequeño macizo aislado, que pertenece a la Sierra de las Cruces, y que está constituido por lavas muy erosionadas que descansan sobre una superficie volcánica antigua. Lo considera como un complejo producido durante dos épocas distintas de vulcanismo. *Andesita Ajusco* es el nombre que designa las lavas superiores del Cerro del Ajusco y de la Sierra de Las Cruces que descansan discordantemente sobre rocas volcánicas más antiguas y están cubiertas por los depósitos de la Formación Tarango (mapa 3).

De Cserna et al. (1988) explican que la Sierra del Ajusco está formada por rocas andesíticas, principalmente en derrames de lava, que constituyen la Formación Ajusco, la cual cubrió a las rocas andesíticas de la Formación Xochitepec y a la Formación las Cruces. Lo considera una formación del Plioceno tardío o del Pleistoceno.

Martin del Pozzo (1980) en el que considera al Ajusco como un volcán compuesto, cuyos centros eruptivos están muy erosionados debido a los procesos de

¹El trabajo sobre estratigrafía de la Cuenca de México más reciente y más completo es el de Vázquez y Jaimes (1989) en el que no se menciona ni la Andesita Ajusco ni la Formación Ajusco.



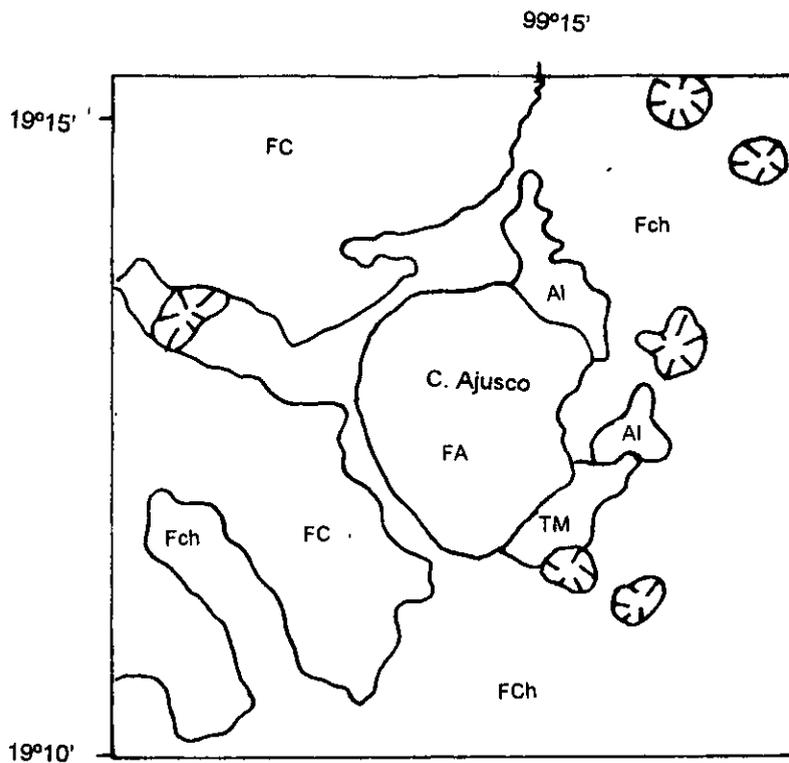
19°15'

99°15'

Leyenda

- QcC Sierra de las Cruces (Caldera doble Contreras)
- QcTC Sierra de las Cruces (Volcán 3 Cruces)
- Qvt Colapso Ajusco - Sn. Miguel Acopilco
- Qal Lavas y tobas del Cuaternario (Chichinautzin)
- QT Vulcanitas básicas e intermedias de tipo fenoblasto
- Depósitos aluviales del Cuaternario
- Tobas en depósitos del Cuaternario
- Volcán
- Domo del Cuaternario
- Cono cinerítico del Cuaternario
- Cono del Cuaternario
- Colapso
- Circuito Ajusco

Mapa 2. Detalle del mapa geológico de Mooser et al. (1996)



Leyenda



Centros eruptivos

AI

Aluvión con interestratificación de cenizas volcánicas

FCh

Formación Chichinautzin. derrames de lava basáltica hasta riódacítica, con material piroclástico asociado

FA

Formación Ajusco: derrames de lava andesítica que forman la parte superior del Cerro del Ajusco

FC

Formación las Cruces: comprende los productos volcánicos que forman la Sierra Volcánica Occidental a excepción del macizo de Zempoala y del Ajusco, y que derivan de centros extrusivos relacionados y alineados a lo largo del eje de la sierra. Comprende una parte inferior constituida por brechas volcánicas con interestratificación de lavas andesíticas, y una parte superior, discordante, ormada por potentes derrames sobrepuestos de lavas dacíticas

TM

Rocas Volcánicas del Tericiario Medio: capas volcanoclásticas formadas predominantemente por lahares

Mapa 3. Extracto del mapa de Schlaepfer (1968)

glaciación que existieron durante el Pleistoceno. El Tanque² y el Santo Tomás se consideran volcanes adventicios. También considera, a diferencia de Mooser (1957), que la roca que compone al Ajusco es una andesita porfídica cuya edad es del Plioceno al Pleistoceno.

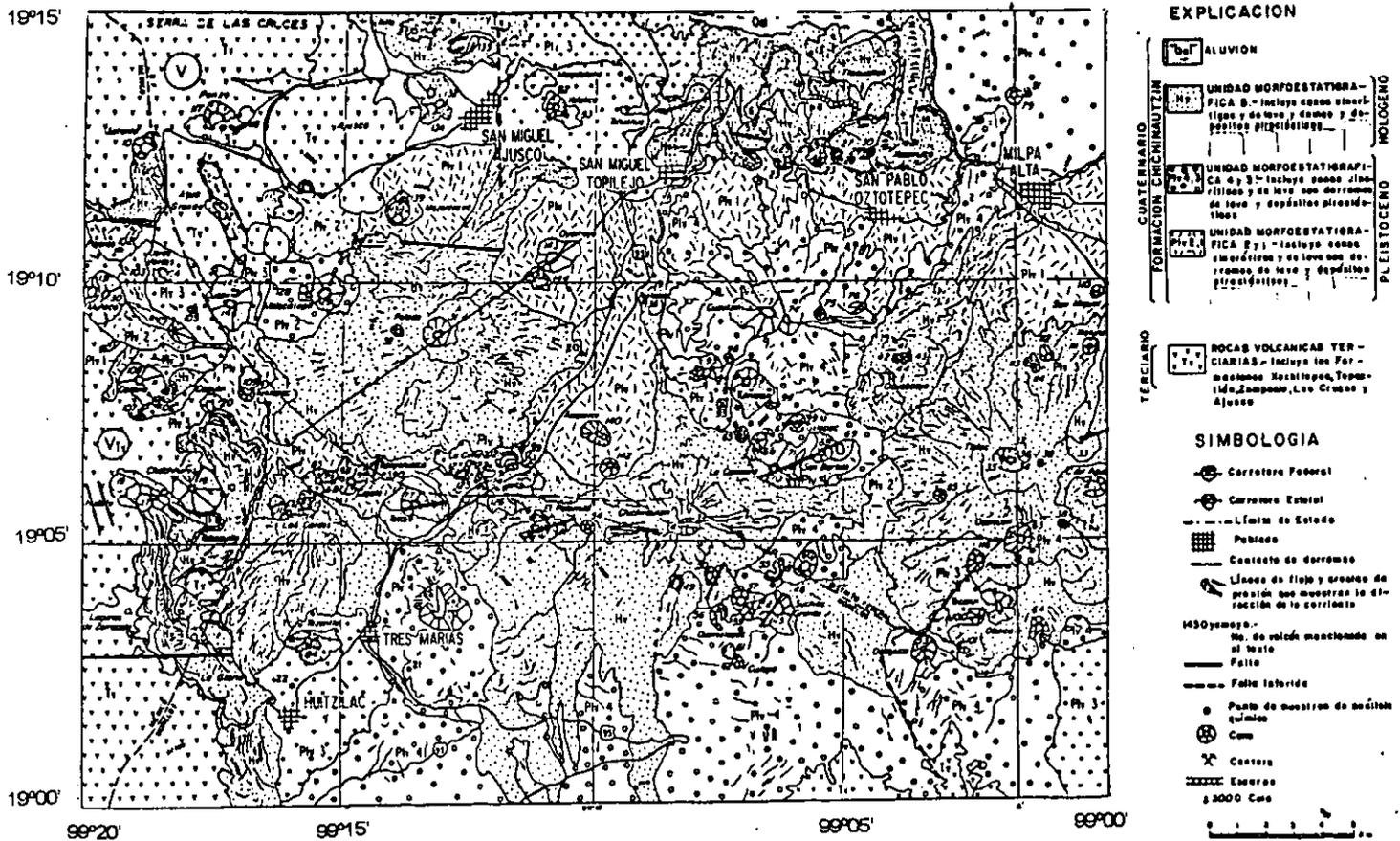
Respecto a la geomorfología Lugo Hubp (1984) menciona que el Ajusco es un estratovolcán, constituido por andesitas porfídicas del Cuaternario, formado en varias etapas de actividad. Debido a la fuerte inclinación de sus laderas, se ven afectadas por procesos gravitacionales intensos.

Martin del Pozzo (1989) realizó análisis geoquímicos e interpretaciones petrológicas para tratar de comprender el comportamiento de las rocas de la Sierra Chichinautzin. La juventud del relieve y la polaridad magnética normal que presentan las rocas definen un límite máximo de 690,000 años a la Formación Chichinautzin. Los mismos análisis permiten considera al Ajusco como del Terciario tardío (mapa 4).

Urrutia Fucugauchi y Martin del Pozzo (1993) analizan la edad de la Sierra Chichinautzin y sugieren que la actividad volcánica del Ajusco ocurrió en periodos transicionales y en variaciones del campo geomagnético, probablemente durante el Cron de Brunhes, lo que indica que el Ajusco tiene menos de 0.79 millones de años. Explican que las variaciones temporales del campo geomagnético, como la variación paleosecular, variaciones y cambios de polaridad, proveen un sistema de referencia para correlación y fechamiento. En los últimos 2.5 millones de años, la polaridad del campo geomagnético ha cambiado varias veces dando como resultado periodos normales y reversos de diversa duración. Estos se han agrupado dentro de los cronos de Brunhes (normal) y Matuyama (predominante reverso). La polaridad normal que caracteriza el campo magnético, al presente se ha mantenido desde hace ya unos 0.73-0.79 millones de años (periodo denominado como Cron Normal Brunhes). Durante este Cron Brunhes, se han documentado además, varias excursiones o sub-cronos del campo geomagnético.

²Es muy probable que el volcán adventicio llamado el *Tanque* por esta autora sea el mismo que la elevación denominada cerro *Pipixaca*.

Delgado Granados y Martin del Pozzo (1993) analizan la zona donde se unen la Sierra de Las Cruces, el Ajusco y la Sierra Chichinautzin y determinan que esta región estuvo sometida a tres periodos de actividad volcánica. El periodo más antiguo (Las Cruces) del Plioceno tardío al Pleistoceno, corresponde a la actividad del volcán Los Picachos. El material expulsado consiste en flujos piroclásticos dacíticos, lahares y lavas de la formación las Cruces. Durante el Pleistoceno medio tuvo lugar el periodo eruptivo Ajusco, que formó el mismo volcán con el emplazamiento de varios domos de lava andesítica. En el Pleistoceno tardío y el Holoceno, el periodo eruptivo Chichinautzin formó gran cantidad de volcanes monogenéticos de tipo estromboliano.



Mapa 4. Mapa de la Sierra Chichinautzin, el Ajusco y una porción de la Sierra de Las Cruces (Martin del Pozzo, 1989).

Otro tema que se ha estudiado en la Cuenca de México es el referente a los cambios climáticos del Pleistoceno, mismos que han dado lugar a las glaciaciones. Entre los estudios de este tipo están los de Heine, y White y sus colaboradores, sin olvidar los de Blásquez y Lorenzo, trabajos iniciales sobre las glaciaciones en México.

Blásquez (1943) trata de demostrar que en México también existieron glaciaciones, ya que en ese tiempo se pensaba que había sido un fenómeno exclusivo de las altas latitudes. Plantea detalladamente cómo contradice los argumentos de Ordóñez (citado por él) para explicar la existencia de un depósito propiamente glacial, que este autor atribuía a un acarreo fluvial, lo cual es imposible porque es de características distintas.

En 1961 expone los resultados que obtuvo de diez años de observación en las cumbres del Iztaccíhuatl, y concluye que en éstas, el límite de las nieves no es fijo, y lo es, en cambio, en los mantos de hielo. Reconoce dos glaciares en la ladera oeste y afirma que tienen avances y retrocesos debidos al microclima, más que al clima mundial, principalmente en glaciares de poca extensión (Blásquez, 1961).

Lorenzo (1959) realizó una clasificación de los glaciares de México con base en la establecida por Ahlmann en 1948, enriquecida O'Field (citados por él). La clasificación se basa en criterios morfológicos, toma en cuenta la apariencia externa del glaciar, regida por la topografía del lecho de roca y la extensión y espesor del hielo.

En 1967 Lorenzo revisa las teorías sobre paleoclimatología de la cuenca de México y concluye que es posible correlacionar las glaciaciones del centro de México establecidas por White (1962) con las de las montañas Rocallosas.

En 1969 propone una clasificación de los procesos periglaciales, partiendo de la hipótesis de que las formas periglaciales de las altas montañas nunca tuvieron gran extensión, y su presencia estuvo y está regulada por el microclima, influido por la cercanía de los glaciares, más que por una alteración climática general.

White (1962) establece una sucesión glacial estándar para las glaciaciones ocurridas en los volcanes del centro de México, basada en la serie glacial determinada por el autor en el lado oeste del volcán Iztaccíhuatl, la cual fue identificada a través de

posiciones relativas de morrenas de cada valle; sucesiones de flujos de lava en asociación con erosión y depositación; depósitos de tefra transportada por el viento en ciertas morrenas; alteración postglacial de las morrenas; modificaciones relativas en superficies glaciadas; y comparaciones de características sedimentarias. La secuencia se elaboró con el fin de tener una serie estándar que pueda aplicarse a todos los volcanes centrales de México que tuvieron influencia glacial.

Por otro lado, Heine (1973) establece otra secuencia glacial para los volcanes del centro de México, basándose en la estratigrafía de los barrancos del volcán La Malinche y comparándola con la de otros grandes volcanes. Toma en cuenta las capas de depósitos glaciales y periglaciales, paleosuelos, gravas, arenas, tefra y tobas interestratificadas con flujos de lava. También utiliza métodos de datación relativa para demostrar las diferencias de edad en las secuencias de till, lo que incluye posición topográfica, morfología de las morrenas, parámetros de meteorización de la roca, densidad de los sedimentos de toba, porosidad del suelo y cobertura vegetal.

Los estudios locales son muy pocos y se refieren a la geología glacial y a la vegetación, entre éstos se mencionan los siguientes.

En 1978, White comienza a estudiar las primeras evidencias de los depósitos glaciales del Ajusco. Encuentra tres valles en las laderas norte y noreste, con vestigios de glaciación, dos de ellas más recientes, y además, de varios episodios consecuentes de actividad periglacial en todas las laderas que rodean las cumbres mayores. Las evidencias de las glaciaciones son las morrenas laterales; los circos glaciales y los valles con morfología de *U*; los depósitos glaciales en forma de derrubio compuestos por cantos angulares, subangulares y subredondeados, y por cantos redondeados; abanicos fluvioglaciales de grava de cantos subredondeados y de arena, formados dentro e inmediatamente afuera de las posiciones terminales de las morrenas; y aluvión glacial de grava de cantos redondeados y subredondeados y de arena, transportados por los arroyos de fusión de nieve (White, 1978).

Ortega (1979) en un estudio de la geología glacial del Ajusco, menciona que dicha estructura es un conjunto de rocas volcánicas, compuestas por derrames andesítico-dacíticos en su parte baja, que se van modificando en composición hacia el

oriente, hasta alcanzar características dacíticas y en algunos casos riódacíticas, en cuerpos lenticulares de tipo ignimbrítico. Con respecto a la edad y correlación, menciona que está rodeado de rocas y sedimentos pleistocénicos y holocénicos del grupo Chichinautzin que se acuñan superpuestos en casi toda su periferia. Supone el autor, que las rocas del Ajusco son anteriores al Plioceno, y tomando en cuenta su estado de erosión y sus límites estratigráficos, le atribuye una edad entre Mioceno tardío y Plioceno.

En 1984, White y Valastro publican una nueva versión del trabajo hecho en 1978, más amplia y detallada, en donde se analizan y se fechan los depósitos morrénicos del Ajusco, además de correlacionarlos con los del volcán Iztaccíhuatl. De la datación con radiocarbón resultaron edades mínimas: 27,000 años para la glaciación Marqués; 25,000 años para la glaciación Santo Tomás; entre 15,000 y 8,000 años para la Albergue; y menos de 2,000 para los avances neoglaciales. Los autores consideran que también es importante tener edades a través de la comparación con depósitos similares usando criterios de datación de edad relativa. El resultado es que las glaciaciones ocurridas en el Ajusco son comparables a algunas ocurridas en el Iztaccíhuatl, lo que se explica con detalle en el capítulo de geología.

Finalmente, en 1990, estos dos autores junto con J. Ortega y M. Reyes, presentan una versión más compleja que incluye información sobre el clima, la vegetación, suelos y geología del Ajusco, así como descripciones de las glaciaciones y de los depósitos glaciales. También establecen una comparación de estas glaciaciones con las del Iztaccíhuatl y las de las montañas Rocallosas, con el fin de establecer las edades relativas de los depósitos glaciales.

En 1984 Heine publica sus comentarios sobre la secuencia glacial del Ajusco elaborada por White y Valastro, y opina que las edades absolutas establecidas por estos autores son incorrectas. A la glaciación Marqués le atribuye una edad de entre 36,000 y 32,000 años; a la Santo Tomás de 26,000 a 16,000 años; entre 10,000 y 8,500 a la Albergue; y a los avances de la Neoglaciación entre 3,000 y 2,000 años. Según Heine, sus edades no concuerdan con las de White y Valastro porque algunas

de las muestras que utilizaron para las pruebas de radiocarbón podrían estar contaminadas.

Por otro lado, también existen algunos estudios sobre la vegetación del Ajusco, entre ellos están el de Alvarez del Castillo (1987) y el de Palacio Prieto y Luna González (1994).

En el primero se dividió el Ajusco en tres zonas altimétricas: la parte baja que oscila entre los 2,250 y 2,900 msnm; la parte intermedia, de los 2,900 a los 3,400 msnm; y la parte superior, de los 3,400 a los 3,900 msnm. Esta división altitudinal se hizo con el fin de separar los diferentes tipos de vegetación encontrados en el Ajusco. Los resultados indican que en la parte baja predominan bosques de *Quercus rugosa*, *Quercus centralis* y *Quercus crassipes* y, a medida que se asciende aparecen bosques de *Pinus teocote*. La parte media está representada por el bosque de *Abies religiosa*, árboles que se agrupan en manchones; aparecen en forma aislada algunos otros elementos arbóreos como *Quercus laurina*, *Quercus lanceolata*, *Alnus firmifolia* y *Salix cana*. En la parte superior el bosque representativo debería ser el *Pinus hartwegii*, sin embargo, éste se encuentra muy reducido.

Palacio Prieto y Luna González (1994) en un estudio comparativo entre la eficacia de la exactitud de procedimientos supervisados de clasificación espectral, interpretación visual y medio no supervisados, mencionan brevemente que en buena medida, la distribución del uso del suelo y la vegetación guardan una estrecha relación con las características geológicas y geomorfológicas de la zona. La agricultura se encuentra restringida a las depresiones aluviales desarrolladas entre los derrames lávicos cuaternarios y a algunos piedemontes lávicos cubiertos por materiales piroclásticos. Por otra parte, los derrames lávicos recientes, frecuentemente carentes de un suelo desarrollado, se encuentran cubiertos por bosques de pino y zacatonal, y de oyamel, las faldas del Ajusco.

En conclusión, de acuerdo con los autores mencionados, el Ajusco es una estructura volcánica producto del afallamiento de la cuenca de México, probablemente del Pleistoceno, formada en distintas etapas de actividad, y compuesta por rocas andesíticas principalmente. Se caracteriza por una erosión producto de tres

glaciaciones y dos avances neoglaciales, ocurridos durante el Pleistoceno y el Holoceno.

CAPÍTULO II: MEDIO GEOGRÁFICO

2.1. LOCALIZACIÓN

El Volcán Ajusco está situado a 28 km del centro del Distrito Federal, en el suroeste de la Cuenca de México, entre la Sierra de Las Cruces y la Sierra de Chichinautzin (mapa 5). El cerro La Cruz del Marqués, parte más alta del volcán, con 3,937 m constituye la máxima elevación del Distrito Federal.

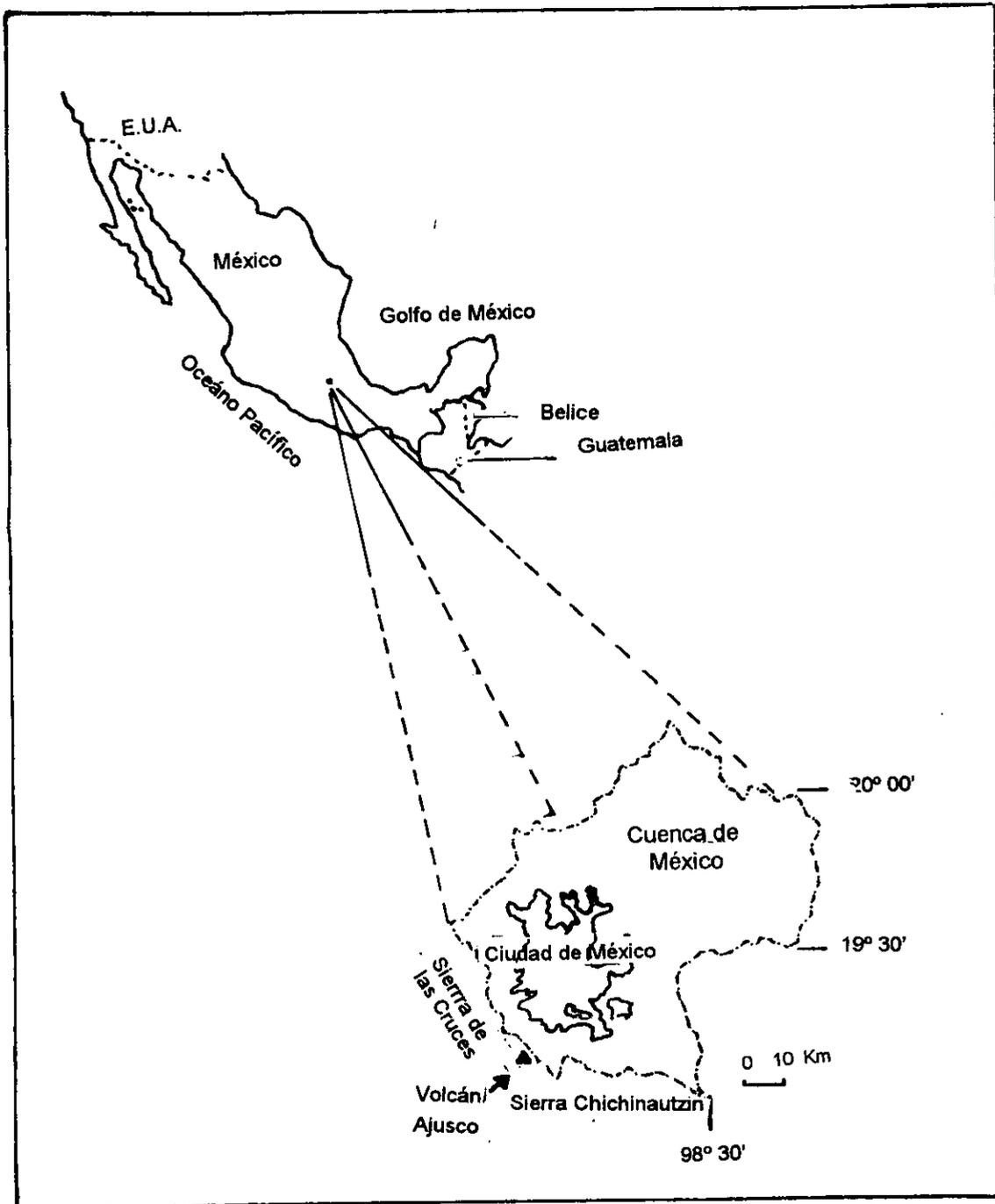
El área objeto de estudio comprende el Volcán Ajusco, algunos domos de lava y conos cineríticos con sus respectivas coladas de lava que se extienden hacia el norte y el sur de la estructura principal.

Las coordenadas extremas que limitan este territorio son 19° 10' 30" y 19° 15' 00" de latitud norte, y 99° 13' 20" y 99° 16' 40" de longitud oeste.

El territorio en estudio se encuentra dentro de la provincia denominada Sistema Neovolcánico Mexicano y en forma más precisa, de la subprovincia de los Volcanes y Lagos Anáhuac.

El Ajusco se constituyó en distintas etapas de actividad volcánica ocurridas seguramente en el Pleistoceno, de acuerdo con Mora et al. (1991) y Mooser et al. (1996), y fue erosionado posteriormente durante las glaciaciones del Pleistoceno. Los domos y conos son posteriores al Volcán Ajusco. Además de estas unidades, están las coladas de lava, cada una con características específicas, y las planicies que bordean o desmembran los derrames de lava.

El Ajusco y sus alrededores es una zona boscosa muy importante para la ciudad de México, por su extensión y por su influencia sobre la ciudad; constituye una gran superficie de recarga de los mantos acuíferos y es un área verde que contribuye a aminorar la contaminación del área metropolitana.



Mapa 5. Localización de la zona en estudio

2.2. CLIMA

Para establecer el tipo de clima de la zona, se toman en cuenta principalmente dos parámetros: la temperatura y la precipitación.

Las mayores temperaturas medias anuales se presentan en el sur del área, con valores alrededor de 15° C en las menores altitudes. La temperatura disminuye al incrementarse la altitud, hasta alcanzar valores mínimos, entre 8° y 12° C en los puntos más altos del Ajusco (mapa 6). Los meses más fríos son diciembre y enero; los más secos son de diciembre a marzo, mientras que los más húmedos son de junio a octubre. Se calcula que la precipitación media anual es de 1,500 mm. La parte sur del Ajusco presenta veranos más prolongados y calurosos que la parte norte, debido a su cercanía con el clima tropical Awg (de la clasificación de Köppen) a corta distancia al sur de la meseta central (White et al. 1990).

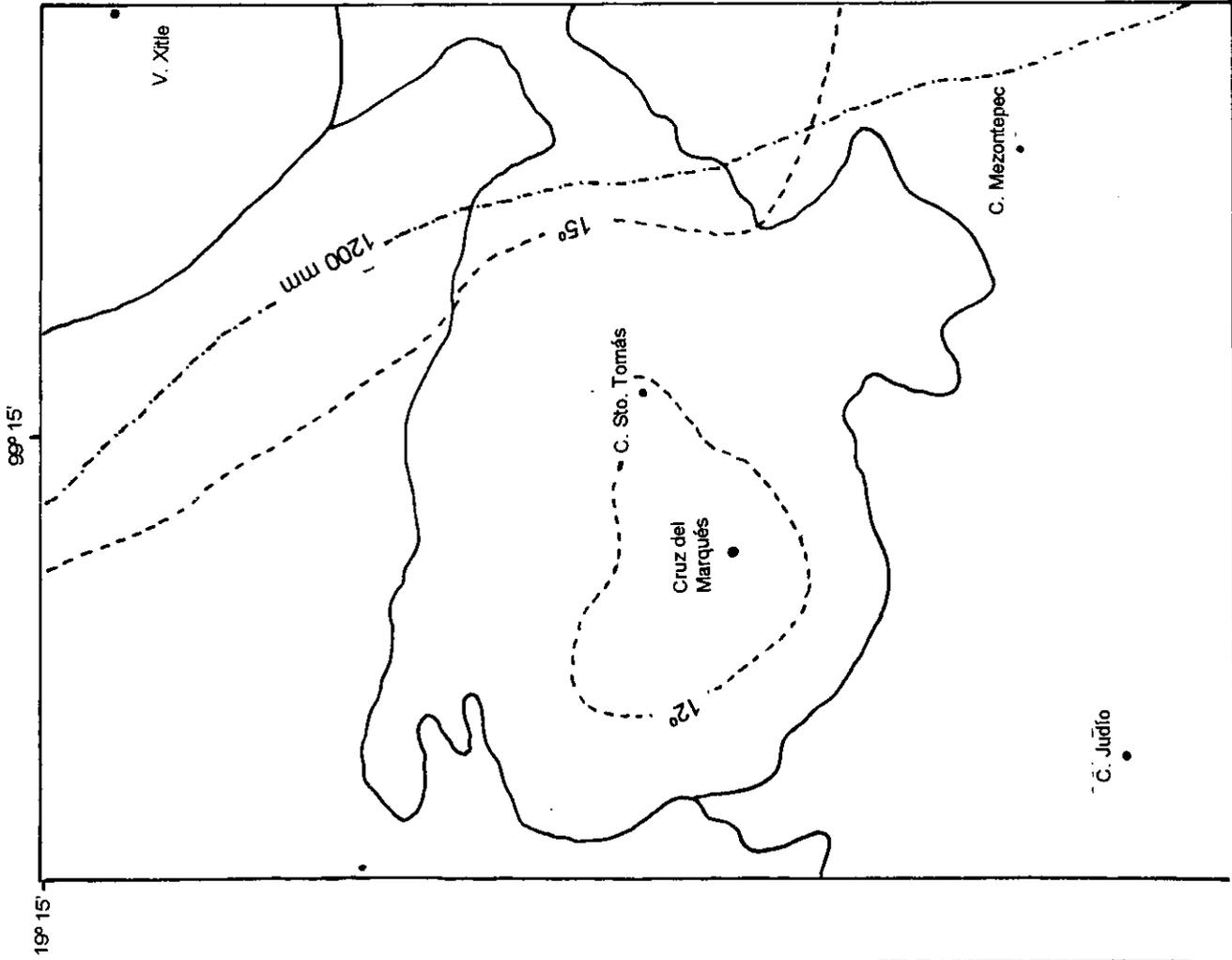
El Ajusco sirve de barrera orográfica a los vientos locales de la metrópoli que viajan de noreste a suroeste, siendo así el suroeste la zona más lluviosa de la ciudad. Los vientos que vienen del noreste chocan con el Ajusco y ascienden, de esta manera se enfrían adiabáticamente y condensan la humedad para formar fuertes nubosidades que originan considerables precipitaciones.

Tomando en cuenta estos dos parámetros, la clasificación climática según Köppen, modificada por García (1988), es la siguiente:

- Cb'(w2)(w)ig: semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Es el más húmedo de los subhúmedos; la lluvia invernal es menos del 5% de la anual; el verano es fresco y largo; es isotermal (oscilación menor a 5° C); y la marcha de la temperatura es tipo Ganges.

Este clima es el que se presenta en toda la zona. El hecho de que sólo haya un tipo de clima se debe a que la variabilidad altitudinal es poca.

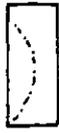
La heterogeneidad del relieve no es suficiente para causar diferencias climáticas importantes, pero sí es capaz de originar brisas de valle y montaña, y como se mencionó anteriormente, lluvias orográficas de gran repercusión para la Cuenca de México.



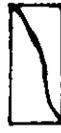
Leyenda



Isothermas



Isoyeta



Circuito Ajusco



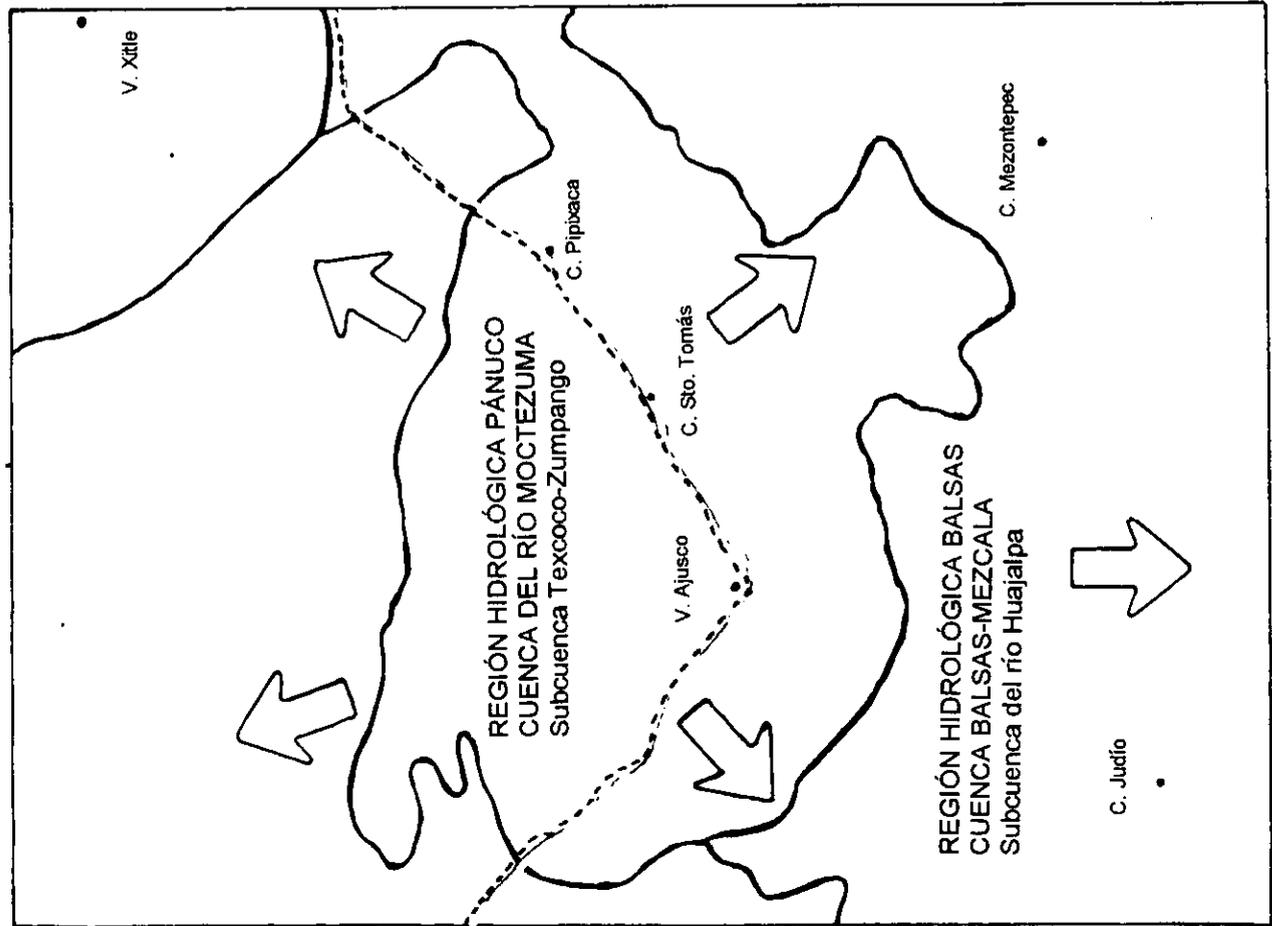
Mapa 6. Isothermas e isoyetas en el Ajusco. Cara de efectos climáticos regionales mayo-ocubre. Ciudad de México, E14-2 INEGI, 1985.

2.3. HIDROLOGÍA

La zona en estudio se encuentra dividida en dos cuencas hidrológicas. La parte norte corresponde a la subcuenca Texcoco-Zumpango, misma que artificialmente se ha integrado a la cuenca del río Moctezuma, que a su vez forma parte de la región hidrológica Pánuco. La parte sur corresponde a la subcuenca del río Huajapa, perteneciente a la cuenca Balsas-Mezcala, que es parte de la región hidrológica Balsas (mapa 7).

Las laderas andesíticas del Ajusco favorecen más el escurrimiento que la infiltración, lo que se aprecia en las corrientes fluviales intermitentes que han formado una serie de barrancos que se extienden hasta la base del volcán. En cambio, las rocas volcánicas de la Formación Chichinautzin que rodean al Ajusco, son de alta permeabilidad, lo que aunado a su juventud, no ha permitido el desarrollo de una red fluvial.

99° 15'



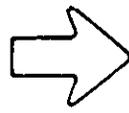
Leyenda



Panteaguas



Circuito Ajusco



C. Judío

Mapa 7. Cuencas y subcuencas en la zona de estudio.
Carta de aguas superficiales. Ciudad de México, E14-2-
INEGI, 1980

2.4. SUELOS

Es importante tener en cuenta la caracterización del suelo, ya que se trata la capa más superficial de la corteza terrestre, en la que se manifiestan los procesos geomorfológicos. Por otro lado, el análisis de los tipos de suelo y sus características, permiten conocer las peculiaridades del drenaje, manejo agrícola y textura, características vinculadas al uso y capacidad del mismo.

Los tipos de suelo en la zona estudiada, según la clasificación FAO-UNESCO, son el andosol y en menor extensión el litosol y el feozem. A continuación se presenta la descripción y sus respectivas combinaciones para la región del Ajusco, así como su localización (mapa 8). La información se obtuvo por medio de la interpretación de la carta edafológica E14-A49.

1. Andosol (*T*)

Este tipo de suelo abarca casi el 100% del área en estudio. Se presenta en zonas de acumulación de material piroclástico fino. En condiciones naturales tiene vegetación de bosque de pino y encino. Se caracteriza por una capa superficial de color negro o muy oscura y por una textura esponjosa o de material muy suelto. Es muy susceptible a la erosión. Si se usa en agricultura, el rendimiento es bajo porque retiene mucho fósforo que no puede ser absorbido por las plantas. La mejor manera de conservar este tipo de suelos es con el uso forestal. La deforestación, asimismo, favorece la erosión.

Los andosoles presentes en la región estudiada son húmicos (*h*) y mólicos (*m*). Éstos se disponen en un arreglo muy estrecho con la edad de las formas del relieve volcánico, mismas que favorecen su desarrollo.

a) Andosol húmico (*Th*): tiene en la superficie una capa de color oscura o negra, rica en materia orgánica, muy ácida y pobre en nutrientes.

- Th/1: andosol húmico de textura fina. Se encuentra sobre la colada de lava denominada Q3 en este estudio, al sur del Ajusco.

- Th/2: andosol húmico de textura media. Se localiza al noroeste, en el conjunto montañoso precuaternario de la Sierra de Las Cruces, sobre parte de las coladas de lava Q₃ al norte del Ajusco, en el Xitle y el Xicontle.
- Th+I/2: andosol húmico con litosol de textura media. Se localiza sobre pequeñas porciones de coladas de lava denominadas Q₂, al oriente del Ajusco.
- Th+I /2: andosol húmico con litosol de textura media y fase lítica profunda. El andosol húmico se caracteriza por una capa de color oscuro o negra, rica en materia orgánica, muy ácida y pobre en nutrientes. Se localiza en casi todo el Ajusco, en los domos al sur del mismo (entre los que se encuentran el Cerro del Judío, el Mezontepec y otros sin nombre), sobre una parte de las coladas de lava Q₂ y en la colada del Xitle.
- Th+Tm/2: andosol húmico con andosol mólico de textura media. Se localiza bordeando al Ajusco por la parte noreste.

b) Andosol mólico (*Tm*): presenta en la superficie una capa de color oscuro o negra, rica en materia orgánica y nutrientes.

- Tm /1: andosol mólico con textura fina. Se presenta al sudeste del Ajusco y al oeste del Cerro Mezontepec, sobre parte de las coladas con una edad Q₂.
- Tm /2: andosol mólico con textura media. Se encuentra al este del Ajusco, rodea al Cerro Mezontepec por el este, y al oeste de la zona en estudio sobre parte de las coladas de lava Q₂.
- Tm+Th/2: andosol mólico con andosol húmico de textura media. Se encuentra sobre la planicie localizada al noroeste del Ajusco, al oeste del Xitle y del Xicontle, al noreste del Ajusco, y al oeste del Cerro Pipixaca.
- Tm+Hh/2: andosol mólico con feozem aplico con textura media. Se localiza al oeste de la zona en estudio.

2. Litosol (*l*)

Se caracteriza por una profundidad menor de 10 cm hasta la roca madre. Debe su formación a la intemperización de la lava.

- I /2: litosol con textura media. Se encuentra en manchones muy pequeños al sur de la zona.

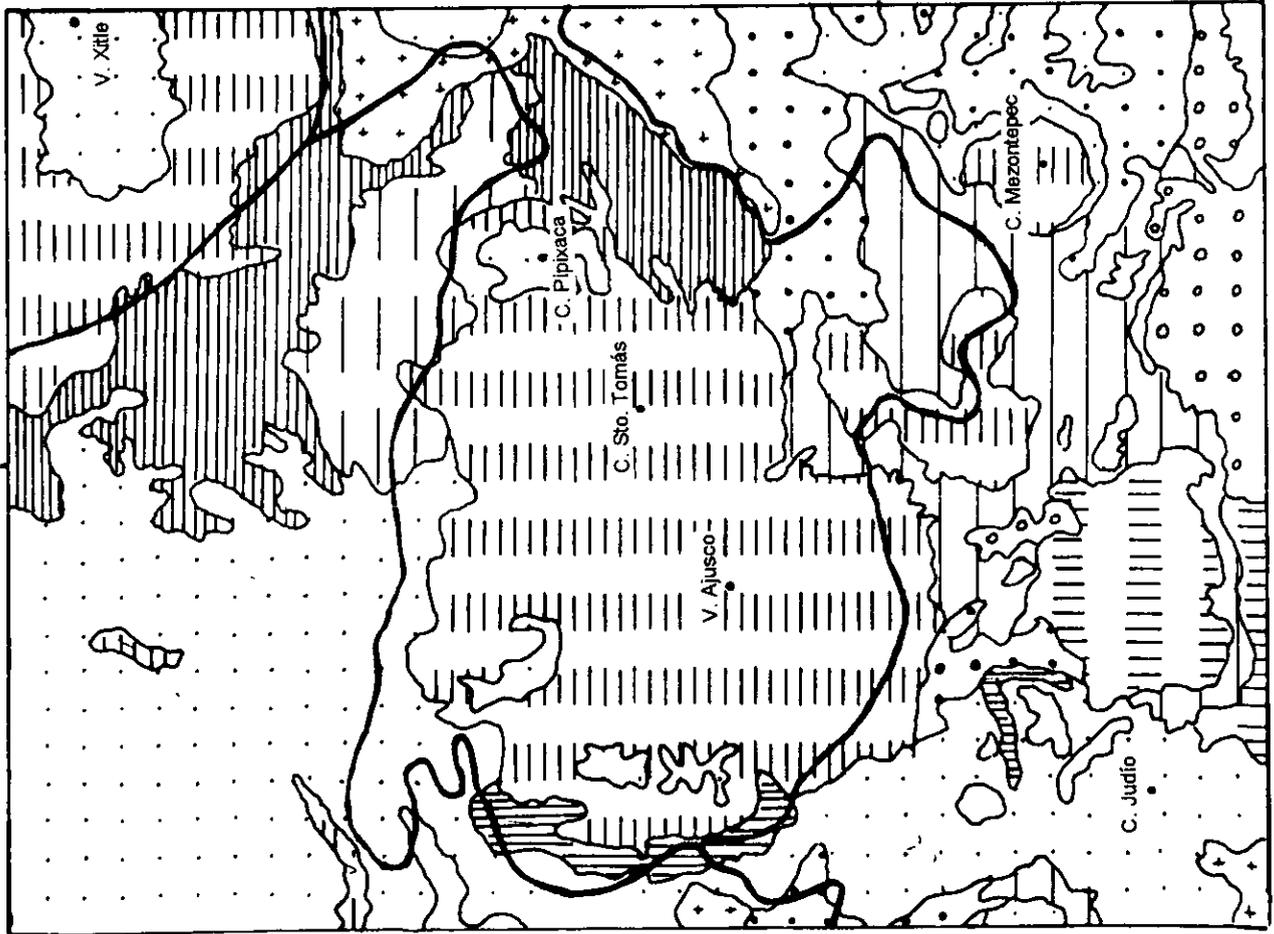
- I+Th/2: litosol con andosol húmico con textura media. Se presenta en la porción sudeste de la zona de estudio, sobre una parte de la colada Q₃ del Volcán Pelado.

Estos tipos de suelo se forman a partir de productos volcánicos, hecho que corresponde totalmente con el tipo de territorio en estudio.

Tanto andosoles como litosoles se pueden perder fácilmente, los andosoles por su fuerte susceptibilidad a la erosión y los litosoles por ser poco profundos.

El suelo tiene un buen desarrollo en las laderas del volcán Ajusco, mientras que es incipiente en las lavas y planicies de la Formación Chichinautzin.

99° 15'



Leyenda

-  Th/1 Andosol húmico con textura fina
-  Th/2 Andosol húmico con textura media
-  Th 1/2 Andosol húmico con litosol con textura media
-  Th 1/2 Andosol húmico con litosol con textura media y fase lítica profunda
-  Th Tm/2 Andosol húmico con andosol mólico con textura media
-  Tm/1 Andosol mólico con textura fina
-  Tm/2 Andosol mólico con textura media
-  Tm Th/2 Andosol mólico con andosol húmico con textura media
-  Tm Hh/2 Andosol mólico con feozen háplico con textura media
-  1/2 Litosol con textura media
-  1 Th/2 Litosol con andosol húmico con textura media
-  Circuito Ajusco



Mapa 8. Suelos del Ajusco y zonas adyacentes.
 Cara edafológica. Miipa Alta , E14-A49, CETENAL, 1976

2.5. VEGETACIÓN

La vegetación original que aún permanece en la zona, está constituida por comunidades de bosque de pino, oyamel y bosque mixto, más espesa en las laderas norte y noreste; ya que el piso es umbrío, la humedad puede retenerse por más tiempo, y el suelo y la temperatura son más frescos.

El Ajusco se puede dividir en tres zonas de vegetación (mapa 9). En las laderas norte, noreste y este, en las partes bajas, hasta la cota de 3,500 aproximadamente, existe un bosque natural caducifolio de *Abies religiosa* (oyamel) bien conservado. Se localizan sobre suelos profundos con bastante humedad. La ladera sudeste también presenta este tipo de bosque, pero su estado de conservación no es tan bueno, según White et al. (1990).

En las laderas sur, suroeste y oeste, predomina el bosque natural caducifolio de *Pino hartwegii* (pino). En estas laderas el bosque es más abierto, lo que produce que la insolación sea mayor y el suelo y la temperatura sean menos frescos. Sobre la cota de 3,500, en las demás laderas, también predomina el bosque de pino, el cual puede desarrollarse en laderas de fuerte pendiente.

La densidad de este bosque es baja, se han aplicado campañas de reforestación, pero con pocos resultados, debido probablemente al exceso de contaminantes volátiles lanzados a la atmósfera por las fábricas y los automóviles de la zona metropolitana de la ciudad de México. No sólo han matado al bosque, sino también a parte de la fauna acompañante, lo cual ha permitido que algunas plagas de insectos devastadores de la corteza de los árboles, se desarrollen explosivamente en ausencia de depredadores (Alvarez del Castillo, 1987). Los árboles de pino que colindan con el bosque de oyamel presentan tallas de 20 m de altura, mientras que en las cimas del Ajusco la altura de los árboles se abate drásticamente (3-4 m), debido a que están expuestos a fuertes vientos (Alvarez del Castillo, 1987).

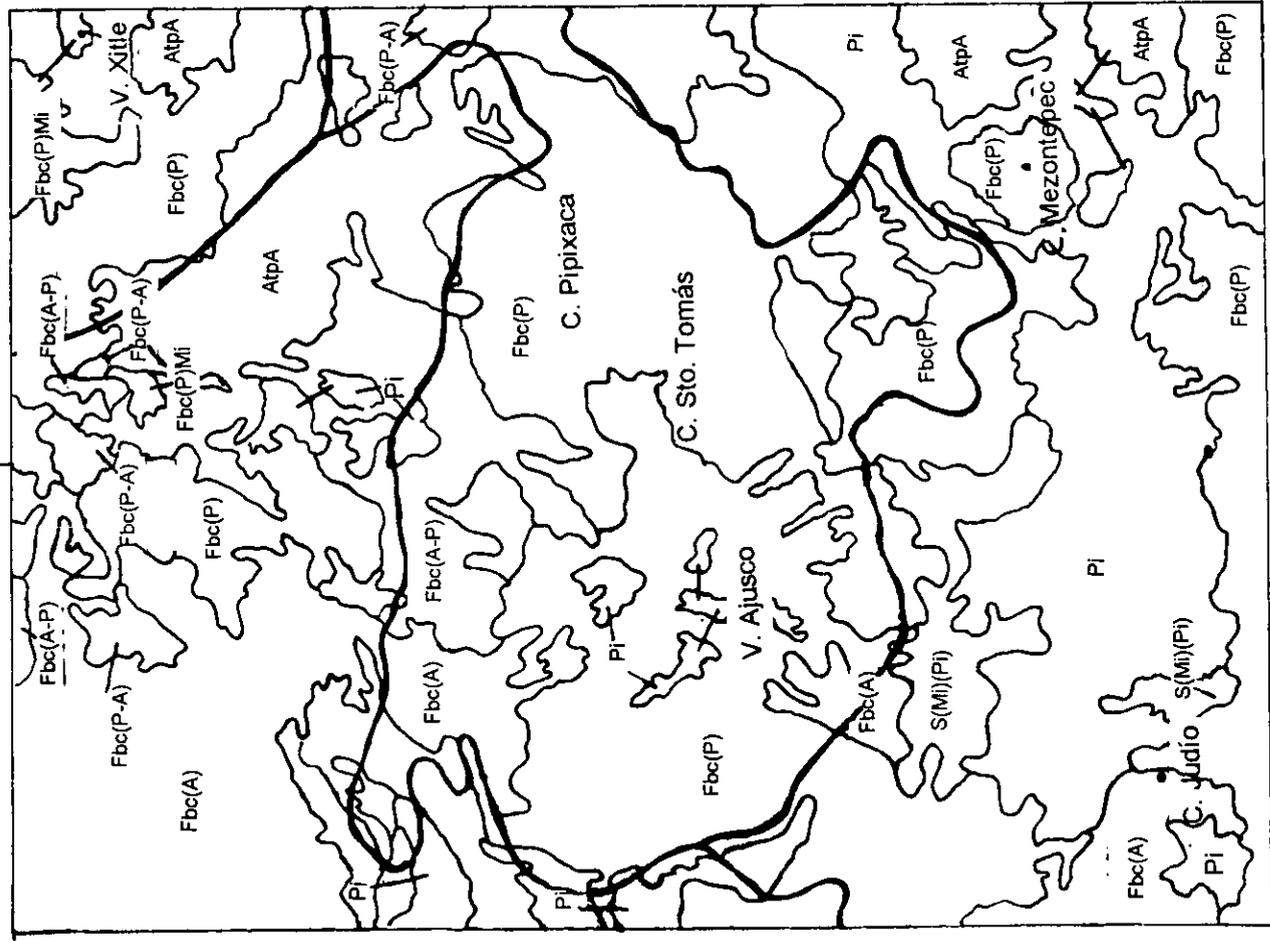
En estas mismas laderas y en las cimas, se presentan manchones de pastizal inducido. En las cimas, por la poca vegetación, el suelo queda desprotegido a los rayos del sol y su temperatura es más caliente a pesar de la mayor altitud.

En algunos lugares, donde ha habido incendios, el suelo se ha deslavado y se puede observar la roca fragmentada (White et al., 1990).

Tanto al norte como al sur del Ajusco, se han utilizado las zonas planas para agricultura de temporal permanente o para pastizal inducido. Ésto ha favorecido la erosión acelerada, puesto que se ha destruido la vegetación natural.

Sobre las demás laderas predominan los bosques naturales caducifolios tanto de *abies* como de pinos y en algunas ocasiones mixtos.

19°15'



99°15'

Leyenda

- Fbc(P) Bosque caducifolio de pino
- Fbc(A) Bosque caducifolio de oyamel
- Fbc(A-P) Bosque caducifolio de oyamel y pino
- Fbc(P-A) Bosque caducifolio de pino y oyamel
- Fbc(P)Mi Bosque caducifolio de pino con matorral inerme
- Pi Pastizal inducido
- S(Mi)(Pi) Matorral inerme y pastizal
- AtpA Agricultura de temporal
- ~ Circuito Ajusco



Mapa 9. Uso del suelo y vegetación en la zona en estudio. Carta uso del suelo y vegetación. Milpa Alta, E14-A49, CETENAL, 1976.

2.6. SÍNTESIS DEL MEDIO GEOGRÁFICO

Debido a su localización y a su morfología, el Ajusco es una estructura importante para la Cuenca de México por dos aspectos: ocasiona lluvias orográficas por su topografía y la dirección de los vientos; y parte de la zona sirve de recarga para los mantos acuíferos de la cuenca de México.

El relieve condiciona el clima y la vegetación, pues origina zonas de umbría y humedad en las laderas norte y noreste, donde la vegetación es más frondosa que en las laderas expuestas al sol directamente. Esto también permitió la formación de glaciares durante el Pleistoceno y el Holoceno, mientras que el resto de la montaña quedó sujeta a procesos periglaciales. Actualmente, debido a su altitud y humedad, algunos procesos periglaciales todavía actúan.

Los andosoles no son muy aptos para el desarrollo de la agricultura, sin embargo, dicha actividad se practica y cada vez se extiende más. Esto conlleva a una erosión acelerada, pues las áreas planas como las coladas antiguas y las planicies, son utilizadas para la agricultura y se talan los árboles, quedando los campos desprovistos de su vegetación original, la adecuada para los andosoles.

CAPÍTULO III ASPECTOS GEOLÓGICOS

3.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL: LA CUENCA DE MÉXICO.

El análisis de la geología regional y local es de gran utilidad para poder situar el área de estudio dentro de un contexto. En el primer caso, se describe la geología de la Cuenca de México, dado que el Ajusco forma parte de ella; En el segundo caso se exponen las ideas de varios autores sobre la geología del Ajusco, con el objeto de discutir y enriquecer la interpretación geomorfológica que se hace para este territorio.

3.1.1. GEOLOGÍA Y TECTÓNICA:

La Cuenca de México se encuentra en la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transmexicano, mismo que se debe a una actividad volcánica que tiene lugar a través del país de este o oeste, aproximadamente entre los paralelos 19° y 20° N, desde las costas de Colima y Nayarit a las de Veracruz; con una anchura que varía de 50 a 250 km y con más de 900 km de largo. Esta unidad está integrada por planicies escalonadas, limitadas o desmembradas por estratovolcanes (entre ellos los volcanes más grandes de México) y campos volcánicos monogenéticos. La Cuenca de México se localiza en la parte centro-oriental de dicho sistema.

El origen del Sistema Volcánico Transmexicano se explica por la subducción de la placa de Cocos bajo el territorio mexicano, entre las costas de Jalisco y Chiapas.

La Cuenca de México está alargada en dirección NNE-SSW, 100 km y su anchura es de 30 km aproximadamente. Es una cuenca endorreica de desagüe artificial, que se formó al cerrarse el antiguo valle de México por el sur, debido a la actividad andesítico-basáltica que edificó la sierra Chichinautzin.

Este hecho provocó un azolve paulatino de la cuenca y los eventos volcánicos contribuyeron a rellenarla. El subsuelo consiste en material volcánico retrabajado, interestratificado con tobas que se interdigitan con depósitos netamente lacustres hacia las partes centrales de la cuenca (De Cserna et al., 1988).

El cierre de los valles fluviales modificó la red fluvial, con la consecuente evolución de un sistema de lagos en su porción más deprimida.

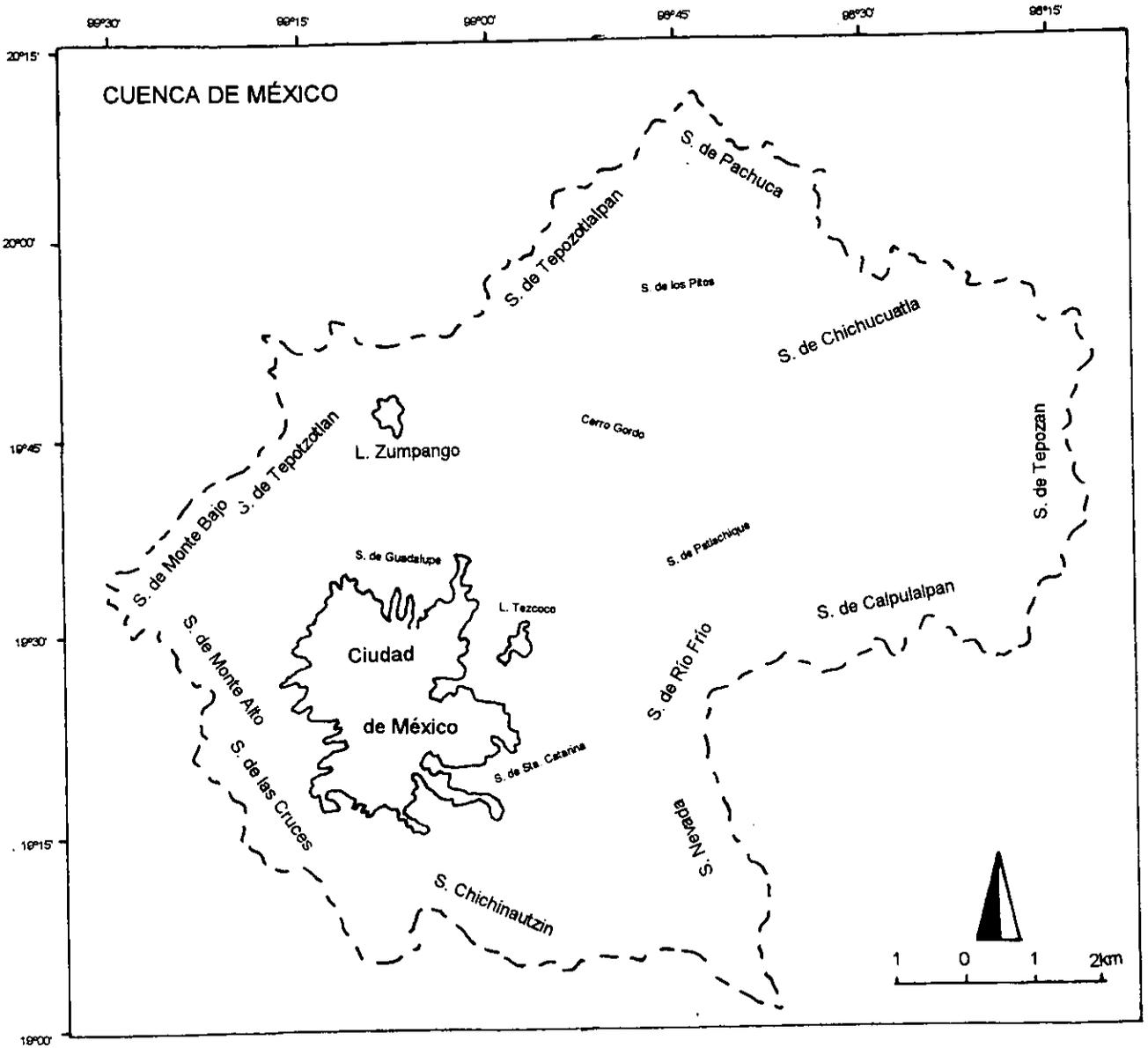
Los límites principales de la cuenca son la Sierra Pachuca al norte, las sierras Nevada y de Río Frio al este, la Sierra de Las Cruces y el Ajusco al oeste, y la Sierra Chichinautzin al sur (mapa 10).

Las tres primeras sierras son una manifestación de un magmatismo en la región del Pacífico Oriental, mismo que dio origen a depósitos volcánicos epiclásticos en el Plioceno-Cuaternario que formaron abanicos aluviales coalescentes en la base de las sierras hacia el antiguo Valle de México (De Cserna et al., 1988).

Para este estudio son de interés, además del Ajusco, la Sierra de Las Cruces y la Sierra Chichinautzin mismas que forman parte de la zona en estudio.

La Sierra de Las Cruces es considerada como un complejo tectónico-volcánico (Mooser, 1984), ya que sus principales aparatos se alinean de norte a sur, disposición que se asocia con el sistema de fallas escalonadas Chapala-Acambay. Su origen es del Plioceno temprano, aunque su máximo desarrollo fue durante el Pleistoceno (Mooser et al., 1996). Está formada por secuencias de lavas y depósitos piroclásticos dacíticos, donde destaca el volcán San Miguel.

De formación posterior es la Sierra Chichinautzin, al sur de la cuenca, del Cuaternario tardío, y que obstruyó el drenaje del sur, mediante la formación de más de un centenar de conos monogenéticos y la salida de derrames de lava junto con material piroclástico asociado (De Cserna et al., 1988). Uno de los conos es el Xitle, posiblemente el último en hacer erupción hace aproximadamente 2,000 años y cuyo material cubrió los mantos de lava del Ajusco y algunos de sus depósitos glaciales (White et al., 1990).



Mapa 10. La Cuenca de México.

3.2. MARCO GEOLÓGICO LOCAL: VOLCÁN AJUSCO.

Existen propuestas sobre la edad y el origen del Ajusco, sin embargo, éstas no ofrecen argumentos contundentes ni mayores explicaciones. Entre las principales propuestas se encuentran las siguientes:

Para Yarza (1948) el Ajusco es una montaña anterior al Popocatepetl y muy erosionada, con un séquito de volcanes adventicios como el Xitle, el Teutli, la Venta, el Cerro de la Herradura y otros situados a sus pies, de una época anterior a la formación del Popocatepetl.¹ Su constitución es de andesitas hornbléndicas.

Según Mooser (1956b) el Ajusco es un complejo volcánico de la Sierra de Las Cruces, formado durante el Plioceno y compuesto de andesitas porfídicas de piroxena, material que salió en grandes cantidades y de manera silenciosa. En (1957), señala que la composición es de andesita de anfíbola.

De Cserna (1968) define al Ajusco como un estratovolcán de lavas intermedias, formado durante el Pleistoceno.

Schlaepfer (1968) considera que el Ajusco es un cerro de la Sierra de Las Cruces que forma un pequeño macizo aislado, construido en dos épocas distintas de actividad en el Terciario medio, compuesto por lavas muy erosionadas que descansan sobre una superficie volcánica antigua.

Para Ortega (1979) el Ajusco se define como un conjunto de rocas volcánicas andesítico-dacíticas. Considera que por el hecho de estar rodeado de rocas y sedimentos pleistocénicos y holocénicos del grupo Chichinautzin, se puede pensar que las rocas del Ajusco son del Plioceno o anteriores; aunque si se toma en cuenta que existe un contacto inferido entre las laderas sudorientales del Ajusco y un conjunto de brechas andesíticas, correspondientes al grupo de rocas volcánicas del Terciario medio, al menos estas laderas serían de dicho periodo. Agrega que por su estado de erosión, la edad del Ajusco podría ser de entre el Mioceno tardío y el Plioceno.

¹ Actualmente se sabe que dichos volcanes no son adventicios al volcán Ajusco, y que al menos el Xitle es posterior a la formación del Popocatepetl.

Lugo Hubp (1984) define al Ajusco como un estratovolcán del Cuaternario, constituido por andesitas porfídicas, formado en distintas etapas de actividad.

Martin del Pozzo (1980) considera al Ajusco como un volcán compuesto cuyos centros eruptivos están muy erosionados, posiblemente por los procesos glaciales. Los volcanes Tanque y Santo Tomás son sus volcanes adventicios. Su composición es de andesitas del Plioceno al Pleistoceno.

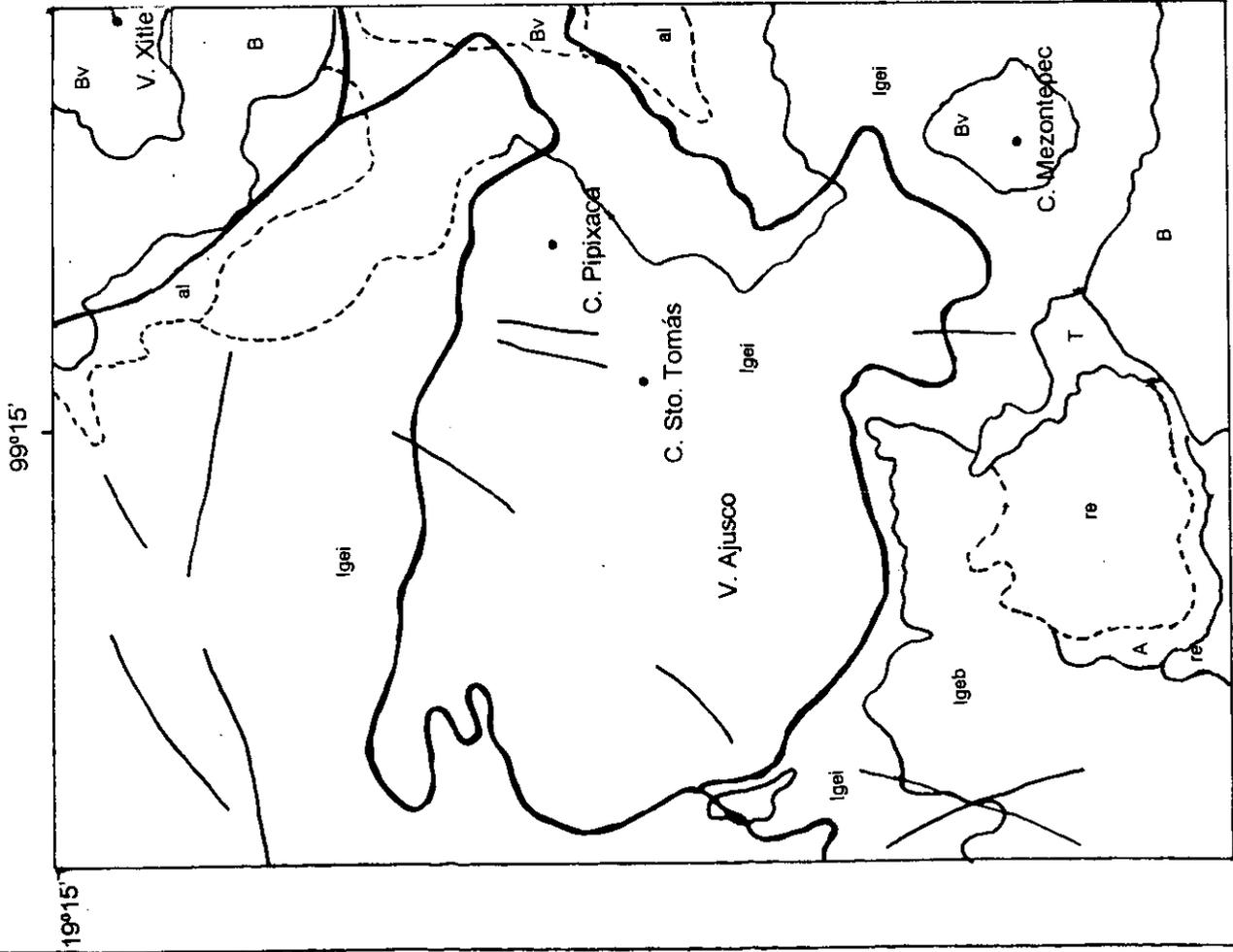
Para White et al. (1990) se trata de un grupo de picos aislados formados antes del Pleistoceno, y su composición varía de andesita a dacita.

Urrutia Fucugauchi y Martin del Pozzo (1993) escriben que es un complejo volcánico.

Mooser et al. (1996) introducen una teoría muy distinta a las anteriores: " El Cerro de San Miguel ... es un escudo-volcán que sufrió en tres ocasiones colapsos con formación de calderas; cada colapso fue acompañado por emisiones importantes de flujos piroclásticos, los cuales constituyen la Formación Tarango. Los elementos más jóvenes de este complejo son el Cerro de San Miguel y el Cerro del Ajusco con sus domos: ambos se encuentran en el borde del magno y moderno colapso Ajusco-San Miguel-Acopilco". Se incluye un mapa geológico de la zona (mapa 2) en donde se observan las estructuras geológicas y sus edades.

Por último, cabe mencionar que en la carta geológica de Milpa Alta (E14A49, INEGI, 1984), la zona en estudio aparece con predominio de roca ígnea extrusiva básica en los domos Cerro del Judío y los demás sin nombre, e intermedia en el Ajusco y sus estructuras asociadas, en la sierra de las Cruces y en el Volcán Mezontepec y los volcanes aledaños; basalto en las coladas del Xitle, Xicontle y Pelado; toba en una franja rodeando al Ajusco por el norte y el noreste; suelos residuales sobre algunas coladas de la lava; y suelos aluviales en algunos llanos volcánicos (mapa 11).

Las publicaciones que más han desarrollado la geología del Ajusco son las de Ortega (1979) y White et al. (1990). La descripción geológica de estos autores dice que la composición del Ajusco no es homogénea, sino que "... consiste en un conjunto de varias rocas volcánicas formadas por mantos andesítico-dacíticos en su



- Leyenda**
- Igei Roca ígnea extrusiva intermedia
 - Igeb Roca ígnea extrusiva básica
 - A Andesita
 - B Basalto
 - Bv Brecha Volcánica
 - T Toba
 - al Suelo aluvial
 - re Suelo residual
 - Contacto litológico
 - - - Contacto inferido
 - /// Fractura
 - ~ Circuito Ajusco



Mapa 11. Geología del Ajusco y zonas adyacentes.
 Carta geológica. Miipa Alta, E14-A49, INEGI, 1984.

parte inferior, que va cambiando gradualmente hacia el este, hasta llegar a una composición dacítica y en algunos lugares riodacítica en cuerpos lenticulares de ignimbrita²... La base de la montaña se compone de mantos de andesita entreverados con toba e ignimbrita, que tienen una posible composición de vidrio ácido intermedio. A mitad de la montaña la proporción de vidrio de naturaleza intermedia aumenta y están presentes algunos mantos de andesita lamprobolita de piroxeno, la cual continúa como un agregado de las rocas de andesita hasta la cumbre. En el lado este, alrededor del Valle Doberman hay un gran cuerpo de roca que se extiende casi hasta el Cerro de Santo Tomás, formado por una ignimbrita de composición ryodacítica que contiene grandes cantidades de vidrio ácido, sanidina, cuarzo, plagioclasa sólido-cálcica zonada y alguna hornblenda verde. Es posible que esta roca sea del Terciario medio (Schlaepfer, 1968). ... Hacia el oeste y noroeste de las laderas del Ajusco se encuentran las rocas conocidas como la serie Andesítica Las Cruces (Blásquez, 1956; Mooser, 1957). La parte inferior de estas rocas es una brecha volcánica con mantos entreverados de andesita. ... Las cumbres del Ajusco sobresalen de los mantos de lava y sedimentos volcánicos de la Serie Basáltica Chichinautzin del Pleistoceno superior y del Holoceno que se sobreponen en acuñamientos por su periferia....” .

A manera de conclusión, el Ajusco no es una sola unidad geológica, lo que confirma que se haya formado en distintos periodos de actividad; se relaciona con la Sierra de Las Cruces por su composición en las partes del oeste y noroeste; y al existir un contacto indefinido en el lado sudeste con rocas volcánicas del Terciario medio, se puede pensar que, al menos, sus primeros periodos de actividad son de edad precuaternaria.

²Este cambio de composición favorece el argumento de la existencia de un volcán de lava asociado al Ajusco, así como un domo con morfología de botón simple, idea y terminología sugeridas en el mapa geomorfológico.

3.2.1. ESTRATIGRAFÍA

Las rocas de esta región comprenden las siguientes unidades estratigráficas:

Formación Xochitepec

En la Sierra de Las Cruces y del Ajusco se presentan rocas andesíticas y dacíticas que cubren a rocas andesíticas profundamente erosionadas del Terciario medio, mismas que corresponden a la *Formación Xochitepec* (De Cserna, 1989). A esta formación también pertenecen las traquiandesitas que están expuestas en la base occidental del Iztaccíhuatl y en la base oriental del Ajusco (Mooser, 1956a). Actualmente se considera a esta unidad del Plioceno (Mooser et al., 1996).

Formación Las Cruces

La *Formación Las Cruces* corresponde al conjunto de rocas volcánicas que forman la Sierra de Las Cruces y la Sierra de Monte Alto (Schlaepfer, 1968), se compone de rocas dacíticas cuyo espesor es de casi 600 m. Estas rocas dacíticas se presentan como derrames de lava, derrames piroclásticos y lahares. Los volcanes por los que salió este material son, según Vázquez y Jaimes (1989) tres estratovolcanes alineados en dirección casi norte-sur. Estas rocas se distribuyen en el límite occidental de la cuenca de México. La edad es fundamentalmente del Cuaternario y del Plioceno (Mooser et al., 1996).

Andesita Ajusco o Formación Ajusco

La Sierra del Ajusco está formada por rocas andesíticas, principalmente derrames de lava, las cuales cubrieron a las rocas andesíticas de la Formación Xochitepec y la Formación Las Cruces y constituyen la *Andesita Ajusco* (De Cserna et al., 1988), nombre propuesto por Mooser (1956). Schlaepfer (1968) propone el nombre *Formación Ajusco* para denominar únicamente a la secuencia volcánica de potentes derrames pero inclinados, que constituyen el complejo formado por el Cerro de Ajusco, y alturas adyacentes que cubren discordantemente rocas dacíticas más antiguas. Por

su posición estratigráfica puede relacionarse con la Formación las Cruces. La Andesita Ajusco o Formación Ajusco es considerada por Mooser (1956a) como del Plioceno tardío y actualmente, del Cuaternario (Mooser et al., 1996).

Formación Chichinautzin

Del cuaternario es la *Formación Chichinautzin*, que incluye las rocas que cubren de manera discordante unidades estratigráficas indistintamente desde cretácicas marinas plegadas hasta cuaternarias lacustres. Sus centros eruptivos son los volcanes monogenéticos de la Sierra Chichinautzin que obstruyó el drenaje del lado sur de la cuenca mediante la formación de numerosos conos, derrames de lava principalmente y material piroclástico (De Cserna et al., 1988). La composición de estas lavas es principalmente andesítico-basáltica y andesítica (Vázquez y Jaimes, 1988). Esta formación se originó por el último periodo de actividad volcánica de la cuenca y es la unidad volcánica más reciente (Mooser, 1956).

El hecho de tomar en cuenta la estratigrafía de la zona, se debe a que es de utilidad para complementar la información geológica y cronológica, lo cual es uno de los puntos de partida del análisis geomorfológico.

3.3. SECUENCIA GLACIAL DEL AJUSCO

La existencia de los ambientes glaciales y periglaciales se relaciona con los cambios climáticos mundiales ocurridos en el Pleistoceno y el Holoceno. Aunque se manifestaron en toda la Tierra, las repercusiones fueron distintas en cada zona. Su estudio es importante porque permite comprender la morfología del relieve, así como la sucesión de climas diversos en un pasado no tan lejano que han dejado su huella en el relieve actual.

En México los glaciares se presentan de manera más restringida que en latitudes mayores, debido a que para su formación se requiere de bajas temperaturas y abundantes precipitaciones de nieve. Sin embargo, cuando la temperatura y la precipitación lo permitieron, se formaron algunos glaciares en las montañas más altas de México, de los cuales quedan pocos, debido a un incremento en la temperatura y a la disminución de la precipitación a partir de la *Pequeña Edad de Hielo*, ocurrida entre 1500 y 1920, según Sugden y John (1976).

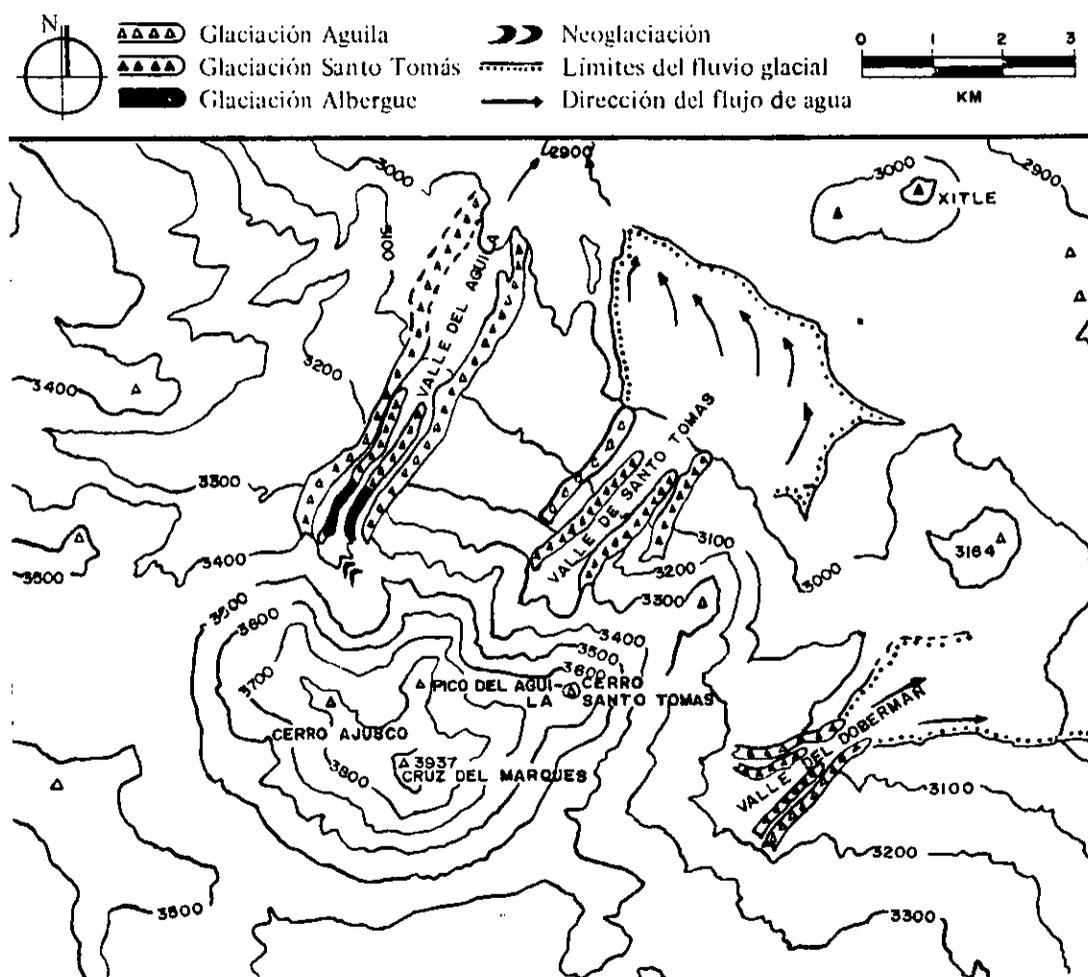
Por otro lado, cuando la temperatura es menor y no hay tanta humedad, los glaciares no pueden desarrollarse y se presenta un ambiente periglacial, el cual se caracteriza por una cubierta de nieve perenne, por frecuentes cambios de temperatura por abajo y por arriba de los 0° C, y por la acción modeladora del hielo (Vázquez, 1986). Es el caso de la vertiente meridional del Ajusco.

Debido a los cambios climáticos, actualmente sólo quedan glaciares en los volcanes más altos: Pico de Orizaba (5,700 m), Popocatepetl (5,452 m) e Iztaccíhuatl (5,286 m). Pero durante la época de las glaciaciones, volcanes de menor altitud tuvieron glaciares en sus cumbres, como el Nevado de Toluca (4,690 m), Malinche (4,461 m), Cofre de Perote (4,282 m), Nevado de Colima (4,180 m), Tlaloc (4,120 m), Telapón (4,060 m) y Ajusco (3,952 m), y en el presente están influenciados por procesos periglaciales (Lorenzo, 1969).

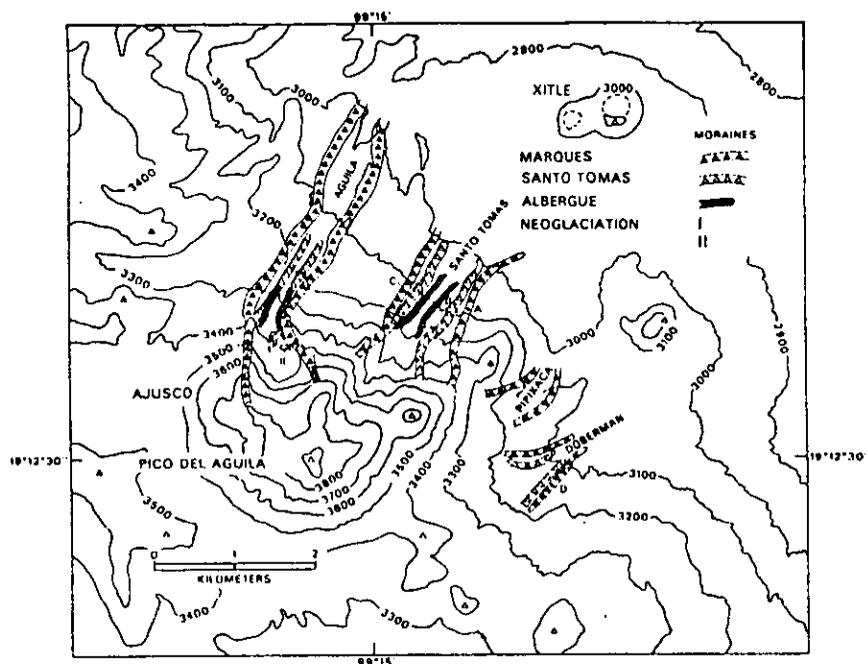
De acuerdo con Heine (1994), en el presente, la mayoría de los procesos periglaciales se producen en altitudes mayores a 4,000 m. De aquí se desprende que

los procesos periglaciales que actúan en el Ajusco hoy en día son mínimos, entre ellos, las agujas de hielo y la gelifracción.

La actividad glacial ocurrida en el Ajusco ha sido estudiada principalmente por White, (1978), White, y Valastro, (1984), (los resultados de estos trabajos pueden observarse en los mapas 12 y 13 respectivamente); White, Ortega, Reyes, y Valastro (1990), y un poco por Heine (1984). En estas publicaciones, los autores coinciden en el número de eventos y en su edad relativa, pero no en su edad absoluta.



Mapa 12. Primera versión del trabajo de White en el Ajusco (1978).



Mapa 13. Segunda versión del Ajusco (White et al., 1994)

De acuerdo con White et al. (1990), la actividad glacial y volcánica a las que estuvo sujeto el Ajusco tienen la siguiente secuencia:

Los primeros glaciares que cubrieron las laderas inferiores de este volcán fueron los de la glaciación Marqués, que ocuparon los valles del Águila, Santo Tomás, Pipixaca y Doberman³ hace 27,000 años como mínimo.

Después se presentó un periodo de erosión y un retroceso de los glaciares, hasta la siguiente glaciación, hace alrededor de 25,000 años mínimo. Se cubrieron los valles del Águila, Santo Tomás y Doberman, los dos primeros en la ladera norte y el último en la noreste.

³Los autores incluyen a los valles Doberman y Pipixaca como valles glaciales. En este trabajo no son clasificados como valles glaciales por falta de evidencia morfológica, sino como valles fluviales.

Posteriormente se presentaron periodos de intensa actividad volcánica intercalada con periodos de erosión. Es en esta época cuando se produce la glaciación Albergue cubriendo con sus glaciares los valles del Águila y Santo Tomás. Para esta glaciación los autores no dan una datación exacta, pero le dan una edad anterior de 2,000 años debido a que se encontraron cenizas del Xitle en el horizonte A del suelo.

Las últimas influencias glaciales a las que estuvo sometido el Ajusco son las dos neoglaciaciones ocurridas hace menos de 2,000 años. Los depósitos glaciales de estos avances sólo se encontraron en el Valle del Águila.

Existen depósitos de cantos rodados muy intemperizados localizados al noroeste y sudeste de los flancos de la montaña, y al noreste del Valle Doberman que podrían representar una glaciación más vieja que las reconocidas hasta ahora, pero estos depósitos todavía no han sido analizados por los autores mencionados.

Mientras que la ladera norte sufría el avance y retroceso de los glaciares, al resto de las laderas, la sur principalmente, estuvo sujeta a procesos periglaciales que formaron un grueso depósito de *detritus rocoso*.

White y sus colaboradores, en esa misma publicación, exponen un análisis detallado de las características de las morrenas de cada glaciación, del cual se presenta un resumen (su distribución puede observarse en el mapa 7).

- Morrenas laterales de la glaciación Marqués: están fuertemente erosionadas y con sus extremos laterales enterrados. También hay crestas cubiertas de depósito glacial, que se formaron debido a que las morrenas en la parte superior impidieron la erosión de las rocas subyacentes. El depósito es de color gris claro y muy endurecido, se encuentra a altitud de aproximadamente 3,200 m, es de color rojo oscuro, está muy alterado y enterrado bajo sedimentos volcánicos coluviales y varias capas de ceniza volcánica. En las partes bajas, donde existe una cobertura vegetal, por topografía se induce que puede haber morrenas, sin embargo, su tamaño original ha disminuido y se presentan con crestas anchas y suaves, sin mostrar cantos en la superficie.
- Morrenas laterales de la glaciación Santo Tomás: consisten en una cresta muy marcada, algo erosionadas. Por debajo de los 3,000 m el depósito glacial es de color

pardo, claro y firme, mientras que por encima de los 3,250 m es pardo-rojizo claro, algo cementado y meteorizado. Los depósitos bajo los 3,000 m han desaparecido por la erosión y están enterradas bajo los abanicos de grava glacial deslavada. Las morrenas laterales por encima de los 3,300 m tienen de 30 a 70 m de espesor, con bordes empinados y muestran algunos pequeños barrancos, pero tienen crestas angostas a lo largo de las cuales se pueden encontrar, separados entre sí, unos 15 m, algunos grandes cantos con superficie meteorizada. Por debajo de los 3,300 m las morrenas tienen crestas anchas y suaves.

- Morrenas laterales de la glaciación Albergue: muestran crestas angostas de depósito glacial con material algo rodado, de color rosa pálido. Miden de 5 a 10 m de espesor y sus lados no muestran erosión, conservando crestas angostas irregulares muy marcadas. En su superficie se encuentran cantos, a 2 a 5 m de distancia sin huellas de meteorización.

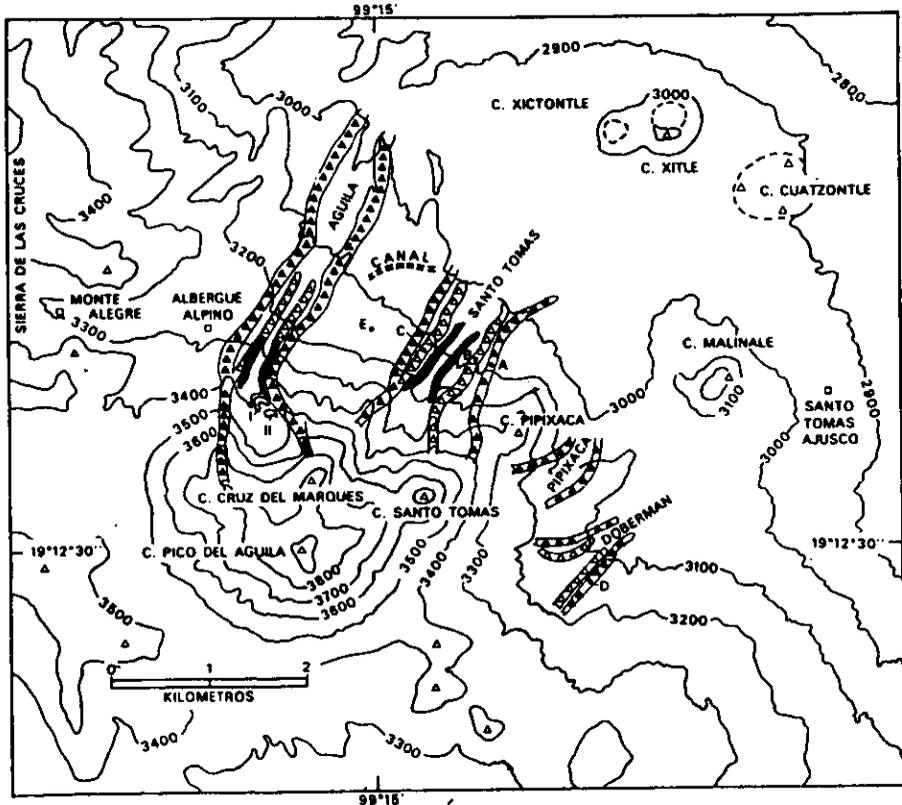
- Morrenas de los avances de la Neoglaciación: son las más recientes, con cantos rodados de color pardo amarillento, en los circos interiores del Valle del Águila. La morrena de la Neoglaciación I tiene una cubierta de bosque de pino, mientras que la Neoglaciación II tiene una cubierta de zacatonal. Las dos miden 5 m de espesor aproximadamente, con crestas redondeadas y sin señales de erosión. Sobre la superficie de ambas hay bloques angulares sueltos, en ocasiones en grupos de 10 o 20, pero casi siempre espaciados algo menos de 1 m.⁴

⁴Para llegar a estas conclusiones los autores explican que se colectaron y estudiaron rocas, suelos, depósito glacial y pedológico. Se hizo el análisis petrográfico, sedimentológico y pedológico de 26 muestras de rocas, 30 de depósito glacial y 43 muestras de suelos, por José Ortega en 1978 en el Departamento de Prehistoria del INAH. Entre 1978 y 1979, en los cortes a lo largo de la carretera se tomaron 16 muestras de suelos que se desarrollaron sobre los depósitos glaciales enterrados, para fechamiento por radiocarbono, en el Laboratorio de Radiocarbono del Centro de Investigaciones de Balcones, Austin, Texas, por Salvatore Valastro Jr. También se tomaron muestras de ceniza volcánica. Las pruebas de datación por radiocarbono vienen explicadas en White y Velastro (1984: 25-28). Las diversas glaciaciones fueron distinguidas en el terreno y se cartografiaron con base en diferentes criterios: 1) la morfología y la posición de las morrenas respecto unas con otras; 2) la presencia de tefra en algunas morrenas y su ausencia en otras; 3) la intensidad de la erosión, abarrancamiento y cobertura de las morrenas desde su glaciación; 4) el alcance de la meteorización y de la descomposición de los cantos rodados en la superficie de las morrenas y también dentro de los depósitos glaciales; 5) el grado de desarrollo del perfil del suelo en el depósito glacial, en los sedimentos coluviales y en la tefra que yacen sobre el depósito glacial.

A continuación se presenta una descripción de las glaciaciones realizada por los mismos autores.

Glaciación Marqués

Los cuatro valles glaciales del Ajusco se desarrollaron con esta glaciación. El glaciar más grande se formó en el valle del Águila, extendiéndose desde la parte superior del circo hasta la posición terminal, donde los depósitos glaciales han desaparecido por la erosión. El contorno de los antiguos glaciares podría estar marcado con morrenas laterales o crestas en cadena, cubiertas de till. La cobertura de till se formó porque la altura de las morrenas en la montaña protegió de la erosión las rocas volcánicas que subyacían, así se produjeron cadenas rocosas con remanentes de till sobre ellas. En cualquier lugar donde haya suficiente topografía de morrena bajo bosque caducifolio en bajas altitudes, las morrenas son atenuadas y tienen crestas amplias y suaves, faltando superficies de cantos.



Mapa 14. Distribución de las morrenas en el Ajusco (White et al., 1990)

Glaciación Santo Tomás

La glaciación Santo Tomás formó glaciares en los dos valles más grandes del Ajusco, al norte y en el Valle Doberman al este. Las morrenas que mejor se distinguen están expuestas en las grandes altitudes del Valle de Santo Tomás. Si es que alguna vez existieron morrenas por debajo de los 3,000 m, han sido erosionadas y enterradas por abanicos aluviales de grava. Por encima de los 3,300 m, las morrenas laterales miden de 30 a 70 m de espesor y tienen crestas estrechas. Cantos enormes con cortezas intemperizadas están dispersos a lo largo de las crestas aproximadamente 15 m, aparte. Por debajo de los 3,250 m y bajo el bosque, las morrenas tienen crestas suaves.

Glaciación Albergue

Pequeños glaciares estuvieron presentes en las laderas de la montaña en los dos valles más grandes. En el Valle del Águila las morrenas de la glaciación Albergue sobreyacen las porciones más altas de las morrenas de la glaciación Santo Tomás y terminan en laderas escarpadas. Estas morrenas tienen de 5 a 10 m de espesor y tienen lados bien conservados de la erosión y crestas irregulares estrechas y puntiagudas. Aparentemente, los clastos no intemperizados en las superficies de las morrenas están separadas de 5 a 10 m.

Neoglaciación

Morrenas de los dos avances neoglaciales yacen en el circo interior del Valle del Águila. Las morrenas de la neoglaciación I soportan un bosque de pino, mientras que las morrenas de la neoglaciación II soportan pastos. Las dos morrenas miden 5 m de espesor, tienen crestas redondeadas y no muestran signos de erosión. Bloques angulares frescos están dispersos sobre las dos morrenas, algunos yacen juntos en grupos de 10 a 20 y se separan entre sí por menos de 1 m.

White et al. (1990) comparan la secuencia glacial del Ajusco con la secuencia glacial estándar mexicana (basada en los depósitos glaciales del lado oeste del volcán

Iztaccíhuatl), cuyas características se presentan en la tabla 1, con el propósito de determinar las edades relativas de los depósitos del Ajusco.

Tabla 1. Morfología de las morrenas, aspecto de su superficie y meteorización de las rocas en los depósitos glaciales del lado oeste del Iztaccíhuatl. (White et al., 1990).

Características	Subestadio Tonicoxco	Subestadio Diamantes Primer avance	Subestadio Diamantes Segundo avance	Subestadio Alcalican	Avance Ayolotepito
Erosión de la posición terminal	Fuertemente erosionados; sólo quedan algunos restos	Moderadamente erosionada	Valles angostos erosionados	Algunos surcos	Sin surcos
Erosión de las morrenas laterales	Intensas; restos en las crestas y en la cumbre de las escarpas	Fuerte; como restos en las partes superiores de las crestas	Moderada; algún abarrancamiento	Sin abarrancamiento	Sin abarrancamiento
Tamaño y espesor de las morrenas	Usualmente ausencia de formas morrénicas. Más gruesas en los interfluvios anchos	Restos espesos 10-20 m.	Masivos: 40-59 m.	Angostas, pequeñas 5-10 cm.	Masivas: 20-60 m; también chicas, 5-8 m.
Descripción de las crestas de morrenas	Bajas, anchas, suaves	Redondeadas, angostas	Agudas, angostas, irregulares	De redondeadas a irregulares	Muy agudas, irregulares
Cubierta de rocas en la superficie	Sin rocas	Rocas a 10-20 m. de distancia	Rocas a 2-5 m.	Rocas a 2-3 m.	Rocas a 1 m. aparte; todas cantos
Meteorización de las rocas en la superficie de las morrenas	La meteorización ha quitado todas las rocas de la superficie	Moderada	Ligera	Muy ligeras	Relativamente frescas
Meteorización de las rocas en el horizonte C					
frescas	11	43	50	60	85
bordes					
meteorizados	12	25	27	30	15
podridas	77	32	23	10	10

Los depósitos nombrados glaciación San Rafael son lo que queda de la glaciación más antigua. Siguen en edad los depósitos del subestadio Tonicoxco. Posteriormente tuvo lugar el subestadio Diamantes. Y a continuación se presentó el estadio Ayolotepito.

Debido a las semejanzas entre las morrenas del Ajusco y del Iztaccíhuatl, el grado de meteorización y el desarrollo del perfil de los suelos, los autores suponen que las glaciaciones del Ajusco podrían ser equiparables a algunas del Iztaccíhuatl (tabla 2). Es posible que los depósitos glaciales del Ajusco no denominados sean

comparables a los del subestadio Tomicoxco del Iztaccíhuatl. La glaciación Marqués puede compararse al primer avance del subestadio Diamantes, mientras que la glaciación Santo Tomás es equiparable al segundo avance del mismo subestadio. La glaciación Albergue corresponde a uno o a los dos subestadios Alcalican. Los dos avances neoglaciales corresponden el subestadio Ayolotepito.

Tabla 2. Comparación entre las glaciaciones del Iztaccíhuatl y el Ajusco. Altitudes de las líneas de equilibrio (LEA) en las glaciaciones del Pleistoceno superior y el Holoceno del lado oeste del Iztaccíhuatl y el Ajusco. (White et al. 1990).

Iztaccíhuatl		Ajusco	
Glaciaciones	Promedio LEA m	Glaciaciones	Promedio LEA m
Glaciares actuales	4,880 msnm.		no hay
Ayolotepito (estadios recesionales indiferenciados)		Neoglaciación II	3,440 msnm.
Estadio Ayolotepito	4,635	Neoglaciación I	3,425
Subestadio Alcalican II	4,225 175	Glaciación Albergue	3,355 70
Subestadio Alcalican I	4,160 120	Glaciación Albergue	
2° avance Subestadio Diamantes	3,970	Glaciación Santo Tomás	3,270
1° avance Subestadio Diamantes	3,880	Glaciación Marqués	3,140
Subestadio Tomicoxco	3,510	No se identifica glaciación	

Asimismo, la secuencia glacial estándar mexicana es comprable a la secuencia de las montañas Rocallosas. En la tabla 3 se presentan las características de esta glaciación.

Tomando en cuenta las concordancias entre las series glaciales del Ajusco, del Iztaccíhuatl y de las montañas Rocallosas, así como los cambios climáticos ocurridos durante el Pleistoceno y el Holoceno, considerados por White et al. (1990), estos autores llegaron a las siguientes conclusiones (tabla 4):

1. Los depósitos de la glaciación San Rafael podrían corresponder en edad a los depósitos de la glaciación pre-Bull Lake. En el Ajusco no hay nada similar.
2. El subestadio Tomicoxco y los depósitos de cantos parecidos a productos glaciales sin denominación del Ajusco, son equiparables a las glaciaciones Bull Lake.

3. El primer avance del subestadio Diamantes y la glaciación Marqués podrían ser equivalentes al máximo de la glaciación Pinedale.
4. El segundo avance del subestadio Diamantes y la glaciación Santo Tomás pueden corresponder a las morrenas recesionales de la glaciación Pinedale.
5. Los avances del subestadio Alcalican y la glaciación Albergue pueden relacionarse con el avance tardío de Pinedale.
6. El estadio Ayolotepito y la Neoglaciación I corresponden a la Neoglaciación Temprana.
7. Las morrenas recesionales del estadio Ayolotepito y la Neoglaciación II son equiparables a las Neoglaciaciones media y tardía.

Por otro lado, la secuencia glacial que propone Heine (1973), comprende también cinco glaciaciones, situadas todas ellas en los últimos 36,000 años. Su estudio está basado en la cronología del volcán La Malinche y en su correlación con otros volcanes del Cinturón Volcánico.

El avance más antiguo del volcán La Malinche se conoce como M1, ocurrido aproximadamente hace entre 39,000 y 26,000 años. Durante los siguientes 4,000 años tuvo lugar una formación intensiva de suelo fósil fBo1⁵. Los siguientes glaciales MII se presentaron hace 12,100 años y poco después retrocedieron. Durante los siguientes 2,000 años se formó otro suelo fósil fBo2. El tercer avance MIII, con dos fases, se presentó hace entre 10,000 y 9,000 años. Cuando estos glaciares retrocedieron hubo una formación intensiva de suelo fBo3. La siguiente glaciación MIV se presentó durante el Holoceno hace 2,000 años aproximadamente. La glaciación MV, ocurrida probablemente en el siglo pasado, solo se manifestó en la Sierra Nevada.

Al igual que White et al. (1990), presenta la equivalencia de la secuencia glacial de La Malinche, con la del Iztaccíhuatl (establecida por White, 1962) y la de las montañas Rocallosas:

⁵Heine denomina los suelos fósiles como fBo1, fBo2 y fBo3, formados cada uno después de un retroceso glacial.

1. El avance glacial MI corresponde a la etapa pre-Wisconsin del Iztaccíhuatl y a la glaciación pre-Bull Lake de las montañas Rocallosas.
2. La glaciación MII corresponde a la sub-etapa Tonicoxco del Iztaccíhuatl y a la glaciación Bull Lake de las Rocallosas.
3. Los dos avances de la glaciación MIII corresponden a la sub-etapa Diamantes y al Late Stage de la glaciación Pinedale.
4. La glaciación MIV coincide con la sub-etapa Alcalican y con el Temple Lake Stage de la Neoglaciación.
5. La glaciación MV del Iztaccíhuatl corresponde al Gannet Peak Stage.

Tabla 3. Características de las glaciaciones de las montañas Rocallosas descritas por White et al. (1990)

Glaciaciones	Características de sus depósitos
pre Bull-Lake	-Depósitos glaciales de gran edad en los valles -Depósitos con perfiles de suelos muy fuertemente desarrollados -Oxidación profunda -Edad en años aP.: 150,000; (Madole, 1976); 720,000-150,000 (Madole y Shroba, 1979)
Bull-Lake	-Morrenas bajas, redondeadas o prominentes y erosionadas -Perfiles de suelos fuertemente desarrollados -Oxidación moderada -Edad en años aP.: 140,000-150,000
Pinedale	-Morrenas grandes con laderas empinadas, con crestas agudas, relativamente poco erosionadas -Perfiles no muy desarrollados -Oxidación débil -Edad en años aP (de su mayor extensión): 22,000
Neoglaciación temprana	-Pequeñas morrenas -Perfiles de suelo poco desarrollados -Edad en años aP.: 5.000-3,000
Neoglaciación media	-Pequeñas morrenas -Perfiles de suelo poco desarrollados -Edad en años aP.: 1,850-950
Neoglaciación tardía	-Pequeñas morrenas -Perfiles de suelo poco desarrollados -Edad en años aP.: 300-150

En esta comparación no se equipara ninguna glaciación mexicana a la glaciación Wisconsin de las montañas Rocallosas, aludiendo a la hipótesis de un desplazamiento de la zona desértica del hemisferio norte hacia el ecuador durante la última glaciación (Heine, 1973).

La secuencia glacial de Heine coincide con una sucesión climática establecida por el mismo autor (1973), deducida indirectamente a partir de datos geomorfológicos (fig. 2). De acuerdo con esta figura se observa una fase fría y húmeda hace entre 36,000 y 30,000 años. Hace entre 26,000 y 21,000 años la temperatura aumentó y posiblemente la humedad descendió. Después la temperatura volvió a bajar y no se presentó aumento en la precipitación por lo que no se formaron glaciares. A fines de la glaciación Pinedale hace 12,000 años hubo un aumento de la precipitación. Hace entre 12,000 y 10,000 años el clima se volvió más seco y cálido. Otro periodo frío y húmedo volvió a presentarse hace 2,000 años. Y del siglo XIV al XIX el clima era más frío y húmedo que el actual.

Tabla 4. Unidades cronoestratigráficas de la serie mexicana de glaciaciones en el Pleistoceno superior y el Holoceno del Iztaccihuatl, comparadas con las glaciaciones del Ajusco y la serie de glaciaciones de las montañas Rocallosas con sus edades posibles. White, et al. (1990).

Serie de glaciaciones mexicanas	Glaciaciones Ajusco	Serie de las montañas Rocallosas	En años a.P.
Estadios recesionales Ayolotepito	Neoglaciación II	Neoglaciación tardía Neoglaciación media	300 a 100 1,850 a 3,000
Estadio Ayolotepito	Neoglaciación I	Neoglaciación temprana	5,000 a 3,000
Subestadio Alcalican II	Glaciación Albergue	Avance Pinedale tardío	De 11 a 13,000 o más
Subestadio Alcalican I	Glaciación Albergue	Avance Pinedale tardío	
Segundo avance Subestadio Diamantes	Glaciación Santo Tomás	Glaciaciones recesionales Pinedale	Menos de 30,000
Primer avance subestadio Diamantes	Glaciación Marqués	Máximo de las glaciaciones Pinedale	Como 30,000
Subestadio Tonicoxco	Depósitos de cantos semejantes a los glaciales	Glaciaciones Bull Lake	Unos 140,000
Sedimentos semejantes a depósitos glaciales (Glaciación San Rafael)	No reconocida o no existente	Glaciaciones Pre-Bull Lake	Más de 150,000

Posteriormente, Heine (1984) establece las edades de las glaciaciones del Ajusco a partir de sus estudios en La Malinche y en otros volcanes del centro del Sistema Volcánico Transversal y de los cambios climáticos ocurridos en el Pleistoceno y el Holoceno, sus resultados son los siguientes (tabla 5):

1. Glaciación Marqués: equivalente a un avance temprano de la glaciación MI, de edad entre 36,000 y 32,000 años.
2. Glaciación Santo Tomás: equivalente a la glaciación MI de edad entre 26,000 y 16,000 años.
3. Glaciación Albergue: equiparable a la MIII de edad entre 10,000 y 8,500 años.
4. Avances neoglaciales: comparables a la glaciación MIV ocurrida hace entre 3,000 y 2,000 años.

No hay ninguna glaciación equiparable a la MII porque ésta sólo tuvo lugar en los altos volcanes de la Cuenca de México, ya que se produjo por un aumento en la precipitación y no por un descenso de la temperatura. Tampoco hubo glaciación MV porque sólo se presentó en volcanes de altitud mayor a 4,000 m.

Tabla 5. Correlación entre las glaciaciones ocurridas en el Ajusco determinadas por Heine (1984) y la secuencia estándar establecida por este mismo autor (1973).

Ajusco	Secuencia estándar	Años aP.
Marqués	Avance temprano de la glaciación MI	36,000-32,000
Santo Tomás	MI	26,000-16,000
Albergue	MIII	10,000-8,500
Avances neoglaciales	MIV	3,000-2,000

Tomando en cuenta las fluctuaciones climáticas de Heine (1973), la glaciación Santo Tomás o MI, se empezó a desarrollar bajo un clima más cálido que el anterior y posiblemente más seco, lo cual no es muy favorable para el desarrollo de los glaciares.

Las diferencias entre las glaciaciones del Ajusco y las de los altos volcanes al oriente de él, se deben a que éstos últimos son más grandes, más altos (White y Valastro, 1984) y a que su distancia al Golfo de México es menor (Heine, 1984). Con base en esto, cabe mencionar el comentario de Blásquez (1961): "...los avances y retrocesos de los glaciares pequeños, como los que se encuentran en latitudes bajas, están más relacionados con el microclima que con las tendencias de la climatología mundial."

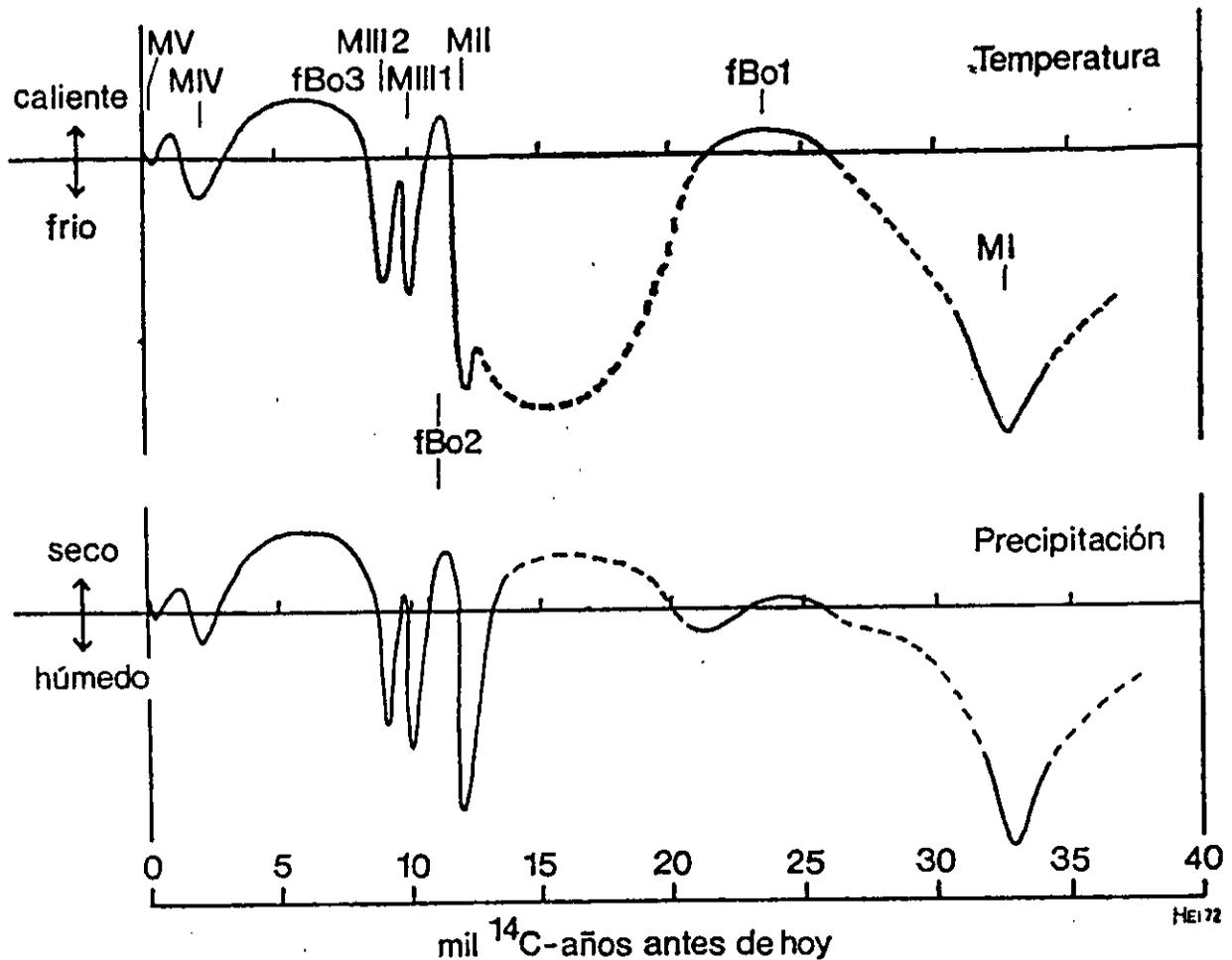


Fig. 2. Sucesión climática (indirectamente deducida de datos geomorfológicos (Heine, 1973).

Hasta ahora, las causas de los cambios del clima, así como las duraciones de los periodos climáticos y las dataciones de los depósitos producidos en cada periodo, han provocado controversia, pero su estudio sobrepasa el objetivo de este trabajo.

La necesidad de analizar los cambios climáticos ocurridos en el Pleistoceno y Holoceno, radica en la clasificación de las formas del relieve y procesos heredados, que pueden ser definidos con la aplicación de métodos estratigráficos y datación

sofisticados, como lo requieren las morrenas. No obstante, estos depósitos, se han cartografiado, cuando su evidencia es clara y no deja lugar a dudas. Por otro lado, los depósitos morrénicos, en su gran mayoría, han sido retrabajados y transportados por la acción fluvial, así, estos depósitos se transportan o llegan a desaparecer a lo largo del tiempo. En el mapa geomorfológico se ha identificado una rampa acumulativa que avala lo anterior, es un depósito que está clasificado como material de origen glacial, depositado en las porciones bajas de la ladera norte, frente al valle glacial conocido como Valle Santo Tomás. El área del depósito no es la original, ya que en gran parte ha quedado sepultado por material volcánico más reciente.

CAPÍTULO IV: GEOMORFOLOGÍA

4.1. MORFOMETRÍA

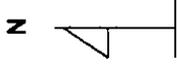
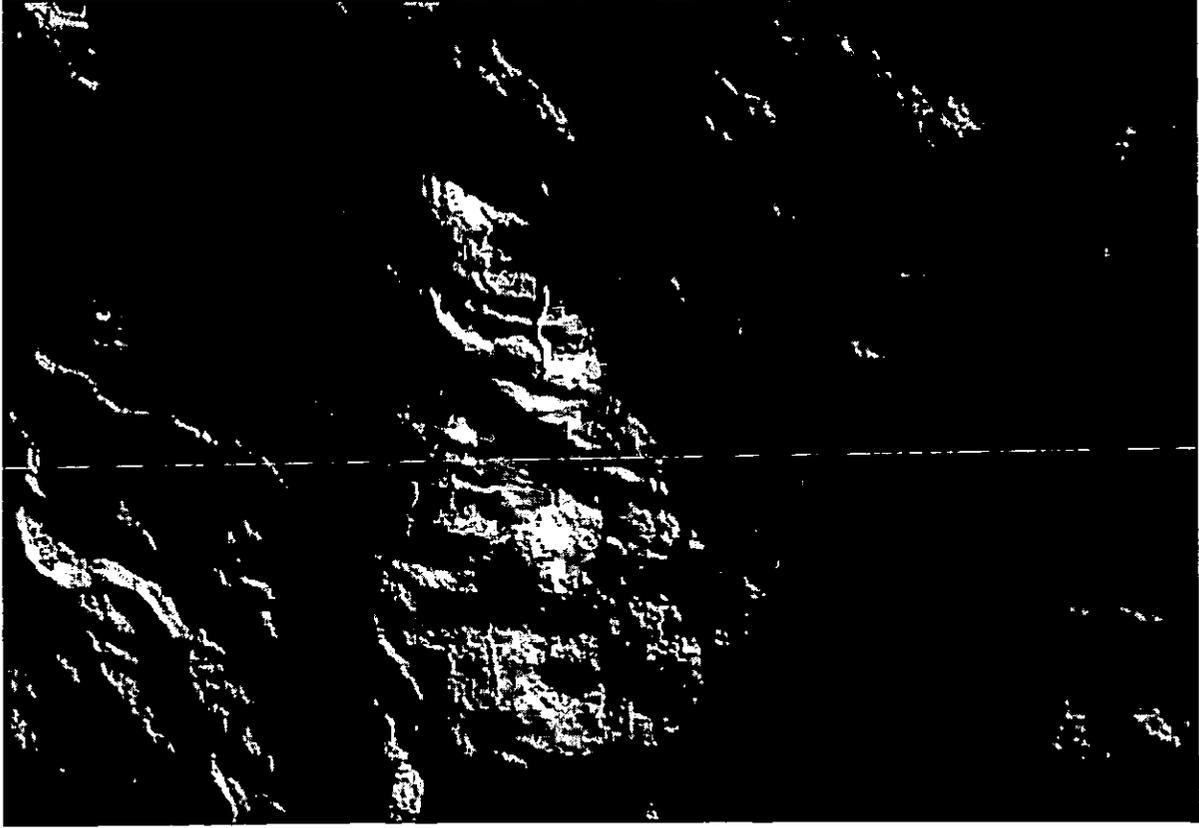
La morfometría es un método para la comprensión de las del relieve en función de sus características cuantitativas.. Su aplicación facilita el estudio de la morfología de la corteza terrestre, así como la interpretación de la génesis, la edad relativa, la dinámica actual y en algunos casos, la relación entre las formas del relieve y las estructuras y procesos neotectónicos (Lugo Hubp, 1989).

La morfometría surge en el siglo XVII, antes de la existencia de las bases topográficas más elementales, las mediciones se realizaban directamente en el terreno. El método morfométrico se ha aplicado desde entonces en la resolución de tareas concretas, principalmente en estudios de geomorfología estructural, sin ser exclusivo de éstas, también se ha aplicado para enriquecer el análisis geomorfológico; ejemplos de lo anterior se tienen en Símonov (1985). Si bien en esta tesis no se ha aplicado la morfometría para resolver una tarea de geomorfología estructural, sí para hacer una primera zonificación, en donde este método sirvió para obtener fronteras. La morfometría ayudó a delimitar las estructuras (desde el punto de vista geomorfológico) que conforman las formas y elementos del relieve. Al analizar la estructura se puede caracterizar la forma y la génesis, y si se conocen los aspectos geográficos más relevantes se puede deducir la dinámica, en algunos casos.

Con este fin se elaboraron cinco mapas morfométricos: altimétrico, de pendientes, de densidad y profundidad de disección, y de energía o amplitud del relieve.

Para la elaboración de los mapas se utilizó el sistema de información geográfica *Integrated Land and Water Information System (ILWIS)* (Palacio Prieto y Luna González, 1993). Con este sistema se digitalizaron las curvas de nivel y se creó un modelo digital del terreno (mapa 15), en donde se aprecian los rasgos más importantes del Ajusco y zonas adyacentes. La metodología de cada mapa se explica con mayor detalle en cada inciso. Sólo queda agregar que, los datos se obtuvieron de

18° 15' 00"



**MAPA 15 MODELO DIGITAL DEL TERRENO
AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES**

1. COMPLEJO AJUSCO
2. VOLCÁN XITLE
3. VOLCÁN XICONTLE
4. SIERRA DE LAS CRUCES
5. CERRO MEZONTEPEC
6. CERRO DEL JUDÍO



**ALEJANDRA TOSCANA
COLEGIO DE GEOGRAFÍA, UNAM
TESIS, 1998**

18° 10' 30"

99° 13' 20"

99° 16' 40"

cartas topográficas escala 1:10,000, se capturaron con el sistema de información mencionado y se realizaron las operaciones necesarias para interpolar valores, crear isolíneas y finalmente los mapas.

4.1.1. MAPA ALTIMÉTRICO

El mapa altimétrico se considera el punto de partida del análisis geomorfológico, ya que permite simplificar e identificar de manera clara e inmediata la configuración general del relieve.

El procedimiento que se siguió es el explicado por García Romero (1993): se hizo un muestreo sistemático de las alturas absolutas, utilizando los puntos de intersección de la proyección UTM; se capturaron los datos con el sistema de información geográfica y el resultado se obtuvo en un mapa en el que las alturas absolutas quedaron divididas en distintos rangos (mapa 16). La información altitudinal quedó simplificada en 11 rangos, de manera que no resultara ni excesiva ni muy general. Cada rango es de 100 m y quedan comprendidos entre los 2,900 y los 4,000 msnm. Si los datos se incluyen en menos de 11 rangos, algunas formas del relieve, como los circos glaciales y los domos y volcanes aislados, desaparecen; ésto no es conveniente debido a que son elementos importantes en el análisis de la zona. Por otra parte, incluir más de 11 rangos no simplifica de manera considerable la información topográfica y el objetivo del mapa no se cumpliría.

En el mapa se observa que de manera general, la zona es más elevada en la parte oriental que en la occidental.

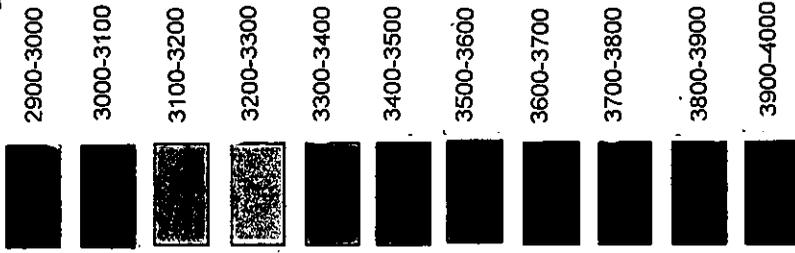
De acuerdo al análisis del mapa, se pueden distinguir cuatro zonas altitudinales. Las partes más elevadas corresponden a las cumbres del Ajusco y a sus laderas superiores. El conjunto montañoso precuaternario, las laderas bajas del Ajusco, el Cerro del Judío y el Cerro Mezontepec, conforman una segunda zona altitudinal. Las coladas de lava denominadas en este estudio Q_3 , localizadas al norte y al sur del Ajusco, y la cumbre del Xitle, integran un tercer nivel. Por último, las partes más bajas

Mapa 16. MAPA ALTIMÉTRICO AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES

19°15'00"



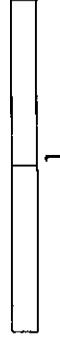
Valores en msnm



N



0



ALEJANDRA TOSCANA
COLEGIO DE GEOGRAFIA, UNAM
TESIS, 1998

19°10'30"

99°16'40"

99°13'20"

corresponden al Xitle, al Xicontle, a sus coladas y a la planicie localizada entre el Xitle y el Ajusco.

Cabe mencionar que los pisos altitudinales no fueron de mucha ayuda en la zonificación, debido a que los desniveles no se relacionan directamente con las formas, así, por ejemplo, las coladas al sur del Ajusco están a mayor altitud que el Xitle y el Xicontle, de igual forma, la Sierra de Las Cruces y dichas coladas se encuentran en pisos altitudinales muy similares. Esta primera aproximación tuvo que ser completada con una revisión analítica de los mapas que a continuación se presentan.

4.1.2. MAPA DE PENDIENTES

Consiste en transformar las distancias entre las curvas de nivel en valores de pendientes (grados) (Lugo Hubp, 1989). Los valores se obtienen a través de una fórmula aritmética.

$$\text{Pendiente} = \tan^{-1} DV/DH,$$

en donde,

DV = Distancia vertical

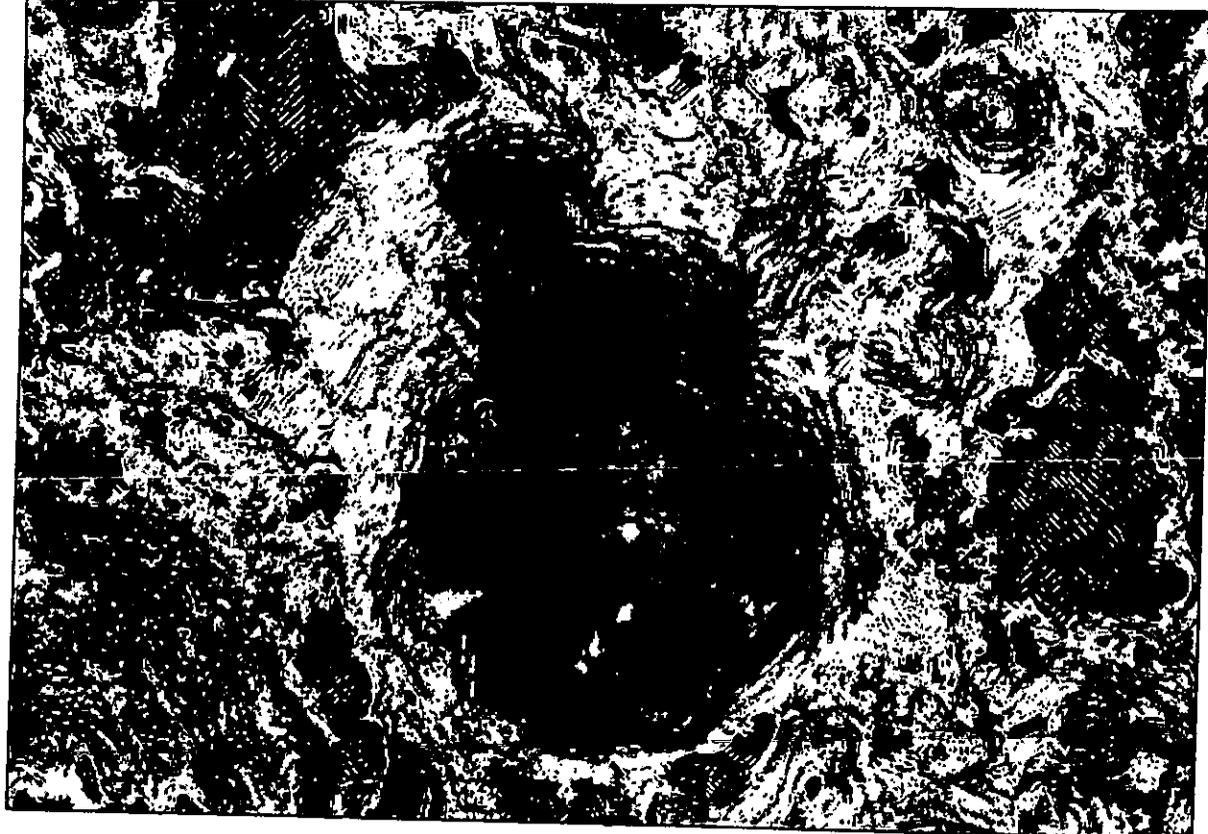
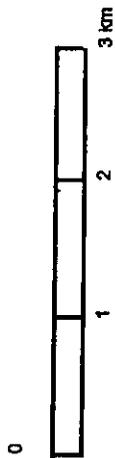
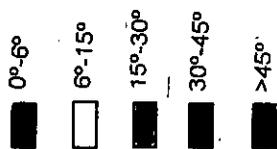
DH = Distancia horizontal

So objetivo es clasificar una superficie de acuerdo con su inclinación variable de 0° a 90°. Su importancia radica en la definición de formas del relieve y de los procesos actuales que lo modifican.

El procedimiento para elaborar este mapa se basa en el modelo digital de elevación del terreno, puesto que el sistema crea el mapa a partir de interpolaciones entre curvas de nivel, sin que sea necesario medir directamente en las cartas. Los resultados aparecen en manchones de colores, cada uno de los cuales simboliza un rango (mapa 17).

Mapa 17. MAPA DE PENDIENTES
AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES

19°15'00"



19°10'30"

99°16'40"

99°13'20"

ALEJANDRA TOSCANA
COLEGIO DE GEOGRAFIA, UNAM
TESIS, 1988

Los valores obtenidos se dividieron en cinco rangos. De 0° a 6° se representan las planicies y las planicies ligeramente inclinadas, también corresponden a las coladas de lava parcialmente sepultadas por piroclastos, y a llanos volcánicos localizados entre las coladas de lava. Aunque la utilización de un rango de 6° no es común para las planicies, en este caso se hizo así para obtener zonas generales. De los 6° a los 15° están las rampas de piedemonte del Ajusco, y algunos de los domos y volcanes aislados. De los 15° a los 30° se encuentran las laderas moderadas de montaña, que incluye la Sierra de Las Cruces, el Ajusco y las demás elevaciones. Entre los 30° y los 45°, están las laderas pronunciadas de montaña, se localizan en pequeñas partes de todas las elevaciones y en algunas porciones de los valles fluviales. Y de más de 45° están los terrenos abruptos, como los frentes rocosos del Ajusco.

Con este mapa se pudieron localizar las áreas más propensas a presentar procesos gravitacionales, mismas que se encuentran en las laderas superiores del Ajusco.

4.1.3. MAPA DE DENSIDAD DE LA DISECCIÓN

Este mapa representa la intensidad de la acción de las corrientes fluviales. Su objetivo es relacionar los procesos erosivo-fluviales en un área determinada (Lugo Hubp, 1989). Cuando los valores son bajos, significa que la influencia erosiva del agua de escurrimiento no determina la dinámica de ese territorio, de esta manera, se analizan otras variantes. En tanto que las densidades altas indican una mayor influencia fluvial en el relieve. Los valores dependen del tipo de roca, pendientes, grado de fracturas, geometría de la ladera, tipo e intensidad de la precipitación, densidad de la cobertura vegetal y estrato edáfico.

El método que se siguió es el que explica por Lugo Hubp (1991). En el mapa topográfico escala 1:10,000 se marcaron todos los talwegs, los que aparecen como corrientes fluviales y los inferidos por la configuración de las curvas de nivel. El mapa se dividió en cuadrantes con un área de 1 km², cada uno, se midió la longitud total de

los talwegs en km. El valor obtenido se dividió entre la superficie. Los datos se capturaron en el sistema de información, que interpoló y presentó los resultados en isolíneas de 0 a 20 km/km² (mapa 18).

Los valores altos en esta zona corresponden a las corrientes intermitentes, que se forman en las épocas de lluvias y de deshielo, para después desaparecer.

Existe una relación directa entre la geometría de las vertientes y la densidad de la disección. En las vertientes cóncavas los valores son más altos, debido a que son vertientes concentradoras de humedad, mientras que en las laderas convexas, los valores suelen ser más bajos porque la geometría de la vertiente hace que el agua se esparza, impidiendo la formación de corrientes concentradas. Las laderas cóncavas del norte del Ajusco son resultado de la acción glacial y se consideran una herencia geomorfológica. Las laderas cóncavas están relacionadas con los procesos exógenos: gravitacionales, erosión fluvial y glacial, mientras que las laderas convexas lo están con los endógenos.

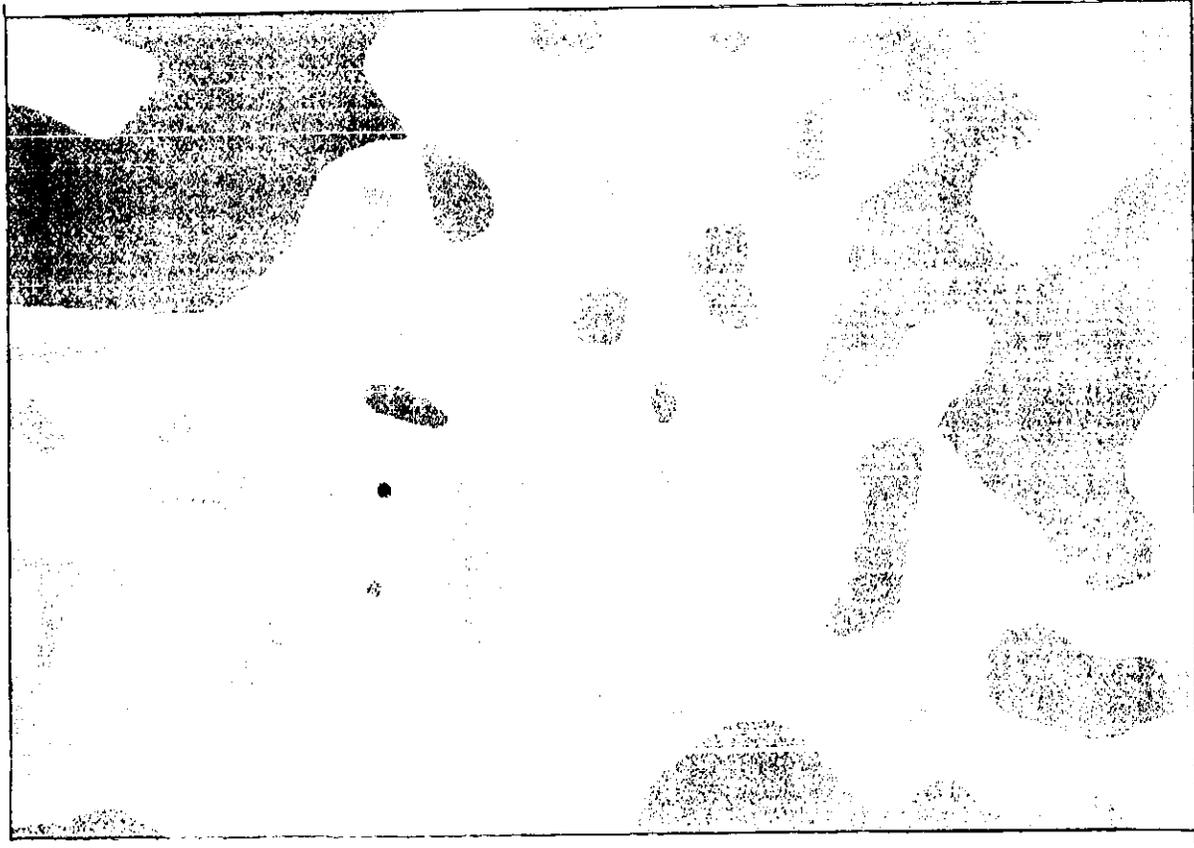
En las zonas planas, como la mayoría de las coladas, los llanos volcánicos y las planicies, los valores son bajos e incluso de cero, puesto que al ser poca la pendiente, no se favorece la escorrentía concentrada, sino que el agua se transporta de manera difusa. El piedemonte también con poca pendiente, no fomenta la formación de corrientes, por el contrario, en esta zona las corrientes empiezan a concentrarse y se favorecen los patrones de drenaje paralelos y subparalelos,

En los conos y domos volcánicos los valores tienden a ser bajos, no pasan de los 8 km/km², producto de la geometría convexa de la mayoría de las vertientes y en algunos casos también por la capacidad de la roca de filtrar agua (lavas recientes).

En las laderas superiores tanto del Ajusco como de la Sierra de Las Cruces, los valores aumentan, llegando en el Ajusco al máximo que es más de 18 km/km². En el primer caso por tratarse de una estructura antigua, en donde las fuertes pendientes favorecen la formación de corrientes fluviales de primer orden, muy largas y manifiestan el control litológico. Y en el otro caso, porque la erosión glacial y periglacial formó varias depresiones en las laderas que contribuyen a la concentración de las corrientes.

Mapa 18. MAPA DE DENSIDAD DE LA DISECCIÓN
AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES

19°15'00"



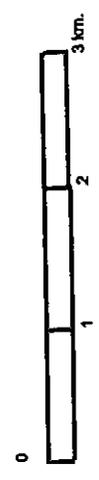
19°10'30"

99°16'40"

99°13'20"

Valores de longitud de
cauces (km) por (km)

- 0-2
- 2-4
- 4-6
- 6-8
- 8-10
- 10-12
- 12-14
- 14-16
- 16-18
- 18-20



ALEJANDRA TOSCANA
COLEGIO DE GEOGRAFÍA UNAM
TESIS, 1998

4.1.4. MAPA PROFUNDIDAD DE LA DISECCIÓN

De acuerdo con García Romero (1993), la finalidad de este mapa es mostrar el valor del corte vertical producido por las corrientes fluviales y el grado de erodabilidad del relieve. Durante el proceso de erosión fluvial, los escurrimientos tienden a concentrarse en los sitios donde las rocas presentan menor resistencia al proceso erosivo por distintas causas, como la pendiente, la vegetación, el volumen y carga de las corrientes y las características de la roca madre. Este mapa se relaciona con el anterior, ya que los dos miden la acción fluvial.

El procedimiento es muy parecido al que se utilizó para medir la densidad de la disección, pero en este caso, se midió la profundidad de los cortes erosivos con ayuda de las curvas de nivel sobre las cartas topográficas escala 1:10,000 de la Tesorería del Distrito Federal, se obtuvo un valor por área determinada (0.5km²). Los datos se capturaron en el sistema de información geográfica, se hicieron las interpolaciones necesarias y se presentaron los resultados en seis isolíneas, cada una con un rango de 10 m de profundidad (mapa 19). Se escogió el rango de 10 m, dado que la equidistancia entre las curvas de nivel en las cartas utilizadas es el mismo, y a través de ellas se llevaron a cabo las mediciones.

Los valores más bajos aparecieron sobre las coladas más recientes, en donde la erosión fluvial todavía no tiene una expresión muy marcada, debido a la juventud del relieve y a que el material volcánico facilita la filtración del agua. También en el Xitle, volcán muy joven, y en el Xicontle, los valores son muy bajos.

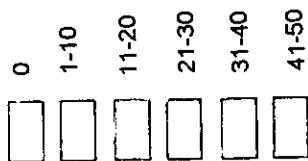
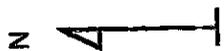
Los valores intermedios predominan en el piedemonte, en donde la erosión vertical ha tenido influencia por ser una zona de acumulación.

Los valores más altos, que llegan hasta 50 m de profundidad, se encuentran en una porción de la Sierra de Las Cruces, en las coladas de lava Q₃ que están al este de dicha sierra, y en parte del Ajusco, principalmente en la zona de los circos glaciales. En el primer caso es posible que los valores obedezcan a la antigüedad del relieve. En el segundo caso se debe a la existencia de una cubierta de cenizas volcánicas muy

Mapa 19. MAPA DE PROFUNDIDAD DE LA DISECCIÓN
AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES

19°15'00"

Valores máximos de profundidad
de barrancos y valles fluviales (m)
en superficies de 0.5 km



ALEJANDRA TOSCANA
COLEGIO DE GEOGRAFÍA. UNAM
TESIS. 1998

19°10'30"

39°16'40"

39°13'20"

profunda que facilita la acción vertical de las corrientes fluviales. El hecho de encontrar los valores más altos en los circos glaciares indica que el agente erosivo principal, no fue el agua sino el hielo, en épocas anteriores. Son ahora las corrientes fluviales las que continúan el proceso erosivo, sin embargo, el corte profundo es un *relieve heredado* de las épocas glaciales.

4.1.5. MAPA DE ENERGÍA DEL RELIEVE

Este mapa sirve para expresar la intensidad relativa de la actividad endógena en relación con la exógena (Lugo Hubp, 1991). Muestra los desniveles endógenos y exógenos.

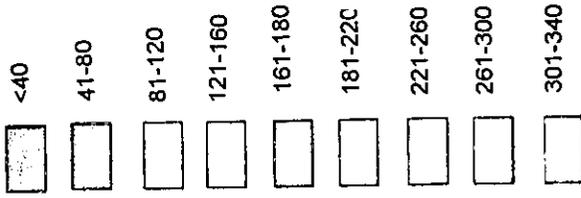
Este mapa y el de pendientes guardan una relación estrecha, porque las zonas que presentan una fuerte energía del relieve, presentan también fuertes pendientes, mientras que las zonas con poca energía del relieve, corresponden a zonas casi planas, en donde no se contraponen la actividad exógena sobre la y endógena.

El procedimiento seguido fue el siguiente. El área se dividió en cuadrantes de 0.5 km². Se obtuvo la diferencia máxima entre las alturas de cada cuadro con la ayuda de las curvas de nivel. Se capturó la información. Se obtuvieron nueve isolíneas, con valores de 40 m cada una (mapa 20). Los rangos son de 40 m cada uno porque esta división permite observar la amplitud del relieve en la estructura más importante de la zona.

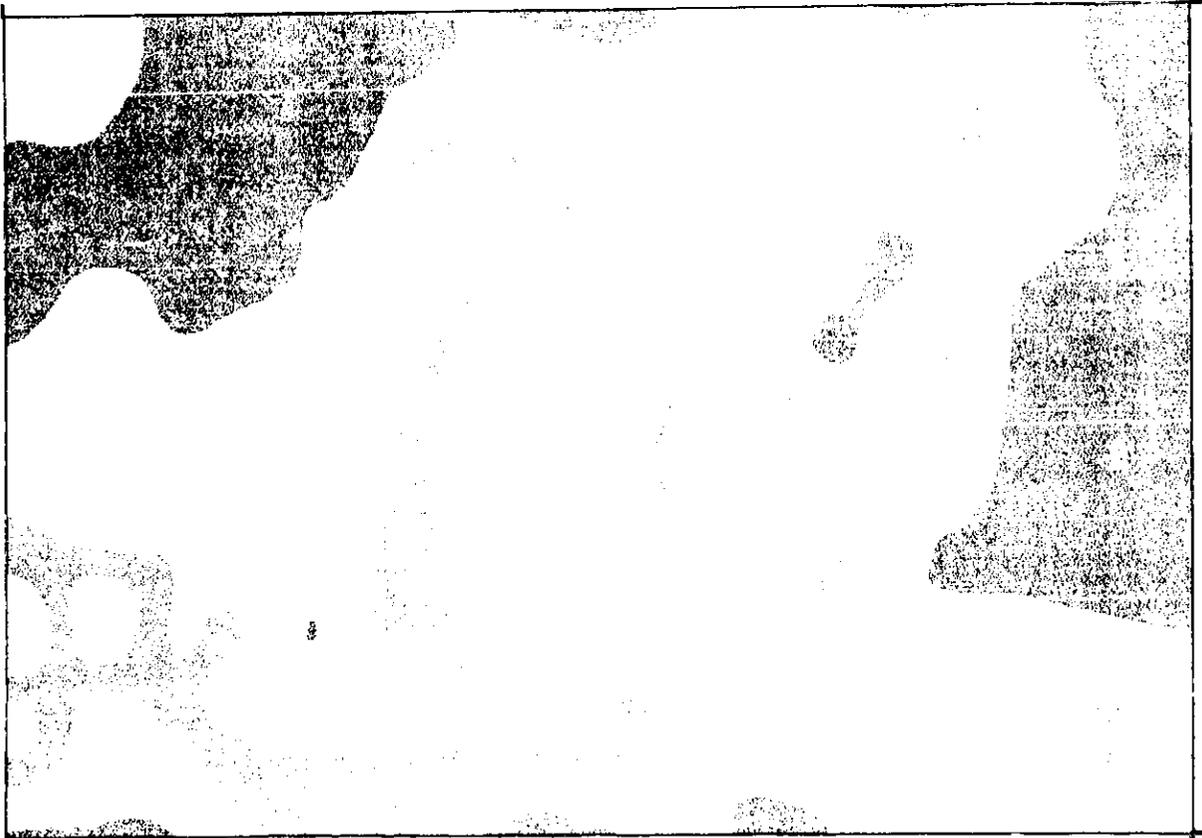
Los valores más bajos corresponden a las zonas planas y casi planas, en donde las diferencias altitudinales son mínimas, y los procesos gravitacionales son nulos, como las coladas al sur del Ajusco y la colada del Xitle. Los valores intermedios corresponden a las laderas bajas del Ajusco, a la Sierra de Las Cruces, y a los domos y volcanes aislados. Los valores más altos se localizan en el complejo Ajusco, en las laderas superiores, en las cimas y en el interior de los circos glaciares, lugares en donde los procesos de ladera, debido a las fuertes pendientes, son frecuentes. Este mapa sirvió para obtener fronteras entre zonas en las que predomina un tipo de proceso.

19°15'00"
Mapa 20. MAPA DE ENERGÍA DEL RELIEVE
AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES

Máxima diferencia de altura (m)
en superficies de 0.5 km



ALEJANDRA TOSCANA
COLEGIO DE GEOGRAFÍA. UNAM
TESIS, 1998



19°15'00"

19°10'30"

99°16'40"

99°13'20"

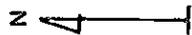
4.1.6. ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA

Como resultado del análisis morfométrico, y a manera de síntesis se realizó una zonificación geomorfológica del Ajusco y zonas adyacentes. Se formaron cinco zonas (mapa 21).

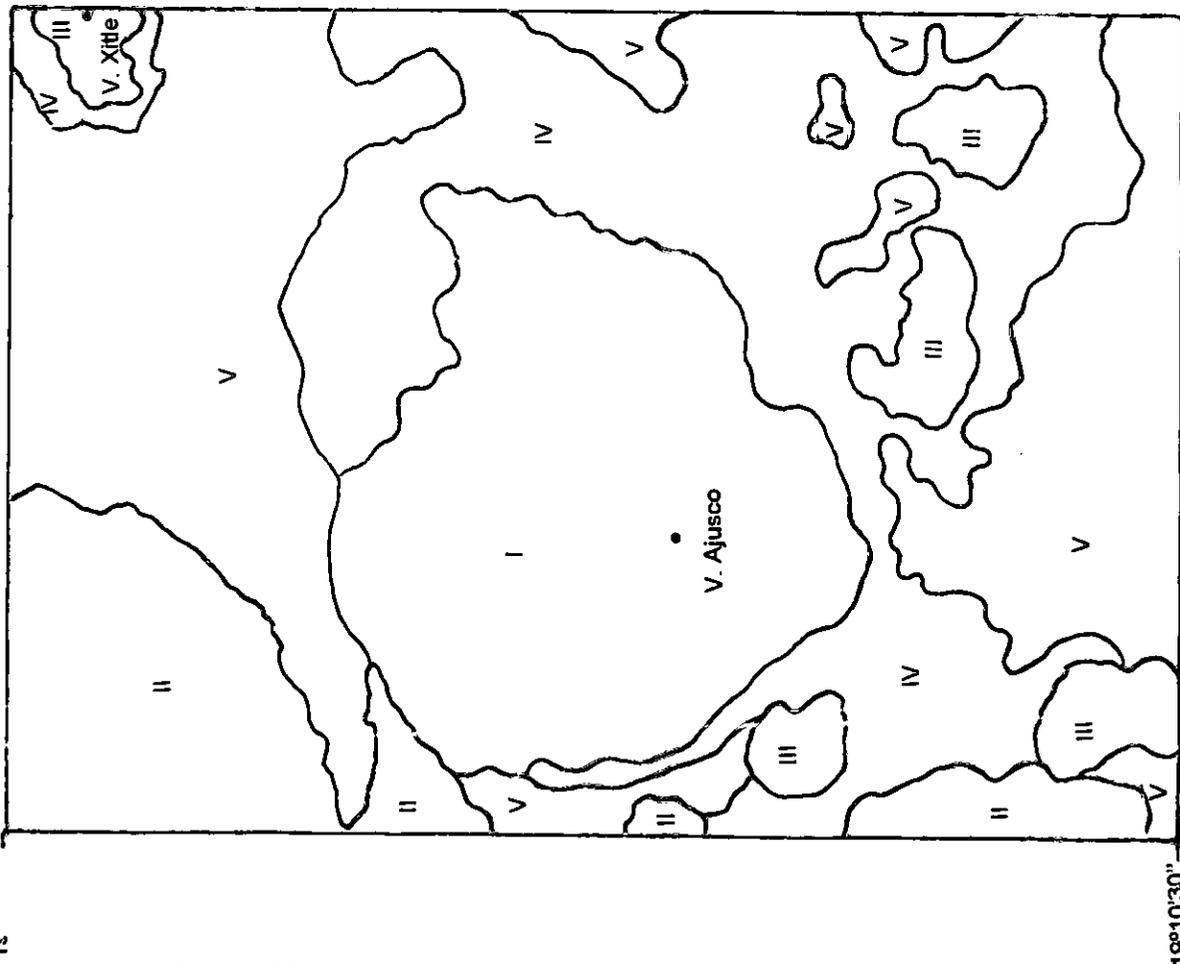
El análisis morfométrico de utilidad para la zonificación, ya que está basada en los mapas morfométricos elaborados, cada uno de los cuales aportó información que particulariza a cada zona. El mapa altimétrico simplificó la topografía. El mapa de pendientes ayudó a localizar los procesos erosivos y acumulativos. Los mapas de densidad y profundidad de la disección permitieron zonificar la susceptibilidad a la erosión fluvial y distinguirla de la glacial. El análisis de la energía del relieve fue auxiliar en la localización de los procesos de ladera. Además, la información se complementó con los datos del medio físico y geológicos (tabla 6). El establecimiento de cinco zonas geomorfológicas (complejo Ajusco, conjunto montañoso precuaternario, conos y domos volcánicos aislados, piedemonte volcánico, y planicies y llanos volcánicos) fue necesario para sintetizar la información de las formas y los procesos presentes en el área de estudio.

**MAPA 21. ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA
AJUSCO Y ZONAS ADYACENTES**

- I Complejo Ajusco
- II Conjunto montañoso precuatemanio
(Sierra de las Cruces)
- III Conos y domos volcánicos aislados
- IV Piedemonte volcánico
- V Planicies y llanos volcánicos



ALEJANDRA TOSCANA
COLEGIO DE GEOGRAFÍA, UNAM
TESIS, 1998



19°10'30" 99°16'42" 99°13'08"

Tabla 6. Zonificación geomorfológica

ZONA/ CARACTERÍS- TICAS	COMPLEJO AJUSCO: laderas superiores del complejo, formado por lavas de andesita en distintas etapas de actividad	CONJUNTO MONTAÑOSO PRECUATER- NARIO (Sierra de Las Cruces): formado en el Plioceno y Pleistoceno por lavas dacíticas y depósitos piroclásticos	CONOS Y DOMOS VOLCÁNICOS AISLADOS: estructuras formadas en el Pleistoceno y el Holoceno	PIEDEMONTES VOLCÁNICOS: constituido por lavas, material volcánico retrabajado, material glacial y periglacial	PLANICIES Y LLANOS VOLCÁNICOS: planicies aluviales, coladas de lava y llanos volcánicos
CLIMA	Cb'(w2)(w)ig	Cb'(w2)(w)ig	Cb'(w2)(w)ig	Cb'(w2)(w)ig	Cb'(w2)(w)ig
SUELO (predominante)	andosol húmico y andosol mólico	andosol húmico	andosol húmico	andosol húmico y andosol mólico	andosol húmico y andosol mólico
VEGETACIÓN (predominante)	oyamel, pino y pastizal	oyamel	oyamel	agricultura de temporal y pastizal inducido	agricultura de temporal y pastizal inducido
ALTIMETRÍA (msnm)	3,300-3,900	3,200-3,500	3,000-3,500	2,900-3,400	2,900-3,300
PENDIENTE	predominan de 15°-45°	predominan de 15°-30°	15°-30°	6°-15°	0°-6°
DENSIDAD DE LA DISECCIÓN (km/km ²)	predominan de 8-16	2-14	<8	2-10	<4
PROFUNDIDAD DE LA DISECCIÓN (m)	<50	<50	<10	11-30	<10
ENERGÍA DEL RELIEVE	<380	80-260	80-160	80-160	<80

Lo anterior es una primera clasificación de la zona estudiada, útil para continuar los estudios, ya que representa las propiedades principales del relieve.

4.2. MORFOGÉNESIS

En el presente apartado se analiza el mapa geomorfológico tomando en cuenta el orden de la leyenda¹.

Las formas de la superficie terrestre pueden clasificarse con base en criterios morfogénéticos, es decir, de acuerdo con los procesos que les han dado origen, endógenos o exógenos.

Los primeros tienen su origen en el interior de la Tierra: el tectonismo y el vulcanismo. A su vez, para este estudio se ha subdividido en volcánico acumulativo y endógeno modelado.

El relieve exógeno es originado por los procesos que se dan en el exterior de la corteza terrestre, en donde las condiciones climáticas actúan de tres maneras: intemperismo físico, químico y biológico; erosión o denudación; y acumulación. En este caso, el relieve exógeno se ha subdividido en erosivo o denudativo y en acumulativo. (Ver mapa anexo).

I. RELIEVE ENDÓGENO

1.1. Volcánico Acumulativo

Es el relieve formado principalmente por la expulsión de material de origen volcánico. Al sur de la cuenca de México es muy común, como resultado de la intensa actividad volcánica ocurrida durante el Pleistoceno y el Holoceno.

¹La simbología no son puntos y rayas al azar, sino que responde a las propuestas cartográficas más estrictas para mapas a detalle, y junto con el análisis, forma parte de los conceptos de Chemekov et al. (1972), Bashenina et al. (1975) y Bashenina (1977).



1.1.1. Volcanes piroclásticos

Este tipo de volcanes está formado principalmente por material piroclástico (bloques, bombas, lapilli, arenas y cenizas), son cónicos y de escasas dimensiones.

Existen dos en la zona en estudio: el Xitle y el Xicotle, con coladas de lava asociadas. El Xitle mide 700 m de diámetro, 160 m de altura sobre la planicie en que se encuentra entre el mismo y el Ajusco, y su cráter cónico de 140 m de profundidad, el borde del cráter es más alto hacia el lado sur.

El Xicotle se encuentra a 100 m al oeste del Xitle. El edificio volcánico es irregular, siendo más largo de norte a sur (480 m) que de este a oeste (400 m); su altura es de 40 m hacia el lado norte y de 50 hacia el lado sur.

Según White et al. (1990) los mantos de lava más recientes de la zona, pudieron haber sido emitidos por el volcán Xicotle, que se encuentran al sur y al este del mismo, sin embargo, en fotografías aéreas se observa que las lavas más jóvenes son las del Xitle, mismas que están sobrepuestas al edificio volcánico del Xicotle.

La edad del Xitle es Q_4^2 , es decir, del Holoceno. La edad de este volcán ha sido estudiada por varios autores y la mayoría coincide en que tiene alrededor de 2,000 años, las diferencias pueden deberse a problemas intrínsecos de los materiales datados. La edad más adecuada parece ser de 1,536 ± 65 BP, obtenida por Fergusson y Libby (1963) a través de leña, esta datación coincide con los materiales arqueológicos más jóvenes de la civilización de Cuicuilco encontrados debajo de las lavas (Córdova et al., 1994).

²Una clasificación del Cuaternario de aceptación general propone que Q_4 corresponde al Holoceno, es decir, a los últimos 10,000 años; Q_3 representa el Pleistoceno tardío (desde hace 75,000 años hasta hace 10,000 años), Q_2 equivale al Pleistoceno medio (abarca desde hace 600,000 años hasta hace 75,000 años). En este estudio no se encontró nada con una edad Q_1 , que sería Pleistoceno inferior (de hace más de 600,000 años y menos de 2 millones de años).



1.1.2. Volcanes de lava

Son aquellos formados principalmente por lava intermedia, con poco material no consolidado. Pertenecen a este tipo cinco volcanes al sur del Ajusco: el Mezontepec y cuatro sin nombre. Por su morfología se han clasificado como Q_2 , del Pleistoceno medio. Martín del Pozzo (1989) les asigna una edad al volcán Mezontepec de $38,590 \pm 3,210$ años, correspondiente al periodo Plv_1 .³



1.1.3. Volcán de lava asociado al complejo Ajusco

Se trata de un volcán de lava intermedia, ubicado sobre las laderas orientales del Ajusco. Sus lavas sobreyacen a la rampa de material de origen glacial, a la planicie aluvial lacustre y a las lavas de los domos *hundidos*; rodean al domo con morfología de *botón simple*. Parte de este volcán, el Cerro de Santo Tomás, estuvo bajo la influencia glacial, quedando *cortado* por un circo glacial.

Por su posición altitudinal y la de sus derrames de lava, es posible que se haya formado después de la primera glaciación, pero antes de la última, ya que está

³Martín del Pozzo (1989) establece fechamientos para algunos volcanes de la sierra Chichinautzin, basando sus edades en las dataciones de Blomfield (1975):

Unidad edad relativa: Hv (volcanitas holocénicas). Parámetros geomorfológicos: suelo delgado, cubierta uniforme de vegetación baja, estructuras de flujo perfectamente conservadas, unidades de flujo individuales cartografiables, sin cultivar. Edad isotópica $8,440 \pm 70$. Unidad edad relativa: Plv_4 (volcánicas pleistocénicas). Parámetros geomorfológicos: unidades de flujo individuales presentan bordes marcados, leveés, los márgenes están cubiertas de árboles, centros de derrame con cubierta de suelo delgada. Edad isotópica: $19,530 \pm 160$. Unidad edad relativa: Plv_3 (volcánicas pleistocénicas). Parámetros geomorfológicos: cubierta de suelo impersistente, todas las crestas de posición visibles, márgenes de derrames muy marcados, poca erosión de crestas terminales. Edad isotópica: $21,860 \pm 380$. Unidad edad relativa: Plv_2 (volcánicas pleistocénicas). Parámetros geomorfológicos: márgenes de derrames redondeados, sin estructuras de flujo internas, gruesa cubierta de suelo (4 m), intensamente cultivadas. Edad isotópica $38,590 \pm 3,210$.

cortado por un circo glacial, y sobreyace a una rampa de material retrabajado, probablemente más antiguo.

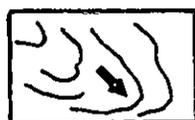
En las laderas sur, sudeste y este del volcán se observa la continuación del frente libre y el manto diluvial-coluvial que se extiende sobre las laderas meridionales del Ajusco, es decir, esta estructura también estuvo bajo la influencia de los procesos periglaciales.

Sus derrames se clasifican en dos tipos:



a) Derrames cubiertos por material piroclástico.

Una parte de las lavas está cubierta por una capa de material piroclástico de distintas erupciones. El espesor tiene 20 cm en promedio y alcanza 40 cm en las porciones más distales de la colada, hacia donde las corrientes fluviales se han encargado de transportar este material.



b) Derrames sin cubierta de piroclastos.

Las lavas más próximas al centro efusivo no tienen dicha cubierta. Forman laderas de fuertes pendientes, disecadas por barrancos.



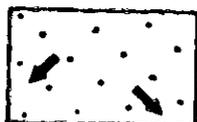
1.1.4. Domo de lava con morfología de *botón simple*.

Se trata de un cuerpo extrusivo en forma de cúpula, con laderas de fuerte pendiente. Este tipo de domo se origina por la compresión de la masa magmática en el canal volcánico. Su perfil es regular y simétrico (Reffay, 1982) (fig. 2).



Fig. 2 Domo de lava con morfología de botón simple: 1. Lava, 2. Material de caída, 3. Basamento (Reffay, 1982).

Se localiza al oriente del Ajusco, y se le conoce como Cerro Pipixaca. Por el hecho encontrarse cubierto parcialmente por lavas intermedias emitidas por el Cerro Santo Tomás, se deduce que es más antiguo que éste. Las lavas asociadas están disecadas por incipientes corrientes fluviales que remueven la cobertura piroclástica hacia la planicie inmediata, formando pequeños abanicos aluviales.



a) Lavas asociadas cubiertas de piroclastos



1.1.5. Domo de lava con morfología de *bulbo simple*.

Es un tipo de domo *abotargado*, su perfil es irregular. El material que expulsa resbala en dirección de la pendiente, quedando alargado. A los lados del domo se deposita material fragmentado producto del rompimiento de la lava superficial al enfriarse. En el lado de mayor pendiente, el material ocupa una superficie mayor que del lado contrario, dando como resultado la forma alargada (fig. 3). Tiene flujos lávicos asociados, cubiertos por mantos de material volcanoclástico.

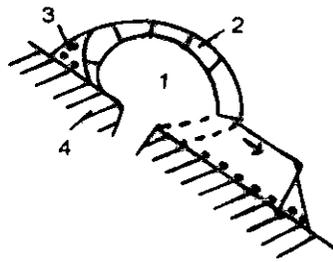
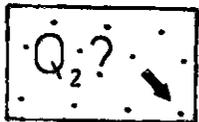


Fig. 3 Domo de lava con morfología de bulbo simple: 1. Lava, 2. Corteza fragmentada, 3. Material de caída, 4; Basamento (Reffay, 1982).

Existen dos domos de este tipo, uno de ellos es el Cerro del Judío. Sus lavas han sido cubiertas por lavas más jóvenes y material volcanoclástico. Por su posición altitudinal deben ser anteriores a Q_3 . Martín del Pozzo (1989) les asigna una edad del Terciario.



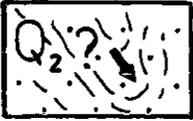
a) Lavas asociadas, cubiertas por material piroclástico



1.1.6. Domos hundidos en *é cuelle*

La morfología en *é cuelle* en domos, se origina cuando al salir la lava, toma dos direcciones, quedando una depresión en el centro. A sus lados se depositan fragmentos de la corteza fragmentada (Reffay, 1982) (fig. 5).

Hay dos domos de este tipo al sudeste del Ajusco. Tienen lavas asociadas a estructuras primarias poco diferenciadas y cubiertas por material volcanoclástico. Subyacen a las coladas de los volcanes de lava, por lo que podrían tener una edad mínima de Q_2 . Para Martín del Pozzo (1989) son del Terciario.



a) Lavas asociadas cubiertas por material piroclástico

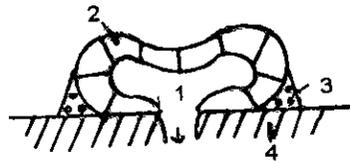


Fig. 4 Domo hundido (en é *cuelle*): 1. Lava, 2. Corteza fragmentada, 3. Material de caída; 4; Basamento (Reffay, 1982).



1.1.7. Coladas de lava de edad Q_4

Están cubiertas por una delgada capa de material volcanoclástico (de 4 a 5 cm). Se observan flujos de dirección y estructuras primarias. En algunas partes se han formado suelos incipientes (andosol húmico) con poca vegetación (bosque de pino).

Corresponden a las coladas del Xitle (posiblemente también a las del Xicontle) y a las del Volcán Pelado (situado fuera de la zona en estudio, pero parte de sus lavas se localizan en la esquina sudeste del mapa) de composición basáltica, muy fluidas, que se extienden varios kilómetros, pero dentro del área de estudio sólo ocupan la porción noreste.

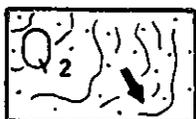
De acuerdo con White et al. (1990) las coladas consisten en mantos delgados de lava que junto con las cenizas expulsadas cubrieron los viejos mantos de lava del Ajusco.



1.1.8. Coladas de lava Q₃

Están cubiertas por material volcanoclástico. Se muestra la dirección preferencial del flujo y las estructuras primarias principales. Su edad se deduce por la morfología y se considera que son del Pleistoceno tardío, entre 10,000 y 70,000 años. Martín del Pozzo (1989) les atribuye una edad del Terciario a las que se encuentran al norte del Ajusco, y una edad de PIV₁ a las que se encuentran al sur del mismo.

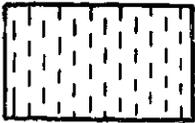
El punto de emisión de estas lavas que rodean al Ajusco por el norte y por el sur, es un grupo de volcanes monogenéticos localizados al oeste del Ajusco, fuera de la zona en estudio. Fluyeron a través de *cueillos de botella* hasta llegar a extensiones más amplias, donde se derramaron. Son las únicas lavas que presentan *leveés*.



1.1.9. Coladas de lava Q₂

Están cubiertas por material volcanoclástico. Se muestra la dirección preferencial del flujo y las estructuras primarias principales. Su edad se deduce por la morfología; son del Pleistoceno medio, entre 75,000 y 600,000 años. Proviene de los volcanes de lava con cráter en herradura. Las lavas emitidas por el Mezontepec y los otros sin nombre contiguos se encuentran junto a éste, tienen una edad, según Martín del Pozzo (1989) de PIV₁. Las lavas emitidas por el otro volcán de lava al suroeste del Ajusco, las considera del Terciario.

Las lavas del Volcán Malinalé, volcán que se encuentra fuera del área en estudio, al este del Ajusco, también son Q₂ y según Martín del Pozzo (1989) sobreyacen a las lavas del Ajusco y del Mezontepec.



1.1.10. Llanos volcánicos

Son planicies de origen volcánico. Se trata de cubiertas potentes (gran espesor) de piroclastos volcánicos finos que sobreyacen a coladas de lava recientes, y están rodeados por coladas de lava o laderas montañosas. Los mantos de ceniza por su espesor, ocultan las estructuras primarias (crestas de compresión), características de las coladas de lava. No obstante, en algunas ocasiones quedan de manera aislada crestas de lava que ponen de manifiesto la idea anterior (fig. 5).

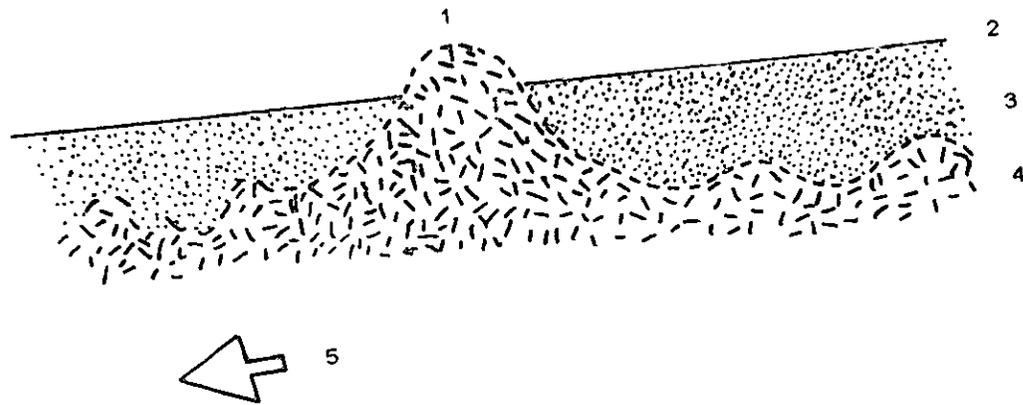


Fig. 5 Llano volcánico: 1. Cresta de lava; 2. Llano volcánico; 3; Toba; 4. Lava; 5. Dirección de la colada.



1.1. 11. *Leveés*

Se consideran bancos naturales de lava, a los lados de un flujo principal al que limitan a manera de bordes. Se forman por un enfriamiento rápido de una porción de lava. Inicialmente la lava forma una lengua, cuyas orillas se enfrían más rápido y encauzan la corriente. Si se incrementa el ritmo de efusión, los *leveés* pueden quedar sepultados; si decrece el ritmo de efusión, la lava drena ladera abajo, dejando las

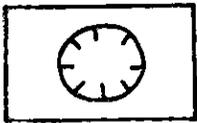
paredes del *leveé* sobresaliendo en la superficie de derrame. Las cimas presentan morfología de crestas.



1.1.12. Frentes de lava

Representan las porciones más distales de las coladas de lava, también se conocen como frentes de cabalgamiento, por apoyarse sobre otras formas de relieve, como, planicies u otras coladas. En esta región se caracterizan por fuerte pendiente, entre 30° y 45° y una altura relativa que oscila entre 20 y 60 m. La dinámica actual se relaciona con el grado de fractura de la roca y un proceso gravitacional de retroceso lento (erosión remontante) hacia las partes altas, con caída de rocas.

Simbología complementaria



1.1.13. Borde de cráter

Corresponde a una ruptura de pendiente localizada entre el labio del cráter y el atrio (laderas interiores del cráter), o bien, entre las laderas exteriores del volcán y el atrio, ya que no todos los volcanes tienen labio de cráter, o no de forma regular, como es el caso del Xicotle, cuyo borde, en algunas partes se encuentra entre el atrio y las laderas del volcán.



1.1.14. Cráter en herradura

Este tipo de morfología se presenta en los volcanes de lava localizados al sur del Ajusco, y refleja la dirección en que se produjo la efusión de lava, misma que rompió uno de los flancos del volcán. La edad de estos volcanes es Q_2 , para Martin del Pozzo, (1980) son de edad Plv_1 .



1.1.15. Labio de cráter

Es la superficie que se encuentra en la parte superior del volcán, entre las paredes exteriores e interiores. Se observa sólo en volcanes jóvenes, poco afectados la erosión, como el Xitle y el Xicontle. Esta superficie es irregular debido a la dinámica eruptiva. Las explosiones llegan a interrumpir la continuidad.



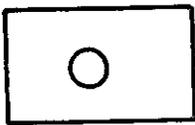
1.1.16. Atrio de cráter

Es la parte interior del cráter, con forma de embudo y disecada por numerosas, pero efímeras corrientes. Su contorno es semicircular y en su parte más baja se presenta al fondo del cráter.



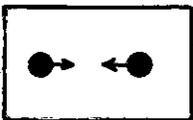
1.1.17. Fondo del cráter.

Es la parte más baja del cráter, generalmente plana, rellena por materiales transportados por la gravedad y las corrientes fluviales que tienen desarrollo en las laderas del atrio.



1.1.18. Cima convexa simétrica

Es el punto más alto de domos y volcanes que por erosión ya no presentan un cráter diferenciado.

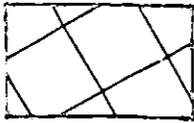


1.1.19. Cima convexa asimétrica

Es característica de los domos hundidos (en *é cuelle*). En cada domo hay dos cimas debido a la depresión de la parte somital. Las flechas indican la dirección de la depresión.

2. *Relieve Volcánico erosivo*

Son las formas de relieve volcánico originadas por procesos endógenos que no conservan su aspecto original, sino que han sido transformadas substancialmente por la actividad exógena (Lugo Hubp, 1984).



1.2.1. Laderas de origen volcánico (Complejo Ajusco)

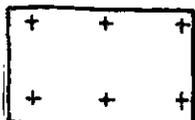
Corresponden a las laderas del volcán Ajusco que actualmente están siendo modeladas por la acción fluvial y gravitacional. Presentan formas heredadas de los procesos glaciales (circos glaciales y depósitos morrénicos caóticos) y periglaciales (frentes montañosos y mantos de rocas fragmentadas, sobre la ladera sur).

La acción fluvial, modelador actual, acrecienta los valles, tanto en dirección vertical como lateral. La geometría de las laderas es determinante en la intensidad del proceso, las cóncavas concentran el escurrimiento y favorecen la disección, mientras las convexas dispersan la esorrentía haciéndola difusa y areal.

La acción gravitacional da lugar a varios procesos como la reptación y la caída de detritos. La reptación se refiere al movimiento individual de las partículas de suelo ladera abajo, es un movimiento tan lento que es casi imperceptible, sin embargo, se puede observar en las microterrazas. Este proceso es activado por la expansión y contracción de las partículas por cambios de temperatura y humedad, lo que se refleja en los ciclos de congelamiento-deshielo del suelo. También intervienen otros factores como los túneles cavados por animales y la presión ejercida por las raíces de las plantas.

La gelifración es un proceso mediante el cual se destruye la roca, se da en lugares en los que el agua penetra las grietas de la roca y se congela, aumenta su volumen y actúa como una cuña, lo que favorece la separación de detritos de las masas rocosas (Lugo Hubp, 1989), una vez fragementada la roca, caen los detritos por acción de la gravedad.

Se observa una gran cantidad de detritos en el manto diluvial-coluvial, con aristas puntiagudas que indican el poco arrastre que han tenido estas rocas.



1.2.2. Conjunto montañosos volcánico, de edad precuaternaria (Sierra de Las Cruces).

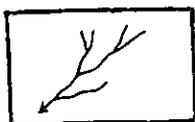
Se refiere a la cadena montañosa de la Sierra de Las Cruces de edad precuaternaria. El conjunto está formado por lavas y piroclastos y está fuertemente disecado por barrancos (Lugo Hubp, 1984). Las laderas están cubiertas por vegetación, y aparentemente son estables.

Se distinguen dos zonas, una con cubierta de material volcanoclástico cuaternario, la cual la zona es pequeña y la cubierta se debe a que esta parte está muy cercana al centro de emisión de lavas Q₃, el cual, cuando estuvo en actividad, lanzó material volcanoclástico que alcanzó a cubrir parte de este conjunto montañoso; y otra sin cubierta de material volcanoclástico.

II. RELIEVE EXÓGENO

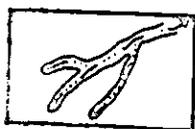
2.1. *Relieve erosivo fluvial*

Se refiere al relieve formado por el movimiento de partículas de la superficie por la acción de las aguas (Lugo Hubp, 1984). Las corrientes fluviales son los agentes erosivos y de transporte de material intemperizado. La mayoría de los valles, aunque a veces sean modificados por procesos glaciales y periglaciales, deben su origen a la erosión vertical y horizontal de los ríos.



2.1.1. Talwegs poco profundos (surcos)

Son producto de escurrimientos asociados a lluvias estacionales y al deshielo. Se localizan en las cercanías de los parteaguas. No se integran al sistema fluvial principal.



2.1.2. Talwegs con perfil en V (cárcavas)

Son resultado de la acción de escurrimientos de temporada poco profundos que aprovechan, el relieve heredado (circos glaciales), fronteras entre distintas coladas de lava o bien, su presencia está condicionada por la concavidad de las laderas donde forman cárcavas de menos de 10 m de profundidad.



2.1.3. Laderas superiores de valle

Son de altura de más de 10 m, formadas por los ríos en su acción de erosión vertical. Se encuentran en las zonas más antiguas, como en el conjunto montañoso precuaternario y en las laderas del Ajusco, principalmente sobre el manto diluvial-coluvial, donde el material está fragmentado y facilita la acción erosiva vertical de los ríos.



2.1.4. Circos fluviales activos

Son formas cóncavas del relieve montañoso, a manera de anfiteatro, con laderas empinadas, que se originan en las cabeceras de algunas corrientes fluviales por procesos gravitacionales y la acción erosiva de pequeñas escorrentías que inciden en un canal principal (Lugo Hubp, 1984). Se encuentran dentro de los circos glaciales y en la ladera norte del Ajusco.



2.1.5. Circos fluviales inactivos

Son formas iguales a la anterior, pero actualmente con escasa actividad por la influencia de rocas más resistentes o por una de cubierta vegetal que protege al suelo o al sustrato rocoso de la acción erosiva de las corrientes fluviales.

2.2. Relieve erosivo fluvio-glacial

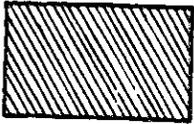
Es el relieve formado conjuntamente por la acción del hielo y del agua. Actualmente sólo interviene el agua como agente modelador.



2.2.1. Circos fluvio-glaciales

Son circos desarrollados sobre un relieve glacial heredado, muy transformados por procesos fluviales y de ladera (actuales).

También se les llama *nichos de nivación*. Son depresiones que estuvieron ocupadas por pequeños volúmenes de nieve en el Pleistoceno y Holoceno. El proceso comienza con una depresión preexistente que es acrecentada por la nieve. Son formas redondeadas o elongadas, distintas a los valles normales, características de los ambientes periglaciales. Aunque es un proceso ampliamente reconocido, no se sabe mucho de su mecanismo, sin embargo, se cree que la solifluxión, así como los ciclos de hielo y deshielo modifican la base y las paredes (Derruau, 1965; Small, 1970).



2.2.2. Laderas modeladas por procesos fluvio-glaciales

Son las laderas de los nichos de nivación, formadas por procesos glaciales y periglaciales. Su origen se debe a la acumulación de nieve en pequeñas depresiones del Pleistoceno y Holoceno. Actualmente son modeladas por la acción de la erosión fluvial y los procesos de ladera. Posiblemente también sean modeladas por procesos periglaciales, aunque según Lorenzo (1969), actualmente no se producen procesos periglaciales a altitudes menores a 4,000 msnm.

2.3. *Relieve erosivo glacial*

Es el relieve originado por la acción de los hielos, heredado de épocas pasadas del Cuaternario.

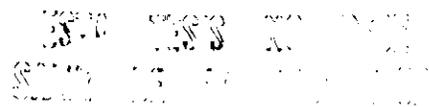


2.3.1. Circos glaciales

Son depresiones en forma de semicírculo rodeadas por tres paredes montañosas abruptas, y un cuarto costado abierto ladera abajo, en forma de un escarpe abrupto. Los circos glaciales del Ajusco se han clasificado como *cares*, aplicando el término que usan varios autores, como de Gorshkov y Yakushova (1970), y se caracterizan por estar encajados en las ladera escarpadas de las altas montañas y tener dimensiones relativamente reducidas, como en el volcán en cuestión.

Este relieve ha pasado un modelado por la erosión fluvial y gravitacional.

En el Ajusco existen dos circos glaciales conocidos como Valle del Águila y Valle Santo Tomás, el primero de dimensiones mayores.



White et al. (1990) distinguen dentro del Valle del Águila un circo interior, producto de la neoglaciación, sin embargo, en el mapa geomorfológico que se presenta se delimitan dos circos interiores a una altitud de entre 3,750 y 3,850 msnm.

En el Valle de Santo Tomás también se pueden observar dos circos interiores a una altitud de entre 3,600 y 3,700 msnm que no fueron reportados por White et al. (1990). No obstante, la morfología pone de manifiesto su existencia.



2.3.2. Laderas modeladas por procesos glaciales

Se trata de laderas interiores de los circos glaciales, las que actualmente, son modelados por procesos fluviales y de la ladera.

Como formas asociadas a los procesos glaciales pasados se tienen los depósitos morrénicos estudiados por White y Valastro (1984) y por White et al. (1990)⁴. De acuerdo con estos autores existen morrenas en cuatro valles glaciales⁵ (mapa 7).

- Valle del Águila, contiene depósitos morrénicos de todas las glaciaciones ocurridas en el Ajusco.
- Valle Santo Tomás, contiene depósitos morrénicos de las glaciaciones Marqués, Santo Tomás y Albergue.
- Valle Pipixaca, únicamente contiene depósitos morrénicos de la glaciación Marqués.
- Valle Doberman, contiene depósitos morrénicos de las glaciaciones Marqués y Santo Tomás

⁴En este trabajo no se hace una cartografía a detalle de los depósitos morrénicos, ya que las dimensiones de éstos, con dificultad sobrepasan los 10 m de altura a esta característica se une una cobertura de materiales volcánicos y exógenos que entierran estas formas de relieve, haciendo difícil su representación a escala 1:10 000, donde se tiene una equidistancia entre curvas de nivel de 10 m. No obstante se localizan en el mapa 14.

⁵ Estos autores consideran los valles Pipixaca y Doberman como valles glaciales debido a que encontraron depósitos morrénicos en ellos, aunque por morfología, estos valles no podrían considerarse como tales.

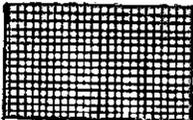


2.3.3. Laderas rocosas escarpadas

Las laderas rocosas escarpadas son parte de los circos glaciales y sus márgenes; se trata de material resistente, representado por un sustrato rocoso masivo que fue expuesto por los procesos glaciales.

Sobre estas laderas descubiertas tienen lugar procesos gravitacionales los que originan corredores de escombros (frente libre), favorecidos por el intenso fracturamiento de la roca. Fragmentos desprendidos caen libremente y rebotan en vez de rodar o resbalar. La mayor parte de las veces caen de manera individual, pero en ocasiones desprendimientos mayores.

Existen varios procesos que facilitan el desprendimiento de rocas: la expansión por congelamiento (gelifracción), la presión del agua en los poros y en las fracturas y diaclasas, el alivio de la presión y la actividad química.



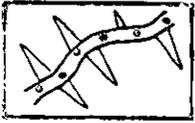
2.3.4. Fondo de antiguos valles glaciales

Es una superficie más o menos plana, estrecha y alargada, rodeada por laderas de fuerte pendiente, que corresponde a la porción más baja de los antiguos valles glaciales.



2.3.5. Cuerda glacial con morfología simétrica.

Ambas vertientes, opuestas, tienen influencia glacial. Llegan a extenderse a regiones periglaciales. Constituyen una *cresta* o *arista*.

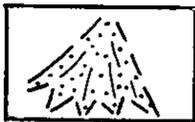


2.3.6. Cuerda glaciar con morfología asimétrica

Una de las vertientes tiene influencia glaciar como proceso, pero la otra está sujeta a procesos de ladera (caída de rocas o de otro tipo). Se extienden a regiones periglaciales o a las laderas exteriores del edificio principal. También se le llama *cresta* y *arista*.

2.4. Relieve acumulativo fluvial

Es el que se forma por la acumulación de partículas transportadas por las corrientes fluviales.



2.4.1. Rampas acumulativas con morfología de abanico

a) Primera generación



b) Segunda generación



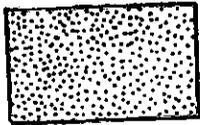
c) Tercera generación

Están compuestas por abanicos aluviales coalescentes que forman un extenso manto acumulativo. Se originan en la desembocadura de corrientes montañosas, al cambiar la pendiente de fuerte a plana o casi plana, de esta manera, las corrientes pierden energía y depositan la carga. Los abanicos aluviales pueden modificarse si cambia el clima o el cauce de la corriente; migrar lentamente junto con la

desembocadura de la corriente y pueden generarse conos más jóvenes de arriba hacia abajo (Lugo Hubp, 1989).

Las rampas acumulativas de la zona en estudio presentan ejes de arrastre de las aguas. Por su posición estratigráfica se han dividido en tres grupos: a) primera, b) segunda y c) tercera generación. Los más recientes y dinámicos son los últimos.

El hecho de que existan rampas de diferentes generaciones indica que la actividad de las corrientes fluviales no ha sido constante durante el tiempo, lo cual es una evidencia de los cambios climáticos ocurridos durante el Pleistoceno y el Holoceno.

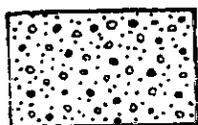


2.4.2. Planicies aluviales

Se trata de superficies casi planas, rodeadas por estructuras volcánicas que deben su origen principalmente a la acumulación de material transportado por corrientes fluviales, sobre las cuales, en épocas de lluvia se forman pequeños lagos someros.

2.5. *Relieve acumulativo glacial y periglacial*

Son las formas del relieve originadas por los depósitos glaciales y periglaciales. Su origen se remonta a épocas anteriores, cuando las temperaturas eran menores y las precipitaciones de nieve más abundantes.



2.5.1. Rampa de material de origen glacial

Los materiales que conforman este depósito pertenecieron a morrenas que fueron erosionadas, y cuyo material fue transportado por corrientes fluviales de deshielo. Este proceso favoreció la destrucción y transformación de los efímeros depósitos glaciales, localizados hoy en día en los valles del Águila y de Santo Tomás. Como resultado se tiene una rampa de detritos mal clasificados en una matriz arcillo-arenosa. La superficie representada en el mapa, no es la expresión original, puesto que seguramente, esta rampa era continua hasta la parte frontal del Valle del Águila, y posteriormente fue cubierta por lavas de edad Q_3 .



2.5.2. Manto diluvial-coluvial

Este manto se compone por detritos rocosos angulosos de origen periglacial, consecuencia de la gelifracción, sin duda, fue el principal agente modelador de la vertiente sur del Ajusco en épocas pasadas, cuando las temperaturas eran más bajas que las actuales, y las precipitaciones más abundantes.

En la actualidad, dicho manto se encuentra disecado por numerosas corrientes fluviales, algunas de las cuales han labrado barrancos de 5 a 8 m de profundidad. Estos barrancos funcionan como corredores de escombros que depositan su carga en la desembocadura, en forma de abanicos, llegando a construir, con el paso del tiempo, tres generaciones de conos coalescentes bien diferenciados al sur del Ajusco. Esta dinámica de torrentes sepulta la carretera panorámica que rodea el Ajusco al sur, hecho que pone de manifiesto la actividad del proceso transformador del relieve.

El manto diluvial-coluvial, fuente de alimentación de los abanicos, se genera a partir de un frente libre rocoso, que alcanza una altura máxima de un metro de altura, en el cual se produce intemperismo tanto físico como químico, que favorece la caída y

deslizamiento de detritos, de una manera más intensa en los periodos glaciales ocurridos en el Pleistoceno y el Holoceno.

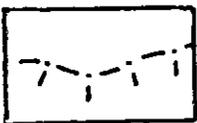
La figura 6 explica a partir del modelo de frente libre (Small, 1970), la dinámica actual de la vertiente sur del Ajusco, en donde los sectores 6 y 7 de dicho modelo, los equivalentes a los depósitos de abanicos coalescentes que se mencionan en el apartado 2.4.1. El sector 4, en el Ajusco no es tan amplio como parece ser en el modelo, su longitud es de aproximadamente 10 m. Los sectores 8 y 9 no existen en el Ajusco, puesto que después de los abanicos aluviales aparecen distintas coladas; por lo demás, el modelo explica la dinámica del manto diluvial-coluvial.

2.6. Simbología complementaria



2.6.1. Ruptura de pendiente de origen glacial

Representan cambios bruscos en la inclinación del terreno, localizadas en los circos glaciales. Su origen se relaciona con el avance y retroceso de las masas de hielo en épocas pasadas.



2.6.2. Rupturas de pendiente no diferenciadas

En este caso, los cambios de inclinación del terreno pueden tener relación con fracturas y fallas (origen tectónico), o bien, con cambios litológicos de los depósitos volcánicos. Las rupturas repercuten en la susceptibilidad de la roca a la erosión.

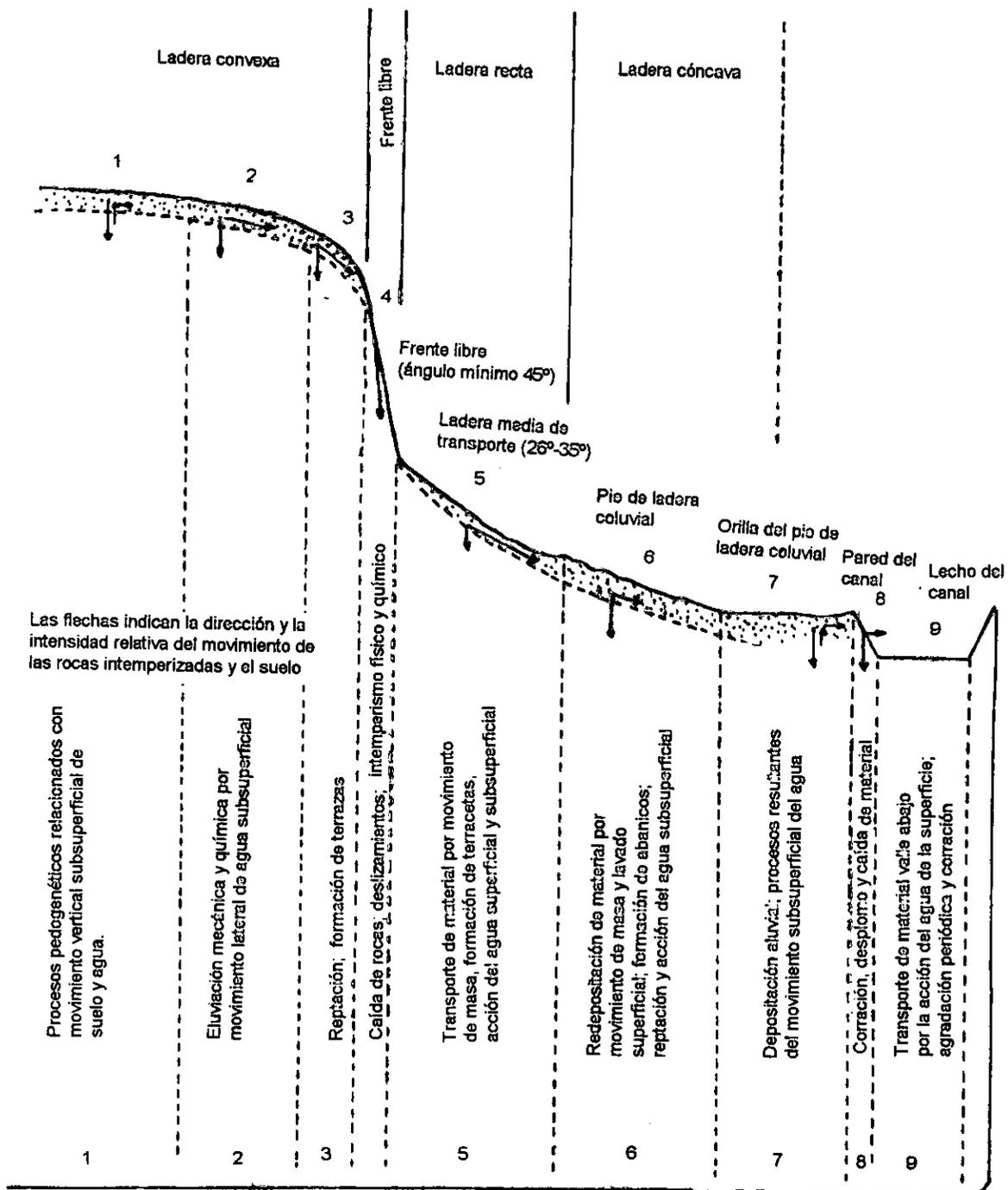


Fig. 6 Modelo de frente libre (Small, 1970)



2.6.3. Escarpes de lava secundarios

Su origen está relacionado con el avance y enfriamiento de las coladas de lava, su altura no sobrepasa los 15 m de altura.

Culturales



Circuito Ajusco

CONCLUSIONES

1. La zona estudiada, situada al suroeste de la Cuenca de México, es el punto de unión de tres manifestaciones volcánicas distintas, ocurridas del Plioceno al Holoceno. Al oeste se encuentra una porción del sudeste de la Sierra de Las Cruces, de composición dacítica y de edad pliocénica a pleistocénica. En el centro está la estructura principal, el complejo Ajusco, formado principalmente por andesita, posterior a la Sierra de Las Cruces. Domos, volcanes y coladas de lava, de diferente composición, del norte de la Sierra Chichinautzin, de edad pleistocénica holocénica, se distribuyen por toda la zona.

En el mapa elaborado a detalle, aparecen los elementos del relieve clasificado de acuerdo con su génesis, se identifican y explican aspectos de la dinámica en algunos casos, de manera que el mapa es una contribución a la comprensión de estas tres unidades volcánicas de épocas distintas.

2. El complejo Ajusco está integrado por los restos de un volcán erosionado, un volcán de lava asociado, conocido como Cerro Santo Tomás, y un domo con morfología de botón simple, llamado Cerro Pipixaca. Las lavas del Ajusco no están a la vista, puesto que han sido sepultadas por material volcánico de eventos posteriores (Pleistoceno medio, tardío y Holoceno). Las lavas del volcán asociado, todavía visibles, rodean al domo, por lo que el Ajusco y dicho domo pueden ser de una edad anterior, de otra manera, el domo y sus lavas estarían sobrepuestas al volcán asociado. Por la localización de los circos glaciales, del manto de material glacial y del manto coluvial-diluvial, se deduce que el volcán de lava asociado al complejo Ajusco y el domo con morfología de botón simple, son de formación anterior, a por lo menos, el último periodo glacial, ya que en el caso del volcán asociado, el manto diluvial-coluvial se extiende desde el suroeste del complejo hasta dicha estructura, y además, uno de los circos glaciales lo corta.

La existencia de rampas acumulativas con morfología de abanico de diferentes generaciones, indica que la actividad de las corrientes fluviales no ha sido constante

en el tiempo, lo cual es una evidencia de los cambios climáticos ocurridos durante el Pleistoceno y el Holoceno. Este elemento, así como los circos glaciales, los nichos de nivación, la rampa de material glacial, el manto coluvial-diluvial y los depósitos morrénicos estudiados por White (1978), White et al. (1984 y 1990) y por Heine (1984), corroboran los argumentos de los cambios climáticos ocurridos durante el Pleistoceno y el Holoceno.

3. El complejo Ajusco fue modelado por la actividad glacial de épocas pasadas, debido a esto, existe un relieve *glacial heredado* en la ladera norte. El resto de las laderas estuvieron sometidas a procesos periglaciales que formaron nichos de nivación y un manto coluvial-diluvial, los cuales también son heredados, ya que el periglaciario actual es nulo, excepto en las partes más altas, aunque es de poca intensidad.

4. A través del método seguido, tomado de Verstappen y van Zuidam (1968), Chemekov et al. (1972), Bashenina et al. (1975), Bashenina (1977), Klimaezewski (1982), Símonov (1985), Leontiev y Richagov (1988), se elaboraron los primeros tres capítulos y se confeccionó el mapa geomorfológico, la parte más importante de la tesis, que clasifica, describe y explica las formas y procesos del relieve en el área en estudio. La escala utilizada permitió una cartografía muy detallada, sin embargo, los depósitos morrénicos no se incluyeron debido a que no se utilizaron métodos estratigráficos y de datación que lo permitieran. Por otro lado, su morfología, muy transformada, no permitió que fueran cartografiadas a detalle y caracterizadas, no obstante se registraron de acuerdo con los estudios mencionados.

Para el capítulo de análisis morfométrico se siguió la metodología expuesta por Lugo Hubp (1989), tomando en cuenta también aspectos propuestos por Chemekov et al. (1972), Bashenina (1977) y Símonov (1985), mediante la cual se definen características importantes del relieve que sirvieron para aumentar y corroborar la información del mapa geomorfológico, y para esbozar una zonificación que sintetizó el relieve, basada en características altimétricas, de pendientes, de densidad y profundidad de disección y de energía del relieve. Se obtuvieron cinco regiones con

rasgos genéticos, morfológicos, cronológicos y de dinámica similares: complejo Ajusco, conjunto montañoso precuaternario (Sierra de Las Cruces), conos y domos volcánicos aislados, piedemonte volcánico y planicies y llanos volcánicos.

5. Este mapa es analítico, resultado de un estudio geomorfológico, el inicial para comprender las características de la zona, los procesos formadores y modeladores, tanto actuales como de épocas pasadas. De este modo, el relieve puede ser comprendido de una manera ordenada y sintética.

6. Este mapa es la conclusión del estudio, además, es una contribución al conocimiento geomorfológico de la Cuenca de México, ya que es una representación precisa del relieve, que permite la reconstrucción de su desarrollo y la evolución de la participación de los factores y procesos que lo crearon y transformaron. Por esta razón, el mapa resulta útil para todas las ciencias que están relacionadas con la superficie terrestre, como la pedología, la hidrología, la botánica, la ecología y la arqueología, entre otras, y también es de utilidad para estudios más específicos que pueden ser, por mencionar algunos, de agricultura, urbanismo, vías de comunicación, y turismo y recreación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Alvarez del Castillo, C. (1987) La vegetación de la Sierra del Ajusco. Departamento de Prehistoria, INAH, México. 74 p.

Bashenina, V. N. (1977) Geomorfología cartográfica. Vishaia Shkola, Moscú. 375 p. (en ruso).

Bashenina, B. N; B. G. Velikovskais; P. I. Dobrovolski; B. A. Zarushkaia; V. A. Mirnova; N. N. Talskaia; y E. N. Feldbarg (1975) Cartografía geomorfológica. Universidad Estatal de Moscú, Moscú. 262 p. (en ruso).

Blásquez, L. (1943) La edad glacial en México, Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. LVIII (3-6) 263,-305.

Blásquez, L. (1961) Los glaciares en México, Boletín del Instituto de Geología. 61, pp. 93-108.

Córdova, C; A. L. Martin del Pozzo y J. López Camacho (1994) Paleolandforms and Volcanic Impact on the Environment of Prehistoric Cuicuilco, Southern Mexico City, Journal of Archeological Science, 21, 585-596.

Chermekov, F. Y; K. G. Ganeshin; V. V;. Soluiev; y N. M. Boisov (1972) Manual de métodos de investigación geomorfológica. Nedra, Leningrado. 377 p. (en ruso).

De Cserna, Z.; M. de la Fuente; M. Palacios; L. Triay; L. M. Mitre; R. Mota (1988) Estructura geológica, gravimétrica, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México. Instituto de Geología, UNAM, México. 71 p.

Delgado Granados, H. y A. L. Martin del Pozzo (1993) Pliocene to Holocene Volcanic Geology at the Junction of Las Cruces, Chichinautzin and Ajusco Ranges, southwest of Mexico City. Geofísica Internacional, vol. 32, núm. 3, pp. 511-522.

Derruau, M. (1965) Geomorfología. Ariel, Barcelona, 442 p.

Enriquez Guadarrama, C. (1997) Geomorfología e impacto ambiental en la reserva de la biósfera Pantanos de Centla, Tabasco. Tesis de licenciatura, FFyL, UNAM, México. 121 p.

Ezcurra, E. (1990) De las chinampas a la megalópolis. El medio ambiente de la Cuenca de México. Col. La Ciencia desde México, No. 91. FCF, México, D. F. 119.p.

Fries, C. Jr. (1956) *Geología a lo largo de la carretera entre México D. F. y Taxco, Gro. Distrito Minero de Taxco. Visita a un yacimiento de fluorita en rocas del Terciario Inferior. Excursiones A-4 y C-2. Congreso Geológico Internacional. Pag. 93.*

García, E. (1988) (3º ed.) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM, México. 217 p.

García Romero, A., (1993) Análisis geomorfológico de la distribución de riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal, Tesis de licenciatura, FFyL, UNAM, México. 110 p.

Gorshkov, G. y A. Yakushova (1970) Geología general. Ed. Mir. 624 p.

Guillén Guerrero, M. A. (1996) Geomorfología de la vertiente occidental del Volcán Iztaccíhuatl. Tesis de licenciatura, FFyL, UNAM, México. 180 p.

Heine, K. (1973) *Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40,000 años en México. Comunicaciones: Proyecto Puebla-Tlaxcala 7*, pp. 51-56. Fundación Alemana para la Investigación Científica, Puebla.

Heine, K. (1984) *Comment on "Pleistocene Glaciation of Volcano Ajusco, Central Mexico, and Comparison with the Standard Mexican Glacial Sequence" by Sidney E. White and Salvatore Velastro, Jr. Quaternary Research*, vol. 22, pp. 242-246.

Heine, K. (1994) *Presente and Past Geocryogenic Processes in Mexico. Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 5, pp 1-2.

Klimaezewski, M. (1982) *Detailed geomorphological maps. ITC Journal*, 3, pp, 265-217.

Leontiev, K. O. y I. G. Richagov (1988) Geomorfología general. Vishaia Shkola, Moscú. 319 p. (en ruso).

Lorenzo, J. L. (1959) *Los Glaciares de México. Monografías del Instituto de Geofísica 1*, UNAM, México.

Lorenzo, J. L. (1967) La etapa lítica en México. Depto. de Prehistoria, 20, INAH, México. 49 p.

Lorenzo, J. L. (1969) *Condiciones periglaciales de las altas montañas de México. Paleontología*, 4, Departamento de Prehistoria, INAH, México.

Lugo Hubp, J. (1984) *Geomorfología del sur de la Cuenca de México. Serie Varia T. Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 8, 86 p.*

Lugo Hubp, J. (1989) Diccionario geomorfológico. Instituto de Geografía, UNAM. 337 p.

Lugo Hubp, J. (1990) *El relieve de la República Mexicana*. Revista Instituto de Geología, vol. 9, num. 1, pp. 82-111. México.

Lugo Hubp, J. (1991) Elementos de geomorfología aplicada (Métodos cartográficos). Instituto de Geografía, UNAM, México. 109 p.

Martin del Pozzo, A. L. (1980) Vulcanología de la Sierra Chichinautzin. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM.

Martin del Pozzo, A. L. (1982) *Monogenetic volcanism in Sierra Chichinautzin, Mexico*. Bull. Volcanol, 45-1, pp. 9-23.

Martin del Pozzo, A. L. (1989) Geoquímica y paleomagnetismo en la Sierra Chichinautzin. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. 148 p.

Martin del Pozzo, A. L.; R. Espinasa; J. Lugo; L. Barba; J. López; P. Plunkett; G. Uruñela (1997) *Volcanic Impact in Central Mexico*. Excursion Guide, IAVCEI General Assembly, Puerto Vallarta. 31 p.

Martínez de Pisón, E. (1982) El relieve de la Tierra. Salvat, Barcelona. 64 p.

Mendoza Cantú J.(1994) Análisis geomorfológico de la plataforma Campeche-Yucatán. Tesis de licenciatura. FFyL, UNAM, México. 114 p.

Mora Alvarez, G; C. Caballero Miranda; J. Urrutia Fucugauchi y Sh. Uchiumi (1991) *Southward migration of volcanic activity in the sierra de las Cruces, basin of Mexico? - A preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study*. Geofísica Internacional, Vol. 30, Num. 2, pp. 61-70.

Mooser, F. (1956 a) *Bosquejo geológico del extremo sur de la Cuenca de México*. Guía de la excursión C-9. XX Congr. Geol. Int. Vulcanología del Cenozoico. 154 p.

Mooser, F. (1956 b) *Consideraciones geológicas acerca de la formación del lago de Texcoco*. La Cuenca de México: consideraciones geológicas y arqueológicas. F. Mooser, J. L. Lorenzo y S. E. White (eds). Departamento de Prehistoria, 2, INAH, México. 51 p.

Mooser, F. (1957) *Los ciclos de vulcanismo que formaron la Cuenca de México*. XX Congr. Geol. Int. Vulcanología del Cenozoico. T 11, pp. 337-348.

Mooser, F. (relator) (1984) *Sociedad Mexicana de Suelos*. México. Pp 3-32.

Mooser, F; S. E. White; y J, L. Lorenzo (1956) La Cuenca de México. Consideraciones geológicas y arqueológicas. INAH, México. 51 p.

Mooser, F; A. Montiel y A. Zúñiga (1996) Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos. Comisión Federal de Electricidad (1937-1996), México. 27 p.

Ortega Ramírez, J. R., (1979) Geomorfología glacial del área del Ajusco, México, D. F. y Estado de México. Tesis. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN, México. 139 p.

Palacio Prieto, J. L. y L. Luna González (1993) Introducción al manejo del sistema ILWIS. Instituto de Geografía, UNAM, México. 65 p.

Palacio Prieto, J. L. y L. Luna González (1994) *Clasificación espectral automática vs. clasificación visual: Un ejemplo al sur de la Ciudad de México*. Boletín Instituto de Geografía, 29. UNAM, México. Pp: 25-40.

Reffay, A. (1982) *Les domes volcaniques complex*. Norios, no. 114. Poitiers, pp. 229-237.

Salas García, O. (1995) Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo: un enfoque geomorfológico. Tesis de licenciatura. FFyL, UNAM, México. 110 p.

Schlaepfer, C. (1968) Hoja México 14 Q-h (5), con resumen de la geología de la hoja México, Distrito Federal y Estados de México y Morelos. Instituto de Geología, UNAM. México.

Símonov, Y. G. (1985) Análisis morfométrico. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov, Moscú. 30 p. (en ruso).

Small, R. J. (1970) The Study of Landforms. A Text Book of Geomorphology. Cambridge University Press 2º ed., Cambridge. 502 p.

Sugden, D. E. y B. S. John (1976) Glaciers and Landscape. A Geomorphological Approach. Edward Arnold. 376 p.

Urrutia Fucugauchi J. y A. L. Martín del Pozzo (1993) *Implicaciones de los datos paleomagnéticos sobre la edad de la Sierra Chichinautzin, Cuenca de México*. Geofísica Internacional, vol 32, num 3, pp. 523-533.

Vázquez Sánchez E. y R. Jaimes Palomera (1989) *Geología de la Cuenca de México*. Geofísica Internacional, vol. 28, núm. 2, pp. 133- 160.

- Vázquez Selem, L. (1989) Geomorfología glacial y periglacial de volcán Téyotl. Tesis de maestría. FFyL, UNAM México. 155 p.
- Verstappen, H. y R. van Zuidam (1968) The ITC of Geomorphologic Survey, ITC Publication, 10. 89 p.
- White, S. E. (1962) *El Iztaccíhuatl: acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno Superior*. Serie Investigaciones 6. INAH, México. 80 p.
- White, S. E. (1978) *Acontecimientos glaciales y periglaciales en el Ajusco*. Boletín Instituto Nacional Antropología e Historia, época III, 22: 51-56. México.
- White, S. E. y S. Valastro, Jr. (1984) *Pleistocene Glaciation of Volcano Ajusco, Central Mexico, and Comparison with the Standard Mexican Glacial Sequence*. Quaternary Research, vol. 21, núm. 1, pp. 21-35.
- White, S. E., J. Ortega Ramírez, M. Reyes Cortés y S. Valastro, Jr. (1990) *El Ajusco: Geomorfología volcánica y acontecimientos glaciales durante el Pleistoceno Superior y comparación con las series glaciales mexicanas y las de las montañas rocallosas*. Colección Científica, Serie Arqueológica. INAH. 77 p.
- Yarza, L. E. (1948) Los volcanes de México. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. 187 p.
- Zamorano, J. J. y M. A. Ortiz (1993) *Algunas tendencias de la geomorfología actual*. Memoria del coloquio la Geografía Hoy. FFyL, UNAM, México. Pp. 39-44.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Bryan, K. (1948) *Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México en relación con los cambios climáticos*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, tomo XIII. México. Pp. 1-20
- Bullard, F. M. (1984) Volcanes of the Earth, 2 ed. University of Texas Press. 629 p.
- Cas, R. A. F. y J. V. Wright (1987) Volcanic Successions. Modern and Ancient. Chapman & Hall. 528 p.
- Casquet, J; J. Morales; M. Peinado; M. Prieto y A. Rivas (1981) La Tierra, planeta vivo. Col. Salvat. Barcelona. 64 p.

Claerk, M. J. (2º ed) (1988) Advances in Periglacial Geomorphology. John Wiley & Sons. 481 p.

Coque, R. (1977) Geomorfología. Alianza, Madrid. 475 p.

De Cserna, Z. (1968) Mexico City - its geological setting. *Geotimes*. Vol. 13, núm. 8, pp. 10-12.

Delgado Granados, H. (1985) *Los glaciares en México: una metodología para su estudio*. Geos Boletín: Unión Geofísica Mexicana, reunión anual, Núm. 3; SEP-Instituto tecnológico de Oaxaca, México.

Embleton, C. y Cuchlaine A. M. King (1968) Glacial and Periglacial Geomorphology. Edward Arnold LTD. 608 p.

Foucault, A. y J. F. Raoult (1985) Diccionario de geología. Masson. 316 p.

Francis, P. (1993). Volcanoes. A Planetary Perspective. Clarendon Press. 443 p.

García Arizaga, M. T. L. (1995) Origen y evolución de un deslizamiento de tierras en Metztlán, Hidalgo. Tesis de maestría. FFyL, UNAM, México. 138 p.

González Quintero L. (1974) El Pleistoceno en México. Apuntes para Arqueología 2, INAH, México. 28 p.

Heine, K. y H. Heide-Weise (1972) *Estratigrafía del Pleistoceno Reciente y del Holoceno en el Volcán de la Malinche y Región Circunvecina*. Comunicaciones: Proyecto Puebla-Tlaxcala 5, pp. 3-7. Fundación Alemana para la Investigación Científica, Puebla.

Heine, K. y H. Heide-Weise (1973) *Secuencia de erupciones en el volcán de la Malinche y en la sierra Nevada durante los últimos 40,000 años*. Comunicaciones: Proyecto Puebla-Tlaxcala 7 pp. 7-10. Fundación Alemana para la Investigación Científica, Puebla.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Guías para la interpretación de cartografía. Edafología. INEGI, 1981. 47 p.

Machatschek, F. (1969) Geomorphology. American Elsevier Publishing Company, inc., Stuttgart. 212 p.

Marsal, R. y M. Mazari (1959) El subsuelo de la ciudad de México. Tomo I. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

- McBirney, A. R. y H. Williams (1979) Vulcanology. Freeman, Cooper & Co. Pag. 397.
- Medina Martínez, F. (1997) Sismicidad y volcanismo en México. FCE. México. 106 p.
- Melo Gallegos, C. y O. Oropeza Orozco (1981) Vegetación de la Cuenca de México. Atlas de la Ciudad de México. Departamento del Distrito Federal. Pp. 22.
- Mooser, F. (1963) Historia tectónica de la cuenca de México. Boletín de la Asociación de Geólogos Petroleros. Vol. XV, Num. 11-12, pp. 239-245. México.
- Mooser, F. (1967) Tefracronología de la cuenca de México para los últimos 30,000 años. Boletín Instituto Nacional de Antropología e Historia 30: 12-15, INAH, México.
- Mooser, F. (1975) Historia geológica de la Cuenca de México. Memorias de las obras del drenaje profundo. Departamento del Distrito Federal. 30 p.
- Mooser, F. (1981) Geología de la Cuenca de México. Atlas de la Ciudad de México. Departamento del Distrito Federal. Pp. 16-17.
- Ollier, C. (1969) Volcanoes. The Mit Press. 177 p.
- Rodríguez, R. y C. Ochoa (1988) Estudio geoelectrico del sistema acuífero de la cuenca de México. Geofísica Internacional, vol. 28-2. Instituto de Geofísica, UNAM, México. Pp 191-205.
- Soto Mora, C. (1965) Vocabulario geomorfológico. Instituto de Geografía, UNAM, México. 202 p.
- Thornbury, W. (1959) (tr. 1960) Principios de geomorfología. Kapeluz, Buenos Aires. 62 p.
- Tricart, J. y A. Cailleux (1965) (tr. 1972) Introduction to Climatic Geomorphology. Longman, Londres. 295 p.
- Young, A. (1972) Slopes, Oliver & Boyd. Einburgh. 28 p.
- Zamorano, J. J. (1990) Análisis ingeniero-geomorfológico de la cuenca de México. Tesis de doctorado. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov, Moscú, URSS (en ruso).

CARTOGRAFÍA

CETENAL (1976) Carta edafológica, Milpa Alta, E14-A49. Escala 1:50 000.

CETENAL (1976) Carta uso del suelo y vegetación, Milpa Alta, E14-A49. Escala 1:50 000.

INEGI (1980) Carta de aguas superficiales, Ciudad de México, E14-2. Escala 1:250 000.

INEGI (1984) Carta geológica, Milpa Alta, E14-A49. Escala 1:50 000.

INEGI (1985) Carta de efectos climáticos regionales mayo-octubre, Ciudad de México. E14-2. Escala 1:250 000.

Tesorería del Distrito Federal (1985) Volcán Ajusco, E14A49-12. Carta urbana, 1:10 000.

Tesorería del Distrito Federal (1985) Volcán Malacatepetl, E14A49-22. Carta urbana 1:10 000.

FOTOGRAFÍAS AÉREAS

- Fotografías aéreas en blanco y negro, escala aproximada 1:20 000, de Struck Fotogramétrica, tomadas en 1996.

- Fotografías aéreas en blanco y negro, escala aproximada 1:30 000, de INEGI, tomadas en 1987.



ESCUELA DE FILOSOFÍA Y LETRAS
CARRERA DE GEOGRAFÍA