



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS



CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA DE LA ZONA COMPRENDIDA EN LA HOJA CIUDAD SAHAGUN, ESCALA 1:50 000

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFIA PRESENTA MIRIAM VÁZQUEZ CERÓN

ASESOR: DR. JOSE I. LUGO HUBP.

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F. SEPTIEMBRE 2001



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
SECRETARIA DE ACADÉMICOS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Quiero dedicar esta tesis a mi familia:

A mi Madre:

Ma. Del Carmen Inés Cerón. Por que para mi, eres un ejemplo de fortaleza. La persona que siempre recuerdo con cariño y admiración. Gracias por tu apoyo, pero sobre todo, por no dejarme sola.

A mis Hermanos:

Rodrigo y Roberto Vázquez Cerón. Porque ustedes pusieron el ejemplo y nunca permitieron que me quedara atrás.

A Mi tía:

Verónica Cerón Palacios. Por que tus consejos me ayudan a continuar en la vida. Ante toda adversidad lo único que queda es levantarse y disponer. Gracias

Y a ti nunca te olvidare †

A Todos ellos mii gracias.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas y cada una de las personas, que me han apoyado desinteresadamente, en mi formación personal y académica, porque esta tesis no hubiera sido posible sin su ayuda:

En primer lugar a mi asesor, el Dr. José I. Lugo Hubp por el interés y apoyo que me ha brindado para la realización de esta tesis. Y por su valiosa persona, Gracias.

A los sinodales:

Dr. José Juan Zamorano Orozco, por su atención que me brindo en la revisión, sus comentarios fueron de gran ayuda. Gracias.

Dr. Lorenzo Vázquez Selem, Dr. Arturo García Romero y Dra. Irasema Alcántara Ayala, por sus comentarios y observaciones en mi trabajo. Gracias.

Al Instituto de Geografía de la UNAM por permitirme el uso de sus instalaciones y equipo. A PROBETEL-UNAM, por el apoyo económico.

A las siguientes personas:

A mis tíos Josefina Cerón, Juan Carlos Marquez, por brindarme su apoyo y su casa, a Rosalía Cerón. Gracias

A *Teresa Verneth*, gran amiga. Al mejor amigo que pude tener *Bernardo Soto Ramos*. Al Lic. Ramón Rodríguez y Miguel A. Guillen, por compartir sus conocimientos y sus comentarios. A los compañeros del Colegio de Geografía, Fernando Ozuna, Hugo López, Guillermo Ugaide, Ausencio Villeda, David Vergara, Rene Ramos, Rodolfo Ruiz, Agustin Arellano, Susana Díaz, Veronica Ochoa, Miguel Ramirez , Jorge Mendoza, Paola Gonzalez grandes y valiosos amigos. A Nancy Barrios Mota, amiga de toda la vida.

A una persona muy especial *Victor Hugo Fernández López* por tu apoyo incondicional y por tus atenciones.

Finalmente, gracias a todas estas personas que ocupan un lugar importante en mi vida. Nuevamente gracias.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I Aspectos de cartografía geomorfológica	3
CAPITULO II Aspectos geográficos generales	12
2.1. Localización	12
2.2. Clima	13
2.2. Suelos	15
2.3. Vegetación y uso de suelo	18
2.4. Hidrografía	21
CAPITULO III Aspectos geológicos generales	24
3.1. Marco geológico regional: La Cuenca de México	24
3.2. Marco geológico local: La zona de estudio	31
CAPITULO IV Geomorfología	
4.1. Morfometría	46
4.1.1. Mapa altimétrico	46
4.1.2. Mapa de densidad de disección del relieve	48
4.1.3. Mapa de ordenes de corrientes	50
4.1.4. Mapa de profundidad de disección	51
4.1.5. Mapa de energía del relieve	53

4.2 MORFOGÉNESIS	56
I RELIEVE ENDÓGENO	57
1.1 Volcánico Acumulativo	57
1.1.1 Relieve volcánico-explosivo	57
II RELIEVE ENDOGENO VOLCANICO-MODELADO	79
2.1 Relieve volcánico erosivo	79
III RELIEVE EXOGENO	82
3.1 Relieve Acumulativo	82
3.2 Relieve denudatorio	86
CAPITULO V APLICACIONES	88
CONCLUSIONES	92
BIBLIOGRAFIA	94
CARTOGRAFIA	101

INTRODUCCION

La presente investigación forma parte del proyecto "Geomorfología Volcánica" del Instituto de Geografía de la UNAM. Uno de sus objetivos es realizar la cartografía geomorfológica a detalle de la cuenca de México. Esta investigación contribuye a esta tarea, elaborando un levantamiento cartográfico a detalle de las formas del relieve que están presentes en la hoja Ciudad Sahagún, escala 1:50 000, editada por INEGI (1996). El análisis de este documento se realiza con un criterio morfogenético. De esta manera, se llega a una clasificación donde se pone de manifiesto la actividad volcánica, las características estructurales y la dinámica de la formación de la superficie de este territorio, desde el Pleistoceno tardío hasta la fecha.

El objetivo central del presente trabajo es el mapa geomorfológico y su análisis. Para lograr esta meta fue necesario hacer de manera complementaria un análisis morfométrico, con el fin de identificar y caracterizar los procesos de modelado que definen la dinámica actual de la zona en estudio. Por último, es necesario hacer mención que los datos cartográficos han sido verificados en numerosas salidas a campo. De esta manera, ha quedado avalada toda la información que se presenta en este estudio.

La elaboración de la cartografía se realizó a partir de la interpretación de fotografías aéreas recientes (1996). Cabe mencionar que resultaron de gran ayuda los estudios geológicos para la zona; es por ello que además de estos enfoques, el análisis geomorfológico permite no solamente un mejor conocimiento de la zona, sino de la Cuenca de México, ya que complementa estudios del relieve de la misma.

La tesis consta de 5 capítulos. El primero, trata sobre aspectos básicos o generales de la cartografía geomorfológica. De igual manera, se define el

concepto de mapa geomorfológico, así como los conceptos teóricos metodológicos en que se fundamenta la clasificación del relieve.

El segundo capítulo corresponde a los aspectos geográficos de la zona en estudio: clima, suelo, hidrografía, vegetación y uso de suelo. Estos aspectos resultan de gran utilidad en la interpretación geomorfológica.

Los aspectos geológicos se analizan en el tercer capítulo, se hace una reseña de los diversos puntos de vista que tienen que ver con los diferentes tipos de roca y sus estructuras.

En el cuarto capítulo, se abordan los aspectos geomorfológicos y se divide en dos apartados. En el primero se analiza la morfometría del relieve a partir de la elaboración de los mapas: altimétrico, densidad de disección del relieve, órdenes de corrientes, profundidad de disección del relieve y energía del relieve. Todos ellos fueron elaborados con el objetivo de complementar la información del mapa geomorfológico. La interpretación de la cartografía geomorfológica corresponde a la segunda parte de este capítulo. El capítulo cinco trata de las posibles aplicaciones del trabajo.

CAPITULO I

1.1 ASPECTOS DE CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA

Desde épocas remotas el hombre observó los procesos que de alguna manera tienen que ver con la evolución de las formas del relieve. Los estudiosos de todas las épocas se han preocupado por la explicación de los fenómenos naturales en general. Sin embargo, es hasta fines del siglo XIX y principios del XX cuando los conocimientos del relieve comienzan a desarrollarse, y nace la geomorfología como ciencia.

En la actualidad existe una buena cantidad de libros sobre geomorfología, que como toda disciplina científica, ha evolucionado en varias direcciones. Por esto, su estudio requiere de un procedimiento racional: iniciar con el conocimiento de los principios básicos y de los métodos de trabajo en gabinete y campo, y continuar con la profundización en uno o más temas relacionados con ella (Lugo, 1991).

La geomorfología como ciencia, tiene por objeto, el estudio de las formas terrestres (relieve) y su explicación en función de su origen, en concreto, estudia los procesos de desarrollo de las formas del relieve terrestre. Al relieve terrestre se le puede definir como el conjunto de formas debidas a la interacción de procesos endógenos y exógenos (Córdova, *op. cit.*).

Los procesos endógenos dan origen al relieve como producto de las fuerzas que se generan en el interior de la Tierra. Dichas fuerzas afectan a la superficie de la misma por levantamientos y hundimientos. Los procesos exógenos son los encargados de modelar a aquellas formas que fueron construidas por los procesos endógenos. Además de que la geomorfología involucra a estos dos procesos, que crean el relieve, incluye de manera muy importante, aspectos concernientes a diferentes ciencias, como la Geografía y la Geología, que se consideran las ciencias madre del conocimiento geomorfológico.

Lugo (*op.cit.*) define los objetivos fundamentales de la geomorfología para realizar un análisis del relieve:

1. - El conocimiento de la superficie terrestre en su totalidad o en porciones, de los tamaños más diversos.
2. - Las clasificaciones del relieve en formas definidas por los procesos que les dieron origen (tectonismo, volcanismo, erosión, acumulación).
3. - La determinación de la edad, absoluta o relativa, de las formas del relieve.
4. - El estudio de la historia del desarrollo del relieve.
5. - El conocimiento de los procesos actuales que modifican la superficie terrestre (exógenos y endógenos).

La geomorfología tiene cada vez más aplicaciones en la actividad humana, debido a que sobre el relieve está asentado el hombre. Asimismo, aportar las bases para la planeación, la prevención de riesgos naturales, etc., orientaciones de la geomorfología que se han convertido en verdaderas ramas de especialización: el estudio del relieve y los procesos del fondo oceánico, erosión de suelos, geomorfología y ecología, teoría e historia de la geomorfología, vulcanismo, geomorfología aplicada con fines específicos, la propia cartografía geomorfológica, que en este estudio es el tema de interés.

En geomorfología, como en otras ciencias de la Tierra, la cartografía es imprescindible para dejar clara y concreta la distribución y configuración especial que presenta sobre el terreno los elementos más significativos que definen el relieve. Ese vehículo de expresión gráfica es el mapa geomorfológico (Peña, 1997). Su importancia científica radica en que presenta una imagen precisa del relieve en relación con los procesos dinámicos que permiten entender la influencia de las fuerzas endógenas y exógenas así como la distribución y origen de las formas de este.

Un mapa geomorfológico es importante para la planificación del territorio, porque contiene la información necesaria para la elaboración de cartografía aplicada mediante la combinación con variables cartográficas del ambiente, tanto físico como humano, sobre un espacio determinado en función de las necesidades concretas de aplicación.

Peña (*op.cit.*) menciona que a pesar de la reciente concepción y desarrollo de la cartografía geomorfológica, existen visiones muy diferentes acerca de lo que debe entenderse por mapa geomorfológico, incluyendo decisivamente en esta amplia variabilidad la especialización formativa de los autores y la aplicación concreta a la que se destina la cartografía.

El mapa geomorfológico se define entonces, como un documento gráfico en el que están representadas de forma sintética, todas las formas del relieve de una determinada región. Tiene como fin incluir la representación de las formas del relieve de modo individual o en unidades territoriales, la génesis de los procesos, la evolución de las formas y el grado de equilibrio dinámico.

La representación se hace a una escala adecuada con la textura del relieve y con la finalidad concreta de representación, siguiendo una metodología propia o normas generales. A pesar de la gran diversidad de métodos y escuelas de cartografía geomorfológica, queda claro que un mapa geomorfológico debe contener una serie de elementos básicos: información topográfica, información hidrológica, datos geológicos, morfometría, morfografía, morfogénesis y morfodinámica.

En la actualidad existen gran cantidad de mapas geomorfológicos que se clasifican de acuerdo con la escala, el contenido, métodos y técnicas de elaboración que dependen de la aplicación que se le dé al mapa (Córdova, *op. cit.*). En relación a esto, se presentan a continuación diferentes criterios que atienden algunos autores para la clasificación de dichos mapas.

Una forma de clasificar a los mapas geomorfológicos es en generales y especiales. Los mapas geomorfológicos generales cubren la mayor parte de las características básicas del relieve, es decir, su morfología, génesis y edad del mismo. En cuanto a los mapas geomorfológicos especiales, estos presentan un punto básico como la pendiente, la densidad de disección, profundidad de disección entre otros (Córdova, 1988).

Para Jean Tricart y Jean Killian (1982) el mapa geomorfológico debe contener información sobre los siguientes aspectos:

- Geometría de las formas del relieve, expuesta por el fondo topográfico, pero incluso en tal caso, éste no siempre es satisfactorio, por lo que debe ser completado. Se incorporan así al mapa geomorfológico unos datos morfográficos (cualitativos) y morfométricos (cuantitativos).
- Naturaleza de las formas, donde intervienen los procesos que la modelan.
- Edad de las formas, donde se debe tomar en cuenta la morfogénesis, teniendo en cuenta las oscilaciones climáticas.
- Naturaleza del material, formaciones superficiales y sustrato próximo del afloramiento.

Según Peña (*op.cit.*) se pueden diferenciar mapas geomorfológicos generales y mapas geomorfológicos parciales. Ambos incluyen morfografía, morfometría, génesis y edad del relieve, aunque los segundos abarcan sólo una selección de las características del relieve o formas. Los mapas generales se consideran así, mapas de síntesis, pues incluyen todo el conjunto de elementos posibles sobre el mapa.

Otra clasificación puede hacerse según el grado de aplicación que pretenda darse a los mapas. Por una parte están los mapas geomorfológicos básicos, para la investigación pura geomorfológica y por otro, los mapas geomorfológicos aplicados para centrarse en aspectos desde el punto de su aplicación.

Finalmente, los mapas geomorfológicos especiales se componen de información seleccionada y simplificada, por lo que sirve para ser utilizados por otras disciplinas.

Los mapas que proceden de la reelaboración de un mapa básico se denominan mapas derivados. Los mapas aplicados y derivados pueden estar destinados a una función científica, o para la utilización práctica en la resolución de un problema con fines didácticos.

Se ha mencionado que una representación cartográfica depende del tipo de escala y ésta se define de acuerdo con los objetivos y problemas que se traten, entonces, los mapas geomorfológicos además de clasificarse por su escala, se pueden clasificar por el tipo de información que contienen.

Por la escala, los mapas geomorfológicos reciben diferentes denominaciones. Hay una clasificación establecida por la comisión del mapa geomorfológico de la Unión Geográfica Internacional (Fig.1). En relación a esta clasificación el mapa geomorfológico que se realiza se encuentra dentro de los mapas a gran escala que se denomina mapa geomorfológico detallado. Se utilizó esta escala porque la base topográfica existe a 1:50,000 además de que las características del terreno pueden ser adecuadamente representadas en la misma.

Verstapen y Van Zuidam (1968) proponen una clasificación de los mapas geomorfológicos:

Mapas geomorfológicos analíticos, son el resultado de profundos estudios geomorfológicos monodisciplinarios, y proporcionan información sobre las formas del relieve y procesos, destacando la morfogénesis y la morfocronología, pero también incluyen datos sobre litología y morfoestructuras.

Mapas geomorfológicos sintéticos, son el producto de estudios vinculados a las relaciones ambientales, entre la expresión del terreno y otros factores del paisaje,

DENOMINACIÓN DE LOS MAPAS		ESCALA
GRAN ESCALA	Planos geomorfológicos	1:10,000 y mayores
	Mapas geomorfológicos básicos	1:10,000/1:25,000
	Mapas geomorfológicos detallados	1:25,000/1 100, 000
ESCALA MEDIANA	Mapas geomorfológicos sinópticos de escala media	1:100, 000/1:500, 000
	Mapas geomorfológicos sinópticos de pequeña escala	1:500, 000/1:1, 000,000
PEQUEÑA ESCALA	Mapas geomorfológicos de países	1:1, 000, 000/1:5, 000,000
	Mapas geomorfológicos de continentes	1:1, 000,000/1:30, 000,000
	Mapas geomorfológicos del mundo	1:30, 000,000 y menores

FIGURA 1. Denominaciones de los mapas geomorfológicos a diferentes escalas, según Dumitrashko y Scholz, 1988 (en Peña, *op. cit.*).

tales como clima, relieve, litología, suelo, hidrología y vegetación. El análisis geomorfológico del terreno es realizado en el contexto de una síntesis del paisaje y para el uso de levantamientos multidisciplinarios del terreno.

Mapas geomorfológicos pragmáticos, son el resultado de investigaciones geomorfológicas que están guiadas desde el principio por un propósito específico, frecuentemente en el contexto de un proyecto de planificación de desarrollo. Tanto

el contenido del mapa, como la leyenda, son entonces diseñados usando los datos analíticos y sintéticos.

Atendiendo a esta última clasificación, el mapa geomorfológico que se presenta en este estudio, se encuentra dentro de los mapas geomofológicos analíticos ya que incluye información sobre las formas de relieve y procesos destacando en ellos básicamente la morfogénesis.

Otra clasificación más de los mapas geomorfológicos de acuerdo con Joly (1979) y Spiridinov (1981), es en mapas analíticos y sintéticos, donde los primeros representan un fenómeno en relación con el espacio geográfico, como son su posición, su altitud y orientación, como ejemplo preciso de este tipo de mapa tenemos el mapa topográfico. En cuanto a los segundos son más complejos, por que se trata de mapas explicativos que contienen la información de varios mapas analíticos, de lo que resultan los mapas de correlación que se enriquecen cuando se utilizan fotografías aéreas, imágenes de satélite e información directa en campo, porque reúnen en un mismo fondo diferentes variables del relieve, y cuyas relaciones se requieren explicar, además de que resultan cualidades que presentan los mapas geomorfológicos detallados.

Una forma de facilitar el estudio del relieve terrestre, de acuerdo con Lugo (1989) es en la cuantitativa, que consiste en mediciones realizadas a partir del mapa topográfico o mediciones hechas directas en campo. El análisis del relieve terrestre se basa en su semejanza con modelos geométricos (morfología) y en la valoración de ciertos elementos del relieve (morfometría). Dichos elementos cuantificables del relieve son la longitud, superficie, volumen altura absoluta relativa, pendiente y algunos otros parámetros numéricos que tienen variables complejas que al combinarse entre sí permiten la elaboración de mapas como el altimétrico, densidad de disección, ordenes de corrientes, profundidad de disección, energía del relieve etc.

El análisis cualitativo presenta en el mapa la génesis de las formas del relieve, elemento principal contenido en los mapas geomorfológicos detallados. Las formas del relieve se clasifican de acuerdo con las fuerzas que las generaron, así como los procesos geomorfológicos.

En concreto, el propósito de este levantamiento geomorfológico es proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno y los procesos geomorfológicos. El mapa elaborado no solamente es un documento científico en sí mismo, sino que también es una valiosa herramienta en estudios de recursos naturales, debido a las relaciones entre las características geomorfológicas del terreno y otros factores ambientales.

El presente trabajo se centra en una cartografía geomorfológica detallada, que contribuya al conocimiento del medio geográfico de la zona comprendida en la carta Ciudad Sahagún, escala 1:50,000, identificando y clasificando las formas del relieve de acuerdo con su génesis, evolución y dinámica actual. Tomando en cuenta los objetivos fundamentales de la geomorfología para realizar este estudio, la metodología a seguir consiste en un análisis morfológico (cualitativo) y morfométrico (cuantitativo) de las formas del relieve. Las herramientas básicas para su elaboración, son mapas topográficos, fotografías aéreas, así como el trabajo de campo, elementos indispensables para obtener resultados adecuados. La geomorfología tiene hoy en día, una gran cantidad de métodos para estudiar el relieve, por lo que es posible caracterizarla como una ciencia independiente sin perder su carácter geográfico y geológico.

Basándose en Lugo (1986), para llevar a cabo un trabajo de cartografía geomorfológica de este tipo y a cualquier escala, el método a seguir es sencillo ya que es un procedimiento lógico aceptado por la mayoría de los geomorfólogos. Las etapas son las siguientes:

1. - Localización regional. Situar la zona a estudiar en una superficie amplia definida por sus características geológico-geomorfológicas.

2. - Análisis morfológico general. Reconocer básicamente la topografía de la región (zona): montañas, lomeríos, piedemontes y planicies.
3. - Reconocimiento de la génesis del relieve. Consiste en interpretar el origen del relieve a través de algunas herramientas básicas para su análisis, tanto de cartas topográficas y geológicas como de fotografías aéreas.
4. - Reconocimiento de la edad del relieve y de su evolución. Surge a partir de un análisis de las formas del relieve y de la edad de la roca que lo compone.
5. - Reconocimiento de la dimensión del relieve. Básicamente es reconocer las alturas de las elevaciones, anchura y longitud de las formas.
6. - La comparación con datos morfométricos. Consiste en la elaboración previa de cartas morfométricas para compararlas con las unidades del relieve de la zona en estudio.

CAPITULO II ASPECTOS GEOGRÁFICOS GENERALES

2.1 LOCALIZACIÓN

El área en estudio se localiza a aproximadamente 80 km. al noreste de la Ciudad de México, queda comprendida dentro de una porción de la Cuenca de México (Fig. 2). Según INEGI (1992) el área, forma parte de la subprovincia Lagos y volcanes de Anáhuac, la cual pertenece a la provincia fisiográfica denominada Sistema Volcánico Transversal (SVT).

La zona en estudio comprende en su totalidad la hoja Ciudad Sahagún, escala 1:50,000 (E14-B12), con una superficie aproximada de 1000 Km², abarcando casi en su totalidad el Estado de México y una pequeña porción del Estado de Hidalgo. Tiene como coordenadas extremas los paralelos 19° 45' y 20° 00' de latitud norte y los meridianos 98° 20' y 98° 40' de longitud oeste (Fig. 3).

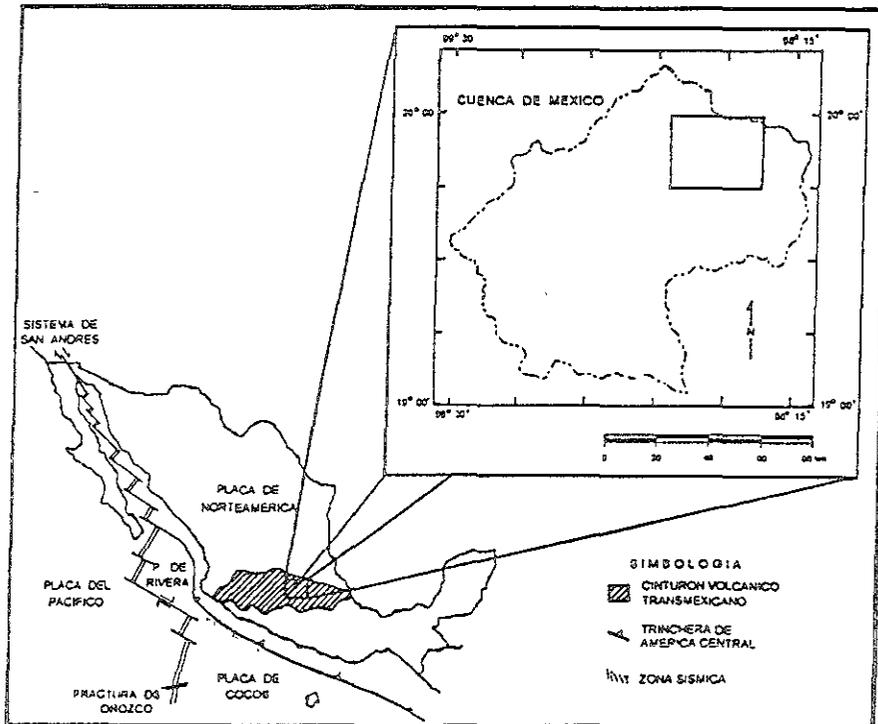
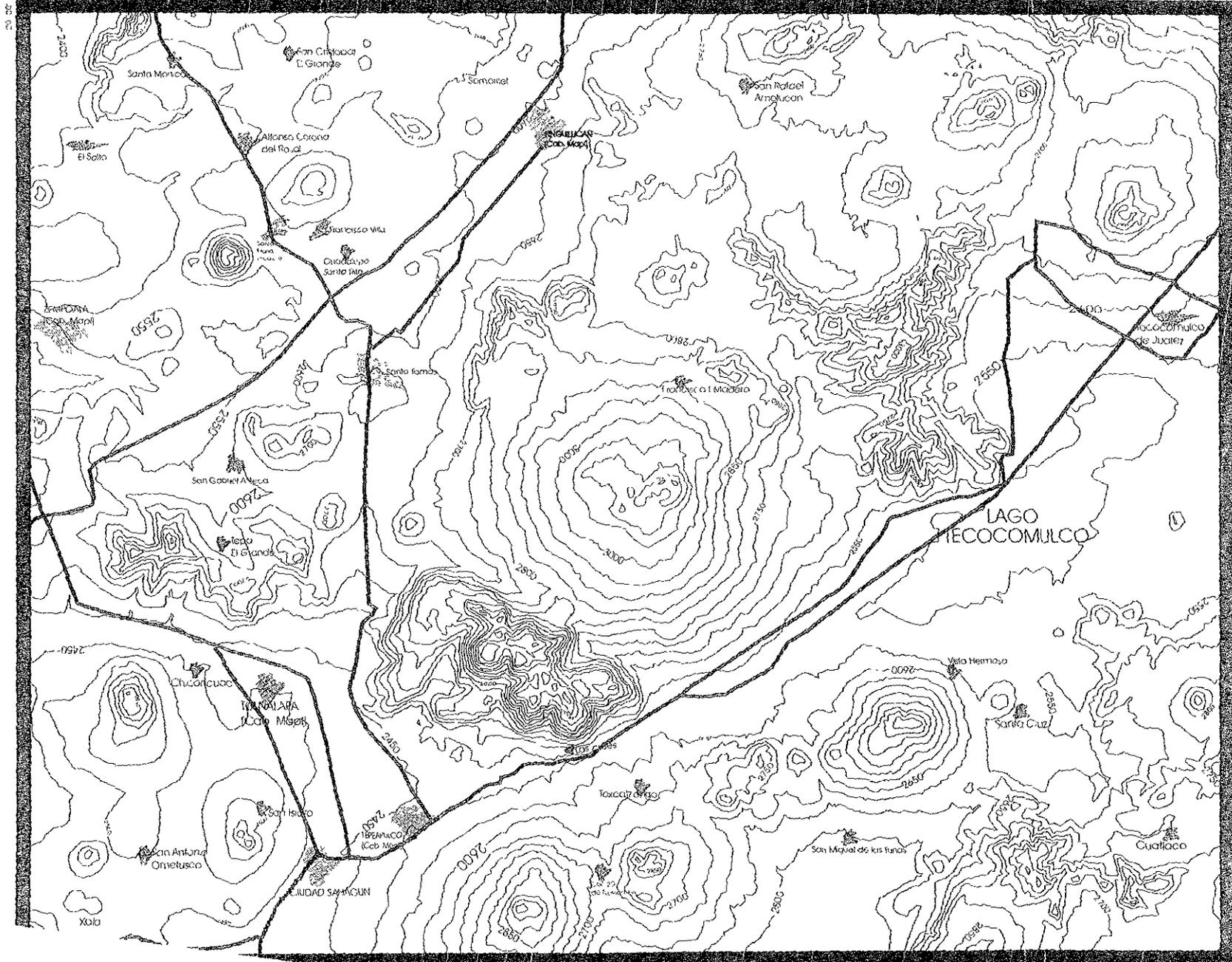


FIGURA 2. Localización del área de estudio, al noreste de la Cuenca de México.



CARTA TOPOGR.
CIUDAD SAHAGÚN

- POBLACIONES (Cab Mpal)
- Principales vías de comunicación
- Cuerpo de agua
- Curva de nivel en metros

Fuente: Carta Topográfica E 14.B12 "Ciudad Sahagún" INEGI 1995

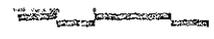


FIGURA 3 Localización geográfica del área de estudio

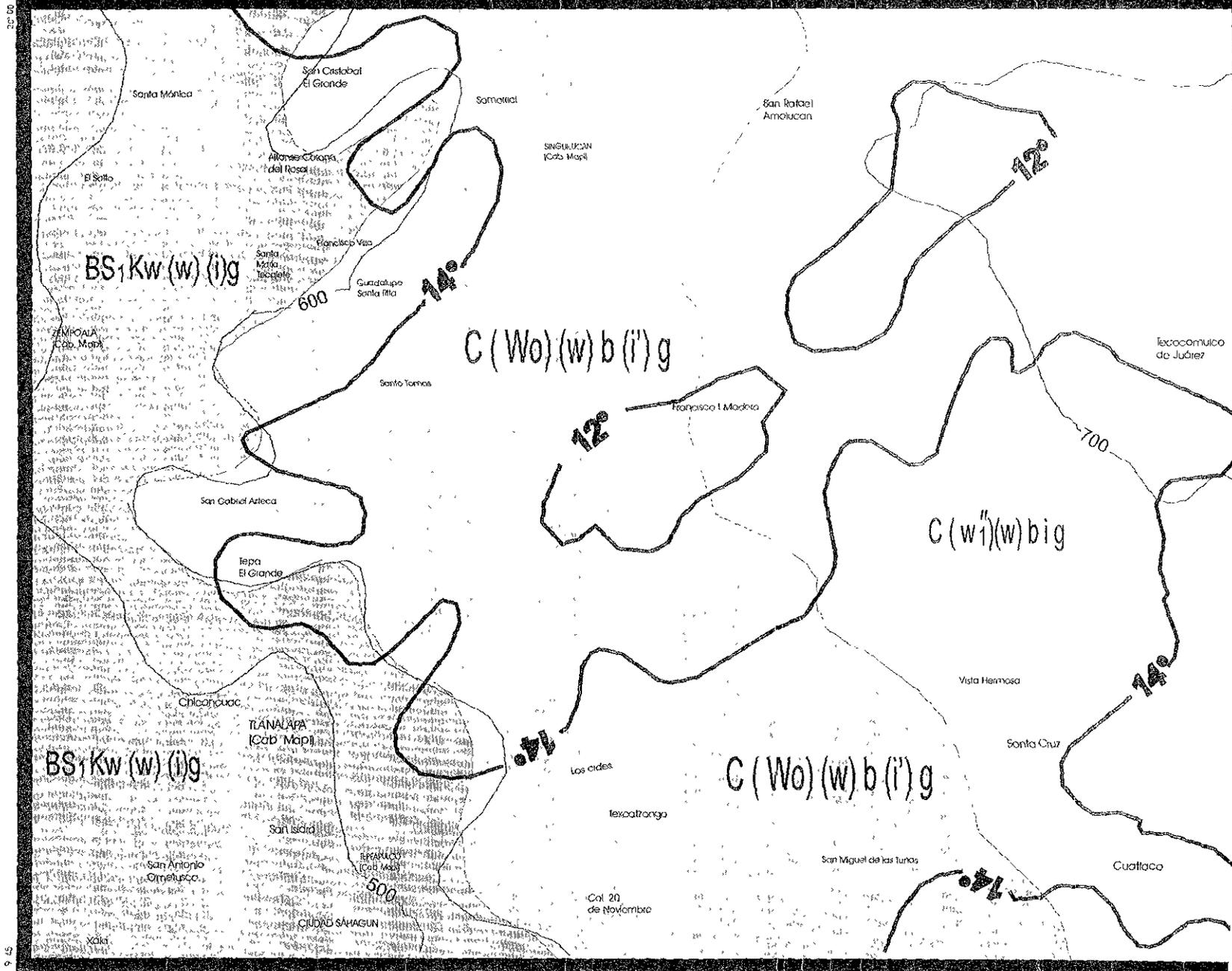
2.2 CLIMA

Para establecer los tipos de clima de alguna zona, es indispensable tomar en cuenta datos de temperatura y precipitación, parámetros que para lograr el objetivo del presente trabajo son necesarios, ya que sin lugar a duda intervienen de manera continua en la transformación del relieve.

De manera general, las mayores temperaturas medias anuales se presentan en gran parte del área en estudio, con valores mayores de 14° C. Las temperaturas disminuyen en los puntos de mayor altitud, hasta alcanzar valores mínimos entre los 8° y 12° de menor altura (Fig. 4). Los meses más fríos son diciembre, enero y febrero, mientras que los más calurosos son de mayo a agosto. La precipitación media anual es superior a los 500 mm.

La interposición del relieve, en el área de estudio, a los vientos dominantes del Golfo de México provocan la existencia de unas áreas más húmedas que otras. Algunas estructuras volcánicas de mayor altitud como el volcán la Paila, Coatzacoatzengo, El Seco, la caldera de Chichicauautla, el volcán Viejo de Tultengo, el Toronjil, el Santa Ana, el Peñitas sirven como barrera orográfica a los vientos provenientes del Golfo, siendo así la parte centro y oriental del área en estudio la más lluviosa. Los vientos que provienen del Golfo chocan con estas primeras estructuras y ascienden, de manera que se enfrían adiabáticamente y condensan su humedad formando gran cantidad de nubes que originan considerables precipitaciones, convirtiéndose en una de las zonas que presentan más humedad. Los vientos siguen avanzando con menos humedad, y al no encontrarse con estructuras volcánicas de mayor altitud, siguen su curso, dejando una zona de climas semisecos.

Tomando en cuenta estos parámetros y siguiendo la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), la distribución de climas en el área en estudio es la siguiente:



El área presenta básicamente tres tipos de climas que se distribuyen en franjas paralelas verticales en dirección noreste. En la primera franja, donde se localizan algunas poblaciones: Santa Mónica, Zempoala, Tlanalapa, Cd. Sahagún, los climas son $BS_1 Kw(w) (i) g$, semiseco templado con régimen de lluvias en verano. En el clima semiseco, las mayores temperaturas medias anuales presentan valores alrededor de los 17.5° y $13.2^\circ C$, donde los meses más fríos son enero y febrero, con temperaturas de 6.3° a $15^\circ C$, mientras que los más calurosos son de mayo a agosto con temperatura media anual que varía de los 19.0° a $19.5^\circ C$. Se calcula que la precipitación media es entre 524.3 y 539.5 mm, donde el régimen de lluvias mínimas inferiores, 15.0 mm, se presentan en los meses de noviembre a marzo y las mayores de 66.4 a 105.8 mm de mayo a agosto (E.García, 1998).

Al centro de la hoja se distribuye en dirección norte-sur, sobre el volcán de mayor extensión "La Paila", el clima $C(W_0) (W)b (i) g$: templado subhúmedo con lluvias en verano, que corresponde al clima más seco de los templados subhúmedos. El clima $C(W_1) (w) b i g$, también con la característica de ser un clima templado, con lluvias en verano, pero intermedio con el anterior en cuanto a humedad, se distribuye sobre las zonas que rodean la laguna de Tecocomulco.

En los climas templados, las mayores temperaturas medias anuales varían entre los 6.5° y $22^\circ C$, donde los meses más fríos son diciembre y enero, mientras que los más calientes son de mayo a julio. El régimen de lluvias es aproximado a 585.7 mm anuales, las mínimas, inferiores a 24.5 mm, se presentan en los meses de noviembre a febrero, y las mayores, de 101.0m a 107.1mm, de junio a septiembre en cada uno (E. García, *op cit.*).

De manera general, en el área se distinguen dos zonas climáticas: una de clima semiseco y otras dos de climas templados, estos últimos con características diferentes en cuanto a humedad, ya que las condiciones están influenciadas por los vientos provenientes del Golfo. Además, la relación que guarda el clima con las

formas del relieve y el hecho de que se presenten de manera general estas condiciones climáticas esta dada por las diferencias altitudinales.

2.3 SUELOS

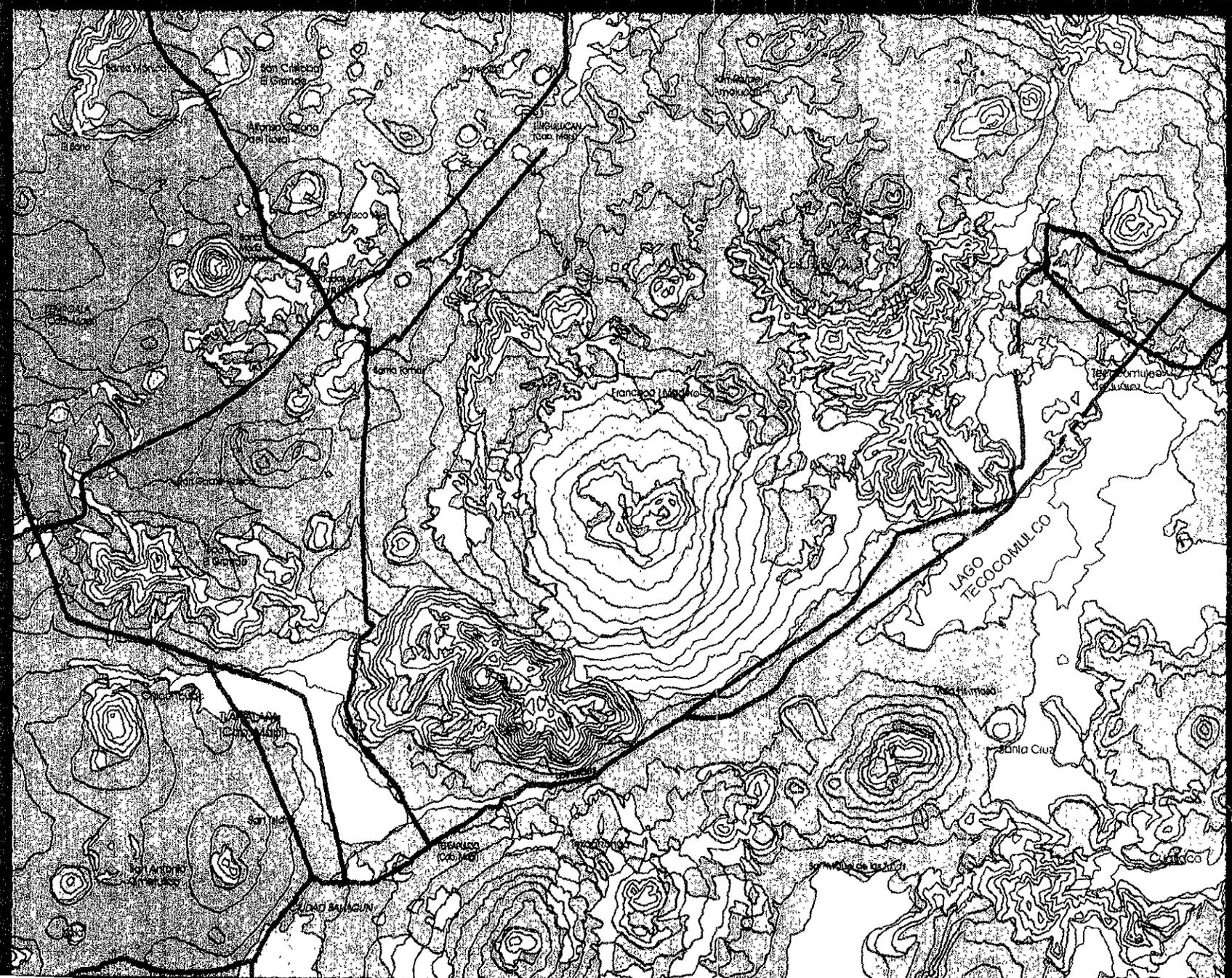
En referencia a la edafología de la zona en estudio, se encuentran diferentes tipos de suelos clasificados por su génesis. Se describe la de la carta temática edafológica de la hoja "Ciudad Sahagún", escala 1:50 000 editada por SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1982) (Fig.5).

En la zona las rocas volcánicas del Terciario superior y el Cuaternario (basaltos, volcanoclásticas y tobas andesíticas) y los climas templados subhúmedos y semisecos, han dado lugar a la formación de suelos que es la capa más superficial, donde se manifiestan los procesos geomórfológicos. Los tipos de suelo que destacan son:

1. Feozem háplico (H)

Se le encuentra en diferentes condiciones climáticas, como pueden ser zonas semiáridas, templadas o tropicales muy lluviosas y en diferentes tipos de pendientes del terreno, ya sea plano o montañoso. Se caracteriza principalmente por una capa superior oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes. Está limitado por una fase dúrica (tepetate) y se dedica a la agricultura de temporal.

Este tipo de suelo abarca casi un 60% del área en estudio. Se desarrollan en áreas de poca pendiente, básicamente sobre el piedemonte volcánico y en algunos casos en la zona montañosa. Por su génesis los suelos de este tipo que presentan mayor desarrollo se encuentran en áreas de origen aluvial, lo que explica su origen, mientras que los menos desarrollados se presentan sobre las formas volcánicas de tipo acumulativo, y que por la edad relativamente reciente que presentan no tienen gran desarrollo.



2. Cambisoles (B)

Un tipo de suelo cambisol es el húmico (h). Ocupan el NE del área en estudio y segundos en importancia por el espacio donde se desarrollan, se alternan con vertisoles y litosoles. Estos suelos por ser jóvenes y poco desarrollados se presentan en cualquier clima, excepto en zonas áridas. Para este caso, se desarrollan en zonas húmedas y sustentan bosques de encino, pino y encino-pino, vegetación que al incorporarse al suelo lo dota de una capa superficial de color oscuro o negro, rico en materia orgánica. Estos suelos también se asocian a formas del relieve del tipo volcánico acumulativo, como los derrames de lava y el piedemonte volcánico del volcán Coatzetzengo, el volcán la Paila, el Tiololo y el Seco. Además de su edad, son suelos que se encuentran poco desarrollados por presentar una fase lítica. Otro tipo de suelo cambisol es el eútrico (e) también suelos jóvenes, de color claro, cuyo desarrollo es moderado y bajo en materia orgánica. Se asocian a formas de relieve de menor pendiente, para el caso específico del área en estudio se localizan en las partes del piedemonte volcánico del volcán Viejo de Tultengo.

3. Vertisoles (V)

Son suelos que se caracterizan principalmente por las grietas anchas y profundas que aparecen en ellos durante la época de sequía. Son suelos muy arcillosos, pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando están secos. Por lo regular su color es negro, café o gris.

La utilización agrícola que se le da es extensiva, además de ser muy fértiles presentan problemas durante su manejo a causa de inundaciones y mal drenaje; lo que ocasiona que al evaporarse el agua los suelos se vuelven salinos. Por su posición tienen una baja susceptibilidad a erosionarse. Este suelo es representativo de las zonas planas, se encuentran sobre todo en lo que es la planicie central donde el material acumulativo proveniente de las estructuras volcánicas, así como de la constante sedimentación favorece su desarrollo. En algunas áreas del piedemonte volcánico del C. La Paila existe también la

presencia de este tipo de suelo, pero a diferencia del anterior, este presenta propiedades físicas que corresponden a fases líticas. También se localizan vertisoles pélicos en fase lítica, en gran parte del piedemonte del Cerro La Paila. En zonas donde no se les aprovecha, la vegetación original es de matorral.

4. Litosoles (L)

Son suelos jóvenes con una profundidad menor a 10 cm. Dependiendo del material formador puede ser fértil o no, arenoso o arcilloso. Su susceptibilidad a erosionarse depende de la pendiente donde se encuentra. La vegetación natural que lo cubre tiene limitantes de desarrollo por su poco espesor, y son muy parecidos al material parental que les da origen. Se le utiliza para el pastoreo de ganado bovino y caprino; la vegetación principal consiste en matorral y en las cimas de las montañas hay bosque.

Para el caso concreto del área en estudio, este tipo de suelo se asocia a los derrames de lava más antiguos, así como a las laderas de los grupos volcánicos del Neógeno. Ambas formas se encuentran erosionadas. Sin embargo, las fuertes pendientes que presentan, favorecen más los procesos erosivos que los acumulativos, y por lo tanto, el desarrollo del suelo es incipiente.

5. Regosoles (R)

Se caracterizan por no presentar horizontes. En general son de color claro, con parecido a la roca que los subyace y de la cual se origina. En pequeñas porciones que ocupan la parte alta e intermedia del C. La Paila y algunas elevaciones volcánicas más, de edad cuaternaria, se encuentra suelo del tipo regosol (Fig. 5). Se encuentran con los litosoles o en afloramientos de roca o tepetate. Son someros, de fertilidad variable y su utilidad esta condicionada por la profundidad. En esta zona se le da uso ganadero, también se le combina con matorral y bosque. Este tipo de suelo tiene una alta susceptibilidad a erosionarse debido a la fuerte pendiente donde se localizan. Son suelos que no están desarrollados.

El desarrollo de los suelos es marcado por los cambios de pendiente de las formas, así como la edad de las mismas. Generalmente en el área de estudio y de acuerdo con las diferentes zonas morfológicas, corresponde a un tipo de suelo que presenta diferentes fases de desarrollo. La susceptibilidad de los suelos a erosionarse es alta cuando se presentan fuertes pendientes, por lo que permite poco desarrollo del mismo, en cambio, en algunas partes, principalmente en las zonas de piedemonte volcánico con menor pendiente, así como la planicie, se encuentra cubierta por suelos bien desarrollados, propicios para cultivos de temporal. La alteración de este elemento geográfico representa cambios en el relieve, principalmente por la susceptibilidad que puedan tener las formas a ser erosionadas.

2.4 VEGETACIÓN Y USO DE SUELO

Esta información se obtuvo de la hoja "Ciudad de México" de uso de suelo y vegetación, escala 1: 250 000, editada por la Secretaría de Programación y Presupuesto (1986).

El área en estudio sustenta diferentes tipos de vegetación (Fig. 6). La vegetación y uso de suelo son elementos relacionados con la edafología de la zona. Hay suelos feozem háplico que se usan para la agricultura de temporal en la mayor parte de la zona, en terrenos que dependen del agua de lluvia y se siembran en un 80%. Ocupan la mayor parte de las zonas de poca pendiente que corresponde al piedemonte así como en la planicie central.

Aunque en pequeñas porciones de suelo existe un predominio de pastizal inducido que surge espontáneamente al ser eliminada la vegetación original, básicamente el pastizal inducido está constituido por especies gramíneas, entre ellas el pasto *Hilaria cenchroides*; y se localiza principalmente en las partes de menor pendiente, así como en las partes planas, esto es en los alrededores de Cd. Sahagún, Tepeapulco, Singuilucan, Tecocomulco, Apan, Zempoala y Tlanalapa.

Otro tipo de vegetación que se encuentra en la zona es el matorral *Crasicaule* consistente en nopal silvestre (*Opuntia*), huizache y acacia. Se desarrollan alrededor de los 2500 msnm. En áreas del piedemonte volcánico donde el régimen de lluvia es muy escaso. además, esta vegetación está sostenida por suelos poco profundos, como regosoies y litosoies. Se distribuye al norte de Tepeapulco (sierra de laderas abruptas) y en los alrededores de Tlanalapa y Zempoala (conos volcánicos de poca altura).

Hay también algunas áreas donde se distribuye bosque de encino, aunque también se encuentra en menor proporción el bosque de pino. Se distribuyen en pequeños manchones, principalmente en los alrededores de Tecocomulco, Ciudad Sahagún y Singuilucan, en áreas donde las estructuras volcánicas empiezan a presentar más pendiente sin embargo, es importante mencionar que esta vegetación se alterna con vegetación secundaria. Esto es porque se originó al ser eliminada la vegetación original y al ser desmontadas las zonas para diferentes usos.

También se encuentra, aunque en menor proporción, el llamado bosque de encino-pino (*Quercus*) que se distribuye principalmente al sur de Singuilucan, donde se localiza un sistema montañoso que presenta fuertes pendientes y que corresponden a una de las áreas de mayor altitud, entre los 1000 y 2800 metros.

Se desarrolla bosque de Táscate en las cimas de las estructuras redondeadas ubicadas al sur del lago de Tecocomulco. Este bosque está constituido por especies de sabino (*Juniperus sp.*) principalmente, y se encuentra intercalado con especies de *Quercus* y se desarrolla en climas templados y sobre litosoies y feozem.

Es importante destacar que existen algunas zonas ya erosionadas por el desgaste del suelo, causada por la acción del viento. Esta erosión predomina más

entre Tepeapuico y Tlanalapa; principalmente al sur de la zona en estudio en la estructura volcánica denominada Santa Ana.

Hasta este punto la relación que guardan los aspectos clima-suelo-vegetación, de manera general, es marcado principalmente por los cambios altitudinales. Las estructuras volcánicas de mayor altitud y de mayor pendiente presentan suelos someros y pedregosos, con mayor susceptibilidad a la erosión. Sustentan vegetación de bosque, y corresponden a las zonas más húmedas del área. Sin embargo, la deforestación ha acelerado la erosión, por lo que estas estructuras presentan mayor destrucción. Las partes de las laderas de menor altitud modeladas por erosión y donde se distribuye un clima menos húmedo, se encuentran suelos un poco más desarrollados, cubiertos por vegetación de matorral crasicaule. Por otro lado, en las partes bajas correspondientes a la planicie y al piedemonte, se practica agricultura de temporal, sostenida por suelos más desarrollados.

Con relación al uso del suelo, hasta antes de 1950, la población del área en estudio era totalmente rural donde las actividades imperantes eran la agricultura y la ganadería. Sin embargo, con las políticas de industrialización fuera de la Ciudad de México, entre 1951 y 1952 se inicia la construcción del complejo industrial Ciudad Sahagún, compañías como DINA (Diésel Nacional) y CNCF (Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril) absorbieron parte de la población por este tipo de industria al surgir nuevos empleos (Cruz, 1974).

Actualmente el uso de suelo es principalmente agropecuario en la planicie, y en partes del piedemonte se dedica a la agricultura de temporal, en las inmediaciones de la laguna se practica agricultura de riego, según las observaciones en campo, los principales cultivos agrícolas son: cebada (*Hordeum vulgare*) (cultivo que ha aumentado considerablemente en las últimas décadas con respecto a otros), maíz (*Zea Mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum*), papa (*Solanum tuberosum*) y algunos más.

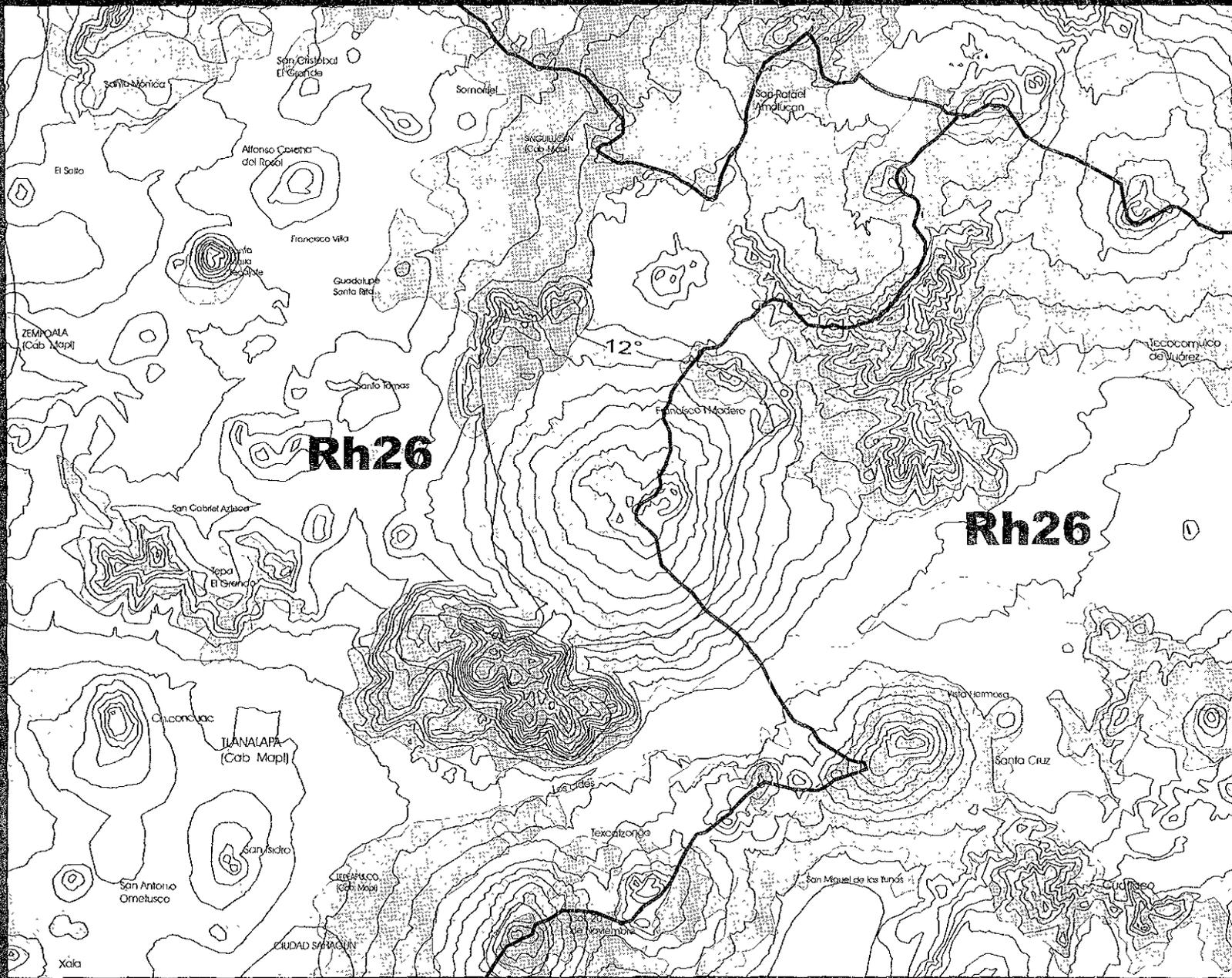
La ganadería, en orden de importancia es: ovinos, caprinos, bovinos, porcinos, caballar, asnar y mular. En los terrenos agrícolas de temporal y riego se realiza pastoreo de rastrajo (resto de cultivos y de hierbas); en el matorral, durante todo el año se realiza pastoreo de ganado ovino y caprino principalmente.

En cuanto al modo de vida de la población y su evolución social, claramente está representado en el área; cuando la principal bebida era el pulque, gran parte de la zona se dedicaba al cultivo de maguey, con el paso de los años el hábito cambió y hoy en día la cerveza ocupa un mejor lugar como bebida. Quizá esta última razón, puede ser una de las causas del actual modelado de la zona, por que cuando el pulque pierde su mercado, las plantaciones se abandonan o se cambia de cultivo. En el caso de la planicie se cultiva maíz y cebada, mientras que el maguey que se produce en el piedemonte y zona montañosa en la actualidad ya no se le tiene cuidado y es presa fácil de quienes rompen y pelean su penca, en busca de gusanos y mixiote. Lo anterior desencadenó sin lugar a duda, el rápido avance de la erosión en buena parte del área.

2.5 HIDROLOGÍA

La información sobre hidrología de la zona de estudio ha sido obtenida de la hoja hidrología aguas superficiales "Ciudad de México", escala 1:250 000 (E14-2), editada por la Secretaría de Programación y Presupuesto. Se encuentra en la región hidrológica RH26 (Pánuco) que corresponde a la cuenca del Río Moctezuma (afluente del Pánuco) y le pertenecen dos subcuencas, del Río Tezontepec y los lagos Tochac y Tecocomulco.

Un factor importante en la hidrología es el clima (Fig. 7). En la zona destacan climas templados subhúmedos y semisecos templados, por lo que la temperatura que predomina es de 12 a 14°C y las precipitaciones medias anuales varían entre los 500 y 600 mm, por lo que se considera una de las regiones más secas de la cuenca de México.



Rh26

Rh26

12°

FIGURA 7 Carta hidrologica aguas superficiales

La litología favorece diversos patrones de drenaje y son comunes las redes fluviales de configuración radial en los volcanes mayores. En los lomeríos y piedemonte la configuración de la red fluvial es dendrítica. Asimismo la permeabilidad es alta en los materiales volcánicos de poca consolidación y en las lavas muy fracturadas.

Considerando principalmente la permeabilidad del terreno, su uso actual y la precipitación media, el mayor porcentaje de la zona tiene un coeficiente de escurrimiento de 5 a 10%, en zonas permeables dedicadas al cultivo. En otras porciones, sobre todo en los terrenos de Singuilucan, C. El Agua Azul, C. Viejo de Tultengo y en porciones de Cd. Sahagún, el coeficiente de escurrimiento es de 10 a 20%, donde las condiciones que propician esta cantidad son la permeabilidad de los suelos, de media a alta. Están dedicados en su mayor parte a la agricultura.

Ledezma (1997) menciona que las erupciones cuaternarias modificaron la topografía de la región formando pequeñas subcuencas. La zona de estudio se encuentra dentro de dos subcuencas: la primera, de Apan-Ciudad Sahagún; la segunda subcuenca es la de Tecocomulco, en la que se encuentra el lago del mismo nombre. Se localiza al norte de Apan, no es de grandes dimensiones, pero la cantidad de agua que recibe es considerable. Hace tiempo era una verdadera cuenca porque se encontraba totalmente cerrada, pero cuando el hombre quiso ganar terreno para el cultivo, la drenó por medio de canales para llevar el agua hasta el arroyo que pasa entre los cerros Jihuingo y Santa Ana, el cual continúa por Tepeapulco, Tlanalapa y sigue al poniente fuera del mapa.

El lago de Tecocomulco, está rodeado por un amplio sistema de canales, la mayoría de los cuales se encuentra en la planicie principal; su construcción se hizo con el propósito de agilizar el escurrimiento de las zonas agrícolas, evitando con ello el estancamiento del agua. Al oriente del lago se concentra la principal red de canales, el resto de ellos rodean la laguna de manera aislada; en el extremo suroeste de la laguna se encuentra el canal Tecocomulco, el cual se encarga de

su desagüe cuando el agua sube de nivel. Existen muchos ríos y arroyos que aportan agua a este vaso, pero la mayoría de ellos carece de nombre. Los que se conocen son el Río Coatlico que nace en el volcán Tepozán, el Río El Canal que también nace en el mismo cerro y su caudal se enriquece con las aportaciones de los arroyos que vienen del volcán Mazatepec y el escurrimiento superficial de los cerros del poblado de Paredón. Un río se inicia en la Sierra Chichicuatla, en el NE, entre los volcanes La Paila, Agua Azul y el Viejo de Tultengo, a este río se le conoce localmente como Canoas. El escurrimiento llega directamente a la laguna sólo en la época húmeda, pues en época de secas se infiltra mucho antes de llegar al poblado Francisco Sarabia.

Esta subcuenca recibe agua de la porción septentrional que escurre por los flancos meridionales de los volcanes La Paila y Coatzetzingo. La subcuenca se estrecha en su extremo suroccidental, lugar en que hace tiempo los cerros Jihuingo y Santa Ana la cerraban. Como consecuencia del desagüe del lago, por el canal y su azolvamiento, el ecosistema lacustre está cambiando, el azolve disminuye el área inundable, transformándola en un ambiente palustre. El área del lago que ya ha sido azolvada, inmediatamente se utilizó para labores agrícolas, es por eso que el cambio de uso de suelo ocasionado por la agricultura y la deforestación contribuye a su desaparición.

Asimismo, las laderas de las estructuras volcánicas más antiguas que presentan principalmente fuertes pendientes favorecen más el escurrimiento que la infiltración, lo que se aprecia en las corrientes fluviales que han formado una serie de barrancos que se extienden hasta la base.

CAPITULO III ASPECTOS GEOLÓGICOS GENERALES

3.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL: LA CUENCA DE MÉXICO.

La cuenca de México forma parte del Sistema Volcánico Transversal (SVT), una de las principales unidades geológicas y geomorfológicas de la República Mexicana. Se extiende de oeste a este, desde las costas de Colima y Nayarit hacia el estado de Veracruz, mide aproximadamente 900 km de longitud con anchura variable de 50 a 250 Km.

Aunque existen diferentes teorías acerca del origen del SVT, la más aceptada y fundamentada es que su formación se debió a una intensa actividad volcánica que tiene lugar principalmente en el Cuaternario, producto de la subducción de la placa de Cocos y Rivera con la Norteamericana. Morfológicamente, el SVT esta formado por una serie de planicies escalonadas, desmembradas por volcanes aislados, pequeños grupos de volcanes y grandes cadenas montañosas volcánicas (Lugo,1984).

En la porción centro-oriental del SVT se localiza la Cuenca de México, una estructura geomorfológica con límites espaciales precisos, es decir, un parteaguas cerrado que la define como 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. Es una altiplanicie con una altitud mínima de 2240 msnm, rodeada por todos lados por conjuntos de montañas jóvenes y antiguas. Además, otros grupos de montañas se levantan sobre la planicie de la cuenca -Sierras de Santa Catarina, Guadalupe, entre otras- (Lugo, *op.cit.*).

En cuanto a los estudios geológicos antecedentes sobre la Cuenca de México, entre los más importantes, por mencionar algunos, se encuentran Fries (1956, 1960) que realiza estudios geológicos, uno de la región entre México D.F. y Taxco,

Gro. Y otro de la región central meridional de México. Mooser (1956,1967,1975,1996) realiza algunos estudios que presentan la descripción de la cuenca de México para dar a conocer la secuencia y la naturaleza de las diferentes series volcánicas que componen dicha cuenca, otros estudios son realizados a partir de la historia tectónica de la cuenca de México. Su estudio más reciente a sido la publicación de un conjunto de mapas geológicos 1:100 000 de la Cuenca de México y las vecinas de Toluca y Puebla. Bryan (1948) es autor de un estudio sobre los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México en relación con los cambios climáticos, asimismo, expone las bases edafológicas en relación con las condiciones climáticas. Muestra detalles de los suelos de algunas presas, así como de la cuenca de México, donde las correlaciona con las ideas estratigráficas, además utiliza los preceptos edafológicos e intenta determinar las edades relativas de los volcanes en el extremo sur de la cuenca de México. De Cserna et al. (1988), reconstruyen la historia de la cuenca, donde a partir de un marco estratigráfico realizan una investigación con objeto de asegurar o descartar el papel que pudiera jugar la configuración geológico-estructural de la cuenca y sus relaciones tectónicas regionales en la localización de las áreas dañadas por los sismos. Vázquez y Jaimes (1989) hacen un análisis estratigráfico, estructural y petroquímico y con base en esto proponen la evolución geológica, desde el Cretácico, de la cuenca de México. A Enciso de la Vega (1992) se debe una revisión de la geología de la cuenca de México con el propósito de ordenar y adecuar una nomenclatura estratigráfica que pueda ser utilizada en futuras cartografías geológicas en la cuenca, y propone una nueva ordenación basada en la aplicación del código estratigráfico norteamericano 1983 (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica 1984).

Algunos de los antecedentes cartográficos más importantes son el mapa geológico de Schlaepfer 1:1000 000 (1968), el resultado principal de este trabajo radica en la clasificación de las unidades geológicas, su relación con la morfología general y la interpretación de la historia geológica de la hoja México D.F y estados de México y Morelos. Sergerstrom (1961) realiza un estudio sobre la geología del

suroeste del Estado de Hidalgo y noreste del Estado de México donde el objetivo de su estudio es dar a conocer el cuadro regional estratigráfico y la estructura.

La estructura de la cuenca de México presenta un sistema complejo de elevaciones y depresiones que deben su formación a procesos tectónicos y volcánicos de diferente intensidad. Con el fin de entender el marco geológico de la zona de estudio se mencionarán algunos aspectos físicos de la misma.

Las sierras que limitan la cuenca de México (Fig. 8), tuvieron su origen durante el Neógeno y Cuaternario por erupciones volcánicas explosivas. Son la Sierra Nevada al oriente, El Ajusco y Chichinautzín al sur, las Sierras de Monte Bajo, Monte Alto y Las Cruces al poniente; y al norte, las Sierras de Tezontlalpan y de Pachuca. En el vértice que forma la Sierra de Pachuca, en el extremo norte de la cuenca y los extremos septentrionales de las Sierras de Monte Alto y Río Frío, el parteaguas queda definido por elevaciones montañosas menores y discontinuas.

Desde el punto de vista geológico en la cuenca de México se conoce una amplia variedad de materiales de origen volcánico, como derrames de lava, lahares, lapilli, ceniza volcánica, etc., cuya composición química varía de ácida a básica. En la planicie hay sucesiones de arcillas, limos y horizontes arenosos en paquetes de más de 400 metros de espesor, además de horizontes de diatomita, turba y caliche en asociación con los depósitos lacustres (Mooser y Montiel, 1989; Vázquez y Jaimes, 1989; Mooser *et al.*, 1996).

Los grupos volcánicos que la delimitan son variables de acuerdo a su composición y edad. Los más antiguos corresponden a los de la Sierra de Pachuca, del Oligoceno y posterior; le siguen la Sierra de la Cruces y Monte Alto, del Neógeno; Sierra Nevada y Río Frío del Plioceno-Cuaternario, y Chichinautzín del Pleistoceno-Holoceno.

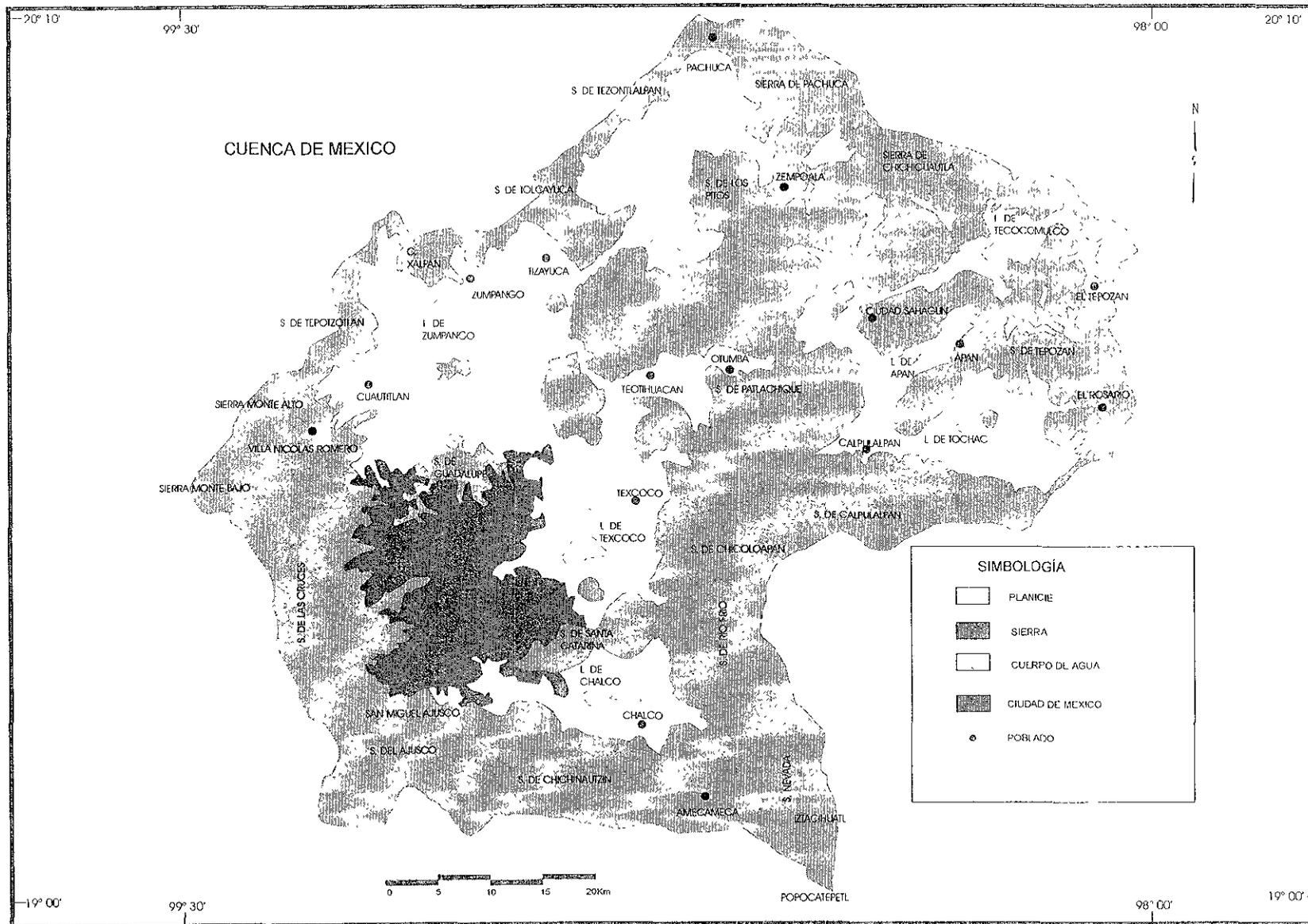


FIGURA 8. La Cuenca de México, sierras, planicies y lagos (Mooser, 1975).

De manera general, la cuenca de México está formada por tres grupos litológicos (Fig. 9). El primero comprende las rocas terciarias y cuaternarias que constituyen las principales sierras de la cuenca. El material aluvial pertenece al segundo grupo, formado por material erosionado, también de origen terciario y cuaternario; lo encontramos principalmente al pie de las sierras, en las planicies de la cuenca y en todos los cauces fluviales. Por último, el tercer grupo formado por el material lacustre se encuentra en zonas que anteriormente estuvieron cubiertas por agua.

Mooser *et al.*, (1996) mencionan que la historia geológica de la cuenca se ha podido construir a partir del periodo Cretácico, cuando la mayor parte del actual territorio mexicano no existía.

A fines del Cretácico y durante el Paleoceno, el fondo marino se convirtió en tierra firme; para el Eoceno tardío tuvo lugar la orogenia Laramide que en la actualidad se reconoce en las montañas plegadas de la Sierra Madre Oriental y parte de la del Sur. La formación de montañas a fines del Eoceno y principios del Oligoceno, tuvo periodos erosivos que dieron lugar a extensos depósitos fluviales y lacustres, lo que se reconoce en los sedimentos de la Formación Balsas, al sur de la Cuenca de México y la Formación El Morro al norte.

El Oligoceno fue una etapa de intensa actividad volcánica, especialmente en el noroccidente del país y aunque se ha definido en la cuenca de México, las unidades geológicas correspondientes son escasas, posiblemente porque fueron erosionadas y sepultadas por la actividad volcánica y exógena del Neógeno-Cuaternario.

Posteriormente, en el Mioceno continuó la actividad volcánica, en esta etapa se inicia la formación de la Sierra de las Cruces (margen occidental de la cuenca). La Sierra de Guadalupe (al norte) y la Sierra de Pachuca. De igual manera el Plioceno se caracteriza también por una intensa actividad volcánica, cuyos productos se encuentran a lo largo de SVT y en la misma cuenca de México en

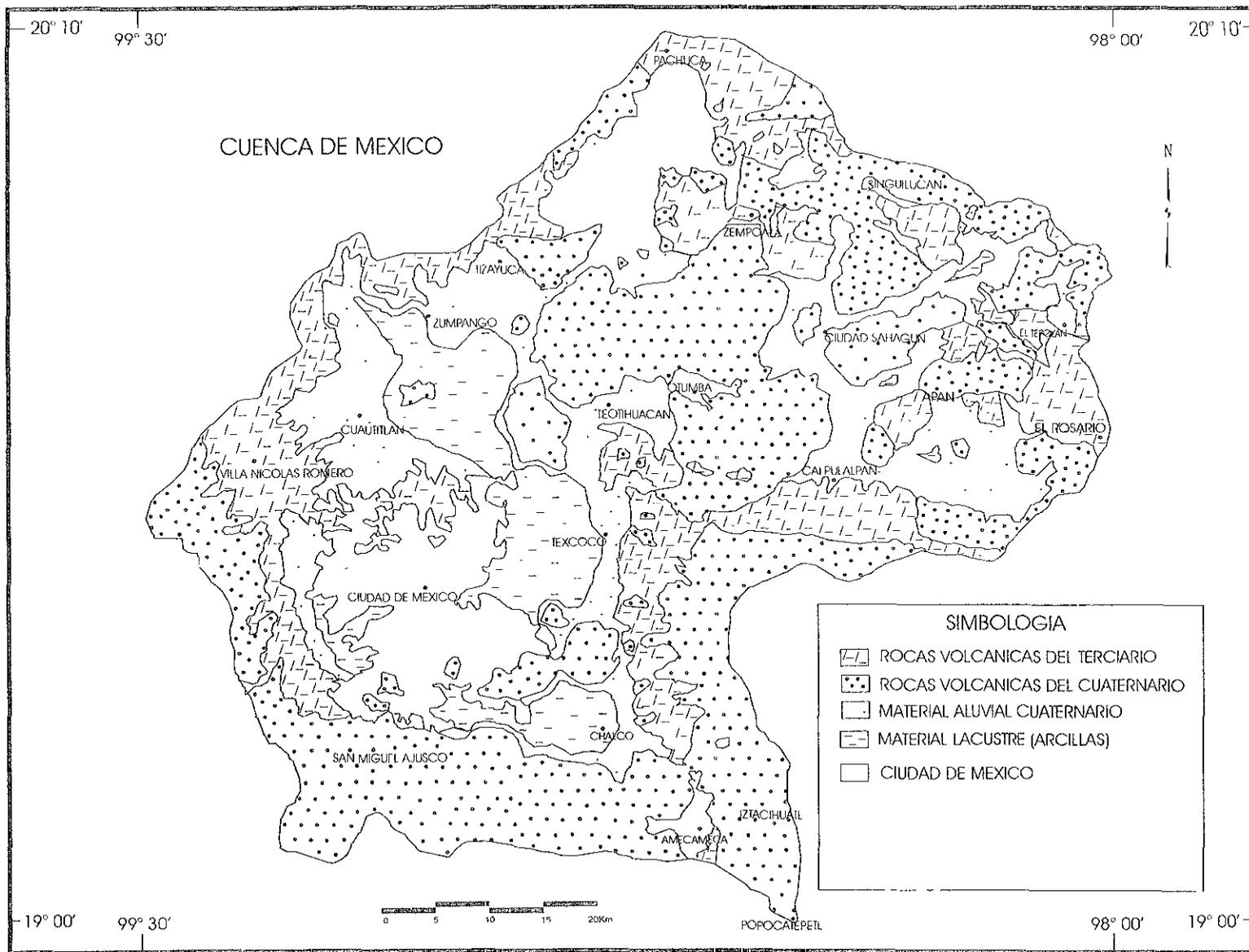


FIGURA 9 Geología simplificada de la Cuenca de México basada en Mooser et al , 1996

las Sierras de Pachuca, Las Cruces-Monte Alto, Río-Frío, de Guadalupe entre otras. Asimismo durante el Plioceno y como consecuencia del emplazamiento de los cuerpos volcánicos, se afectaron e interceptaron corrientes fluviales, con el desarrollo de varias cuencas lacustres.

Más notable fue la actividad volcánica cuaternaria de los dos últimos millones de años, cuyos productos fueron cubriendo gradualmente a los depósitos neogénicos. La información geológica actual muestra que en esta etapa surgió el relieve de las Sierras de Las Cruces-Monte Alto, la Sierra de Los Pitos, parte de la Sierra de Pachuca, la Sierra Nevada-Río Frío y en especial, la Sierra Chichinautzin que se considera como tal, al conjunto de elevaciones dispuestas de occidente a oriente entre los volcanes Ajusco y Popocatepetl.

Las sierras de Pachuca, Nevada y Río Frío y la Sierra de Las Cruces son 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).

La Sierra de Las Cruces es considerada por Mooser (1984) un complejo tectónico-volcánico, ya que sus principales aparatos se alinean de norte a sur, disposición que se asocia con el sistema de fallas escalonadas Chapala-Acambay. Su máximo desarrollo fue durante el Pleistoceno. Está formada por una secuencia de lavas y depósitos piroclásticos dacíticos. Con la formación de la Sierra Chichinautzin se obstruyó el antiguo drenaje al sur y creó una cuenca cerrada, la moderna cuenca lacustre de México que asemeja hoy una gigantesca presa azolvada. El vulcanismo que formó esta unidad (la cuenca de México) ha sido de especial intensidad en los últimos 60 000 años y continúa en la actualidad con la actividad del volcán Popocatépetl.

3.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL: LA ZONA DE ESTUDIO

Los antecedentes geológicos más relevantes para el área son estudios de carácter más puntual, que corresponden a Ledezma (1987) y Mooser (1996) son fundamentos más locales donde el primer autor realiza un estudio sobre la geología de la hoja Calpulalpan, Estados de México, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo, en este se encuentra en su totalidad la zona en estudio (Fig. 10). Asimismo, en el trabajo realizado por Mooser *et al.*, (1996) autores del mapa geológico de las cuencas de México, Puebla y Toluca, escala 1:100 000 y de acuerdo con el mismo, el área de estudio comprende depósitos que abarcan desde el Terciario y Cuaternario (reciente). Dentro de esta serie de mapas se encuentra el que comprende la geología de la hoja Ciudad Sahagún (7C) (Fig. 11).

Para ambos autores, al igual que la cuenca de México, las estructuras volcánicas que se encuentran en el área en estudio pertenecen a los sistemas Terciario y Cuaternario (Figs. 11 y 12). Las planicies son cuaternarias, constituidas de aluvión y sedimentos lacustres. En el interior del área en estudio no se encontraron afloramientos de rocas cretácicas, las cuales constituyen el basamento de las diferentes formaciones que aquí se encuentran, lo anterior sugiere que en la región que comprende el área en estudio pueden existir rocas marinas debajo de las rocas volcánicas terciarias. La historia geológica de la zona y sus alrededores comienza cuando empezaron a depositarse los sedimentos marinos del Mesozoico, los cuales posteriormente fueron compactados y litificados en el fondo marino. Antes de finalizar el Cretácico, es decir, a principios del Terciario, hubo un plegamiento de los sedimentos depositados en el fondo del mar a consecuencia de la orogenia Laramide. Así, estas zonas emergieron del fondo del mar y se inició entonces una actividad erosiva que trajo como consecuencia el desgaste de las partes altas de las sierras. A este proceso lo acompañó por descompresión el desarrollo de fracturas y fallamientos.

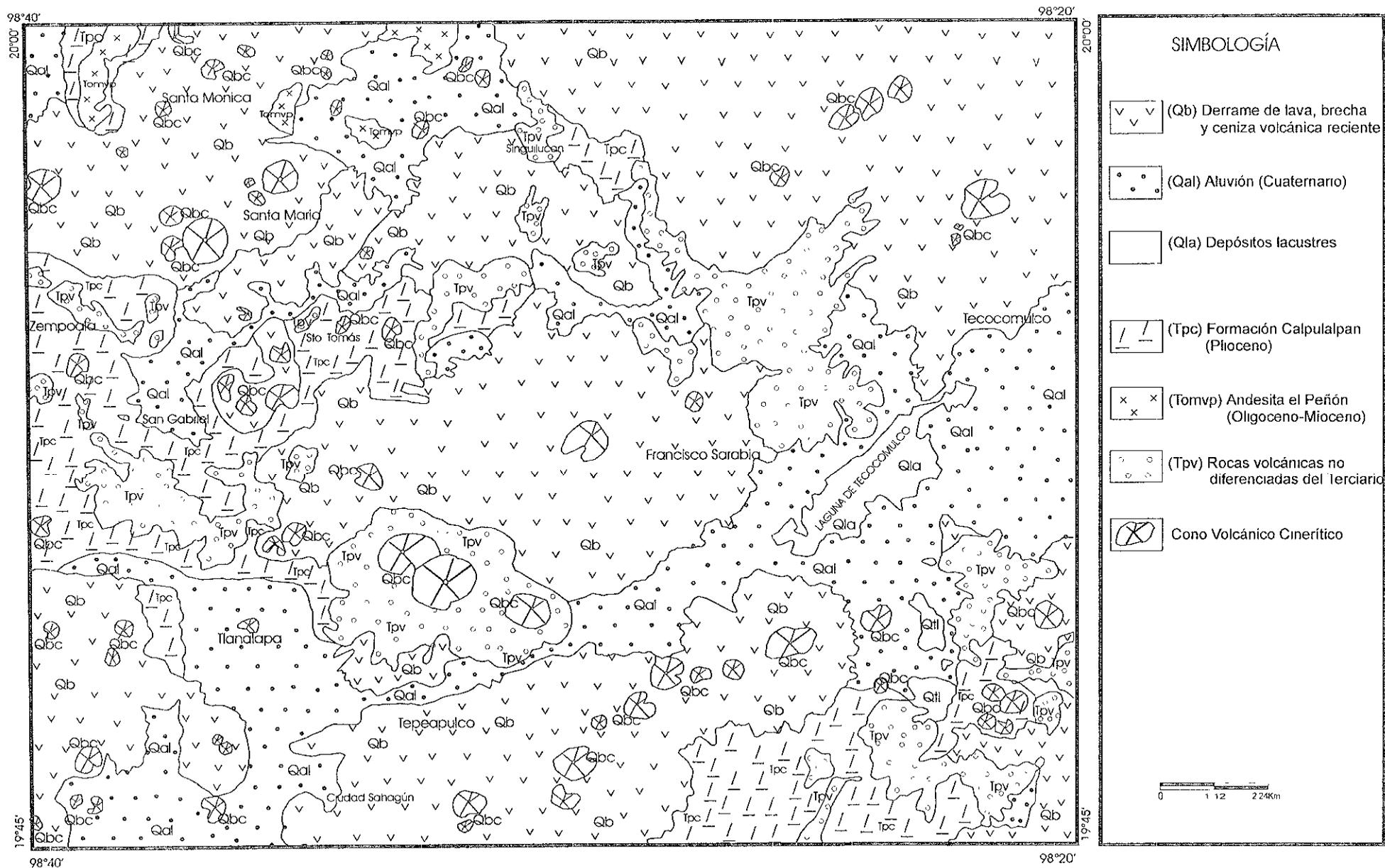


FIGURA 10. Mapa geológico (Ledezma 1987)

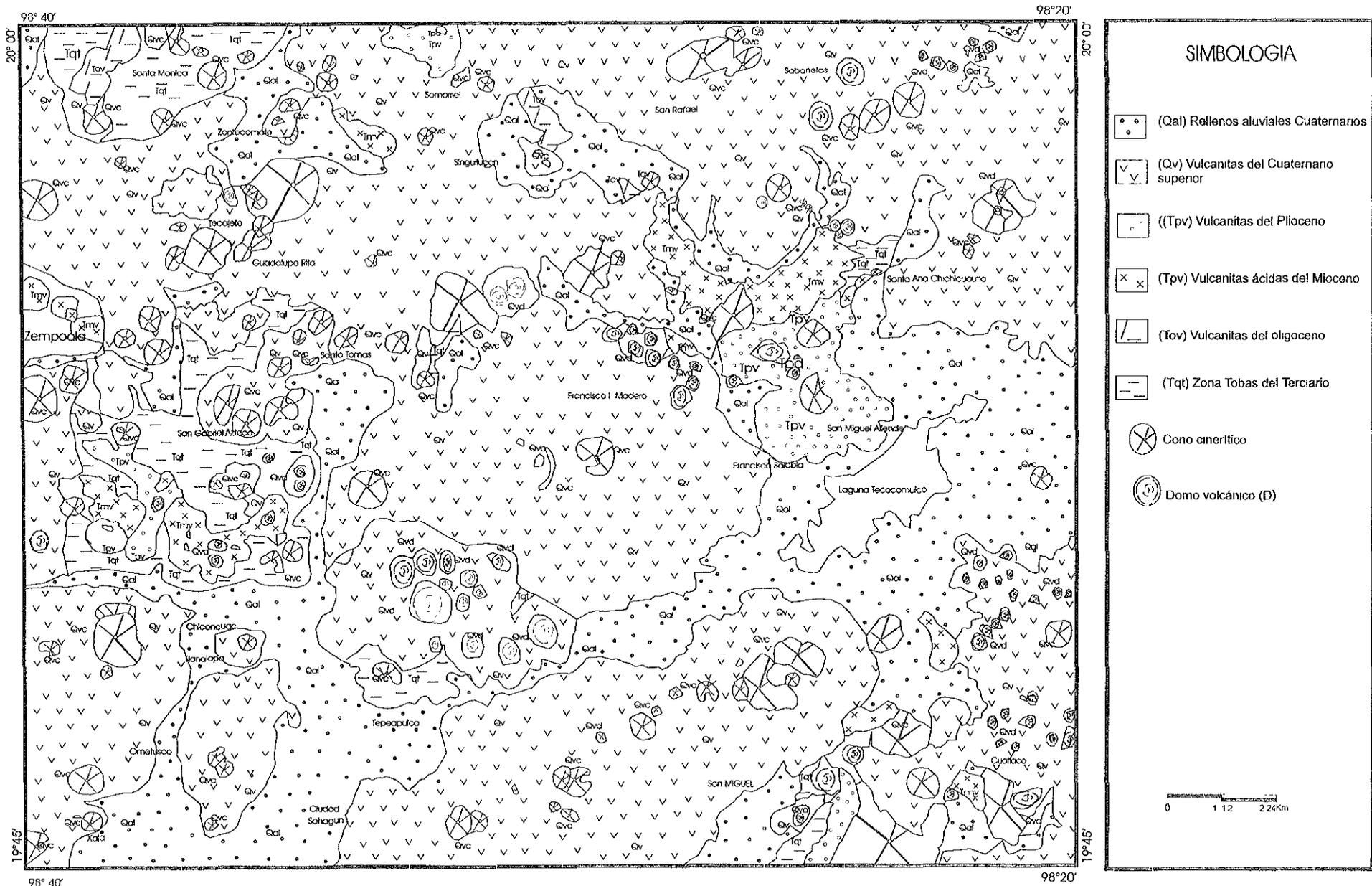


FIGURA 11. Mapa geológico (Mooser et al., 1996)

Aparentemente, la descompresión de la corteza terrestre continuó y las fracturas y fallas surgieron ampliándose hasta el momento en que la presión interna del magma fue mayor que la externa, rompiendo la corteza e iniciando una etapa de intenso vulcanismo que arrojó rocas basálticas y andesíticas en grandes cantidades, que aun en el presente constituyen las estructuras de mayor altitud en la región.

En el área de estudio se encuentra la roca a la cual Ledezma (*op.cit.*) le dio el nombre de Andesita el Peñón, del Terciario. Al emplazamiento de ésta hubo nuevamente actividad volcánica que produjo derrames de basalto que al depositarse sobre la topografía antigua bloquearon porciones del sistema de drenaje superficial originando las subcuencas ya descritas anteriormente en el segundo capítulo. La actividad volcánica parece haber continuado en unos lapsos de quietud. Simultáneamente se estaba efectuando el depósito de material fluvial y aluvial en los flancos de las estructuras formadas por rocas volcánicas terciarias.

Durante el depósito de la Formación Calpulalpan disminuyó un poco la actividad volcánica, pero esta volvió a tomar ímpetu a principios del Cuaternario, cuando el material arrojado por los volcanes fue predominantemente de composición básica. Dentro de la actividad volcánica donde las lavas y el material piroclástico dieron origen a estas subcuencas, se depositaron y se siguen depositando hasta la fecha sedimentos lacustres y aluviales. Además, sobre las estructuras volcánicas que se formaron continúa el proceso erosivo.

Desde el punto de vista geológico, en la zona es importante la presencia de una gran cantidad de aparatos volcánicos y lavas que por su morfología juvenil indican que aparecieron hasta al final del Pleistoceno. Entre los aparatos volcánicos que se presentan, se encuentran conjuntos de domos y volcanes y destaca la presencia de una caldera.¹ Es importante mencionar que las rocas del Cuaternario

¹ Las calderas se producen por el colapso de la cima de los volcanes debido a una fractura circular o a la rápida evacuación de la cámara magmática que alimentaba la erupción. También se forman por expulsiones gigantescas que destruyen las cimas de los volcanes, por lo que recibe el nombre de caldera de explosión.

son las más abundantes en el área de estudio, constituyen derrames de lava, conos volcánicos, aluvión entre otros.

Los rasgos morfológicos se dividen en dos grupos: terciarios y cuaternarios, los primeros –en el área que comprenden la zona de estudio– se encuentran algunos derrames de andesita incluidos en la Formación El Peñón (Oligoceno-Mioceno), estos derrames han sido cubiertos por toba, material piroclástico y depósitos de piedemonte, de composición andesítica que corresponden a la Formación Calpulaipan. También sobre los derrames de andesita del Oligoceno temprano se encuentran rocas volcánicas no diferenciadas del Terciario, en las que se incluyen los derrames de lava y rocas volcanoclásticas asociadas de composición andesítica, latítica y riolítica. Sobre estos se encuentra la unidad más joven, de edad cuaternaria, correspondiente al Pleistoceno-Holoceno que forman el segundo grupo y que comprenden las planicies o llanuras; los conos cineríticos, los cuales poseen su estructura y algunos de ellos sus cráteres perfectamente formados, así como todos los derrames de lava, brecha y ceniza volcánica. Como ejemplo de rasgos morfológicos cuaternarios se citan los siguientes: los derrames que provienen de los conos volcánicos Santa Ana, Peñitas, La Paila entre otros y que se asocian al piedemonte volcánico, también se encuentran algunos domos como el Jihuingo y algunos más.

Todas las estructuras volcánicas conservan sus formas cónicas perfectamente reconocibles, típicas de los aparatos volcánicos del Cuaternario en la región. Los rasgos morfológicos del Terciario incluyen pequeñas formaciones, tales como la caldera que se presenta en el área de estudio, al oriente y algunos pequeños conos volcánicos cineríticos de poca altura que alcanzan una altitud de 2750 msnm, es decir, tienen alturas aproximadas de 250 m sobre la planicie que se encuentra en la zona a una altura de 2500 msnm.

ESTRATIGRAFÍA

Aunque los diversos autores, a su modo sintetizan la estratigrafía de la cuenca de México, usan terminologías distintas para datar o identificar formación, grupos o subgrupos; concuerdan en que la mayor parte de las formaciones que integran la Cuenca parten del Neógeno, ocupando el Mioceno, 19 millones de años (inicia hace 26 m.a.), el Plioceno 5 millones de años. El resto de las formaciones son del Pleistoceno (2 m.a.) y finalmente el Holoceno, los últimos 10 000 años.

En cuanto a las unidades estratigráficas la disposición que guardan los diferentes estratos litológicos, según su datación por sistema (Fig.12) se explican a continuación.

TERCIARIO

OLIGOCENO (entre 38 y 26 m.a.).

Andesita El Peñón (Tomvp) (Ledezma, 1987) propuso este nombre para una secuencia de derrames de andesita de color gris claro que intemperiza en color crema, y una andesita de fenocristales de plagioclasa que intemperiza en colores violeta, verde y rosa. Ambas andesitas están cubiertas por una serie de derrames de riolita. El nombre El Peñón se tomó de un pequeño poblado exestación del ferrocarril Apizaco-Chignahuapan. Las rocas que constituyen este complejo volcánico son semejantes en litología y morfología a las rocas que integran el Grupo Pachuca, originalmente descrito por Geyne (1956) y definido como grupo por Sergerstrom (1961). Es un grupo volcánico que representa la actividad volcánica del Oligoceno hasta el Plioceno. Consiste en secuencias de material piroclástico, derrames lávicos y tobas intercaladas separadas por discordancias erosionables. Las lavas varían en composición de basalto a riolita, pero predominan la andesita y la dacita. Morfológicamente este grupo alcanza las elevaciones del conjunto de domos El Alto, domo San Albino y domo Chapultepec. La característica principal de esta andesita es que forma prominencias topográficas; al no presentar características de derrame. Se desconoce su

espesor, pero muestra valores de 100 a 700 metros. Se encuentra sobre rocas cretácicas que no afloran en el área en estudio.

Vulcanitas del Oligoceno (Tov) (Mooser, 1996). Tienen espesores máximos de 1000 a 1500 metros. Por su volumen y diversidad constituyen un grupo. Son el producto efusivo relacionado con la subducción de la Placa Farallón en el Pacífico oriental, la cual creó en el continente arcos volcánicos. Se caracterizan por lineamientos dirigidos de sur a norte. Dentro de los espesores de estas vulcanitas, solo afloran los elementos más elevados; el resto queda sepultado bajo la multitud de vulcanitas más jóvenes, por tal razón, son escasos los afloramientos oligocénicos en el área estudiada. Resaltan en el área de estudio en pequeñas porciones al este del poblado Santa Mónica y al este de Singuilucan.

MIOCENO (entre 26 y 7 m. a.)

Lavas y tobas ácidas (Tmv) (Mooser, 1996). Están formadas principalmente por derrames de composición riolítica de alta viscosidad, lo que favoreció que sus costados quedaran empinados al enfriarse. Los derrames de roca están cubiertos por toba de grano fino (ceniza y polvo volcánico de colores claros) de igual composición. Por su relativa juventud en comparación con las vulcanitas oligocénicas, sus formas menos erosionadas y menos afectadas por tectonismo se prestan mejor a ser diferenciadas en sus cuerpos originales que son domos, conos o calderas, tal es el caso de las formas volcánicas que se encuentran distribuidos principalmente en los límites de la caldera Chichicautla y en el conjunto de domos Tontiopa y Colorado, al sur de Zempoala. En las líneas sísmicas de reflexión, la separación del grupo de las vulcanitas del Mioceno de aquellas del grupo del Oligoceno, dirigido generalmente N-S, mientras que los elementos miocénicos revelan un fracturamiento dirigido W-E.

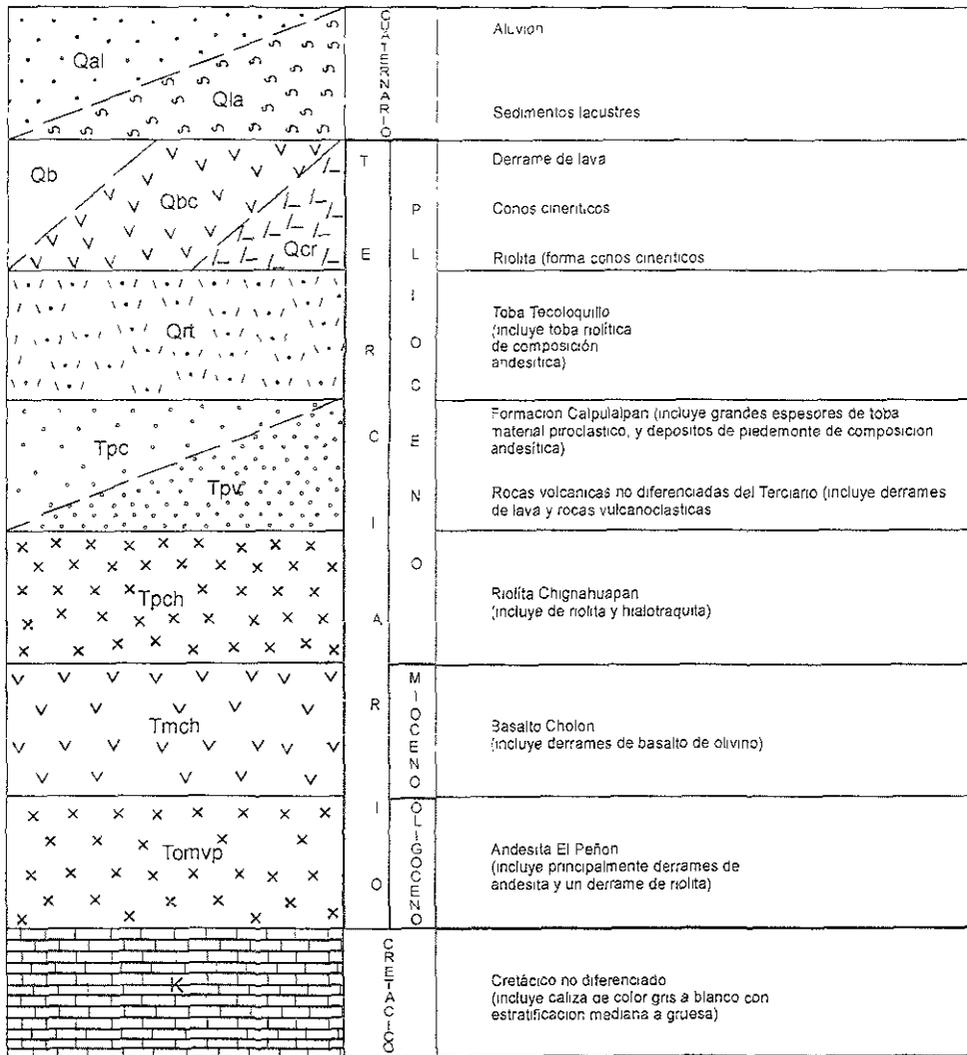


FIGURA 6. Columna Estratigráfica, con base en Ledezma (1987).

PLIOCENO (entre 7 y 2.5 m. a.)

Formación Calpulalpan (Tpc) (Ledezma, 1987). Se define así a los depósitos de piedemonte que bordean la base de las estructuras terciarias, también aparece en forma de grandes abanicos. La parte superior está compuesta por cenizas volcánicas (vidrio volcánico pomoso). La base de la unidad esta compuesta por fragmentos andesíticos gruesos, angulosos y subangulosos del tamaño de arena, gravas y cantos. Durante el desarrollo de esta formación la actividad volcánica disminuyó, reiniciándose a principios del Cuaternario, con predominio de material

de composición básica. Esta Formación presenta las mismas características geomorfológicas y litoestratigráficas a la que Bryan (1948, en Vázquez y Jaimes, 1989) llamó Formación Tarango. En el área de estudio se le encuentra en áreas de piedemonte.

Derrames y tobas ácidas e intermedias (Tpv) (Ledezma, 1987; Mooser 1996). Es un conjunto de afloramientos rocosos volcánicos, cuya composición es variable, se encuentran distribuidos en varias partes del área en estudio; entre sus rocas hay andesita, latita, riolita y toba riolítica. Esta litología subyace a derrames basálticos cuaternarios y a la Formación Calpulalpan. Se encuentran distribuidos en diferentes laderas de los conjuntos volcánicos al exterior de la caldera Chichicauhtla, principalmente.

Tobas (Tqt) (Mooser, 1996). Existen zonas de taludes de tobas que fueron formadas por cenizas más antiguas, se antepone la T para indicar la edad terciaria.

CUATERNARIO (desde 2.5 m.a. a la fecha).

Las rocas y depósitos sedimentarios del Cuaternario son las más abundantes dentro del área en estudio, se encuentra como derrames de lava, conos volcánicos, depósitos piroclásticos riolíticos y aluvión.

Lavas y tobas básicas (Qv) (Qb) (Ledezma, 1987, Mooser, 1975; Mooser 1996). Se encuentra distribuida en toda el área de estudio, ocupan la mayor parte de todas las elevaciones montañosas, incluyen derrames de lava y conos cineríticos de composición basáltica y andesítica, los derrames presentan estructura fluidal y en bloque, consisten en repeticiones de lavas básicas de alta fluidez y piroclastos. Ejemplos de estas estructuras cubren la mayor parte del área de estudio, tal es el caso del Cerro La Paila, laderas del Cerro El Jihuingo (Mooser1996), los volcanes al oriente de Ciudad Sahagún, sobre los poblados San Rafael, Somorriuel, Singuilucan, entre otros.

Depositos lacustres (Q1a) (Ledezma, 1987, Mooser, 1975; Mooser 1996). Están formados por horizontes de materiales arcillosos y arcillo-limosos, cuyos espesores alcanzan desde unos milímetros hasta unos metros. Se localizan en el Lago de Tecocomulco y en pequeñas zonas que anteriormente estuvieron cubiertos por agua, como son al sur del mismo lago a ambos lados de Loma Larga.

Depósitos aluviales (Qal) (Ledezma, 1987, Mooser, 1975; Mooser 1996). Estos depósitos se encuentran en todas las zonas bajas de la zona, principalmente en la planicie central y en los diferentes valles; están constituidos por diferentes horizontes arenosos y limosos dispuestos en forma casi horizontal, alcanzan espesores que van del orden de centímetros a algunas decenas de metros.

Según De Cserna (1988) el área de estudio se encuentra dentro de la segunda área de mayor extensión de rocas volcánicas cuaternarias que se localizan al oriente y nororiente de Tizayuaca-Atzoma-Texcoco, que se extiende hacia Ciudad Sahagún-Singuilucan, al norte y nororiente de Apan, Hidalgo. Las características petrográficas y morfológicas de estas rocas volcánicas cuaternarias son muy semejantes a las de la Formación Chichinautzin, y cubren discordantemente depósitos clásticos y volcánicos del Terciario y Plioceno Cuaternario.

La estratigrafía reconocida por los autores antes mencionados consiste en rocas volcánicas, vulcanoclásticas y clásticas, derrames de lava, piroclastos, depósitos aluviales y lacustres del Terciario y Cuaternario de composición basáltica, andesítico-basáltica, andesita, dacita, traquiandesítica y riolítica, que descansan sobre rocas calcáreas del Cretácico, que constituye el basamento de toda la secuencia volcánica y sedimentaria del Terciario y Cuaternario.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

De acuerdo con Mooser (1996) la estructura geológica de la cuenca de México, se debe al vulcanismo de la cuenca que está asociado a hundimientos tectónicos que se han presentado a partir del Eoceno Tardío. Durante la orogenia Laramide se comprimieron y plegaron los depósitos marinos del Mesozoico que se manifiestan como fracturamientos, mismos que generaron grandes cabalgaduras (Fig. 13a). Destaca el hecho de que los planos de cabalgadura ascienden al poniente, al norte, en entre Pachuca y Acambay, lo que sugiere esfuerzos orogénicos de empuje.

En el Terciario se produjo un largo tiempo de tensiones corticales acompañadas de vulcanismo. Durante esta etapa se creó el Arco Volcánico del Oligoceno (Fig. 13b) con estructuras dirigidas N-S. En el momento en que se cambió la subducción de la costa del Pacífico oriental a la costa meridional de México en el Mioceno Inferior, se formaron los arcos correspondientes al Mioceno (Fig. 13c) en esta figura aparecen los fracturamientos con estructuras dirigidas en dirección W-E, que afectan a los elementos del grupo miocénico. En este destacan las fosas de Pachuca, Zempoala y Barrientos, es posible reconocer otros subarcos volcánicos dentro de este conjunto de lineamientos como el Subarco de Barrientos-Patlachique, el de Zempoala-Singuilucan y al norte el subarco de Ajacuba-Pachuca. Así las vulcanistas del Miocénico siguen un arreglo que va de acuerdo con lineamientos marcados por este fracturamiento W-E, que está subparalelo a la nueva subducción de la placa de Cocos que siguen los lineamientos de un arco volcánico propio, para la zona de estudio las estructuras volcánicas que se encuentran en este conjunto son la Caldera Chichicuahtla y los grupos volcánicos al norte de Tlanalapa.

Durante el Plioceno superior y hasta el Cuaternario Medio se dan fracturamientos y fallas, que provienen del Poniente y describen un gran arco cóncavo con

dirección sur. Este arco con dirección ESE. (Fig. 13d) surge en la zona de hundimiento de la fosa de Acambay prolongándose a la fosa de Jocotitlán describiendo un arco ancho que se extiende hasta las inmediaciones de Tlaxcala. Vistas en conjunto estas fallas y fracturas corresponden a la prolongación oriental de lo que se conoce como Arco Tarasco, este fracturamiento rige en buena medida el vulcanismo que se presentó desde el Plioceno Superior hasta el Cuaternario Medio.

La zona de fracturamiento (Chapala-Acambay) que afecta al área de estudio es mucho más amplia. Sus inicios de actividad volcánica y tectónica se inician en el Terciario Medio. En la actualidad mide desde el escarpe de Pachuca, en el norte, hasta la Sierra de Guadalupe. Es en esta área donde se encuentran varios bloques hundidos, en donde sus movimientos siguen generando hasta ahora volcanes como lo atestiguan la multitud de conos cineríticos juveniles en sus alrededores del área y en la región de Apan.

En el Plio-Pleistoceno se origina un fracturamiento con rumbo NNE, (Fig. 13e) que responde probablemente a fenómenos de tensión y cizalleo, estos fracturamientos afectan la fosa de Cuauhtec, en la Sierra de Guadalupe, el volcán Rehilete, la Sierra de Monte Alto.

En el cuaternario entra en actividad el arco Chichinautzin. Esta última fase de vulcanismo Cenozoico establece dos arcos volcánicos y fracturamientos dirigidos NNE, imponiéndose la influencia de las fallas profundas del Arco Oligoceno, generándose con esto las Sierras Mayores. El Arco volcánico Chichinautzin se ve afectado por fracturamientos que controlan la tectónica del sur de la Cuenca de México, este arco divide el área sur de la cuenca en tres fosas complejas, que produjeron sus máximos hundimientos al iniciarse la actividad volcánica, probablemente en el Cuaternario Inferior. Dentro de este conjunto de fracturas se incluyen dos tipos; los fracturamientos en Z y los fracturamientos tipo Nevado, estas últimas se encuentran fuera de la Cuenca de México. Los fracturamientos

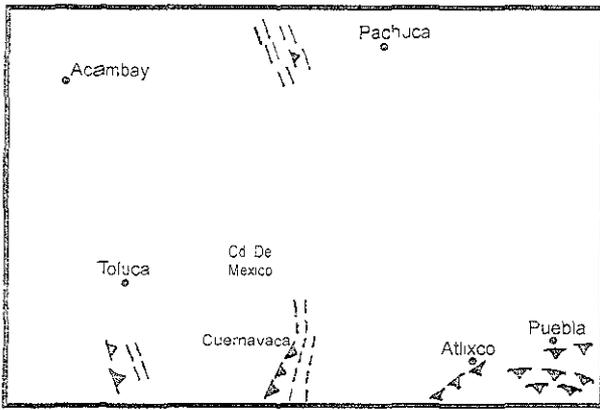


FIGURA 13a Lineamientos y cabalgaduras de la Orogenia Laramide, Eoceno Inferior (Mooser et al 1996)

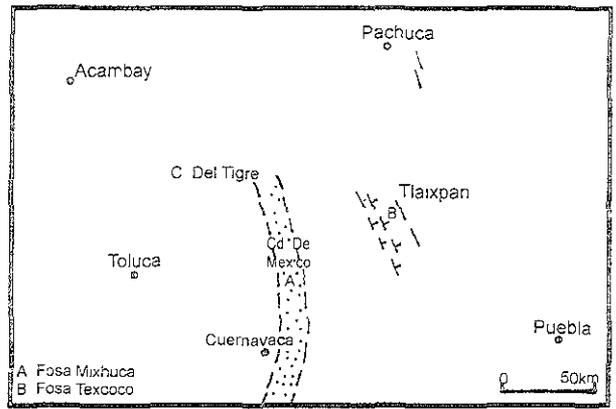


FIGURA 13b Fracturas y Fosas del Arco Volcánico del Oligoceno (Mooser et al 1996)

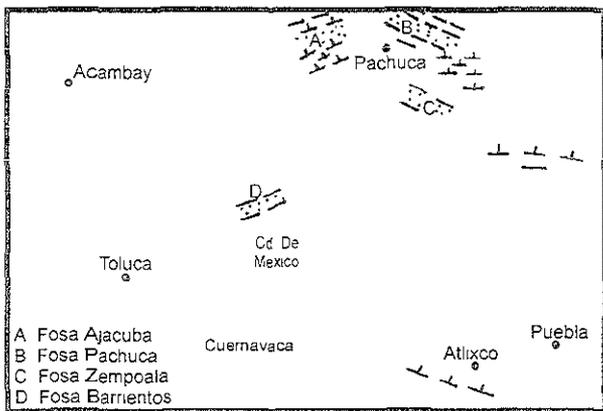


FIGURA 13c Fracturas y fosas del Arco Volcánico del Mioceno (Mooser et al 1996)

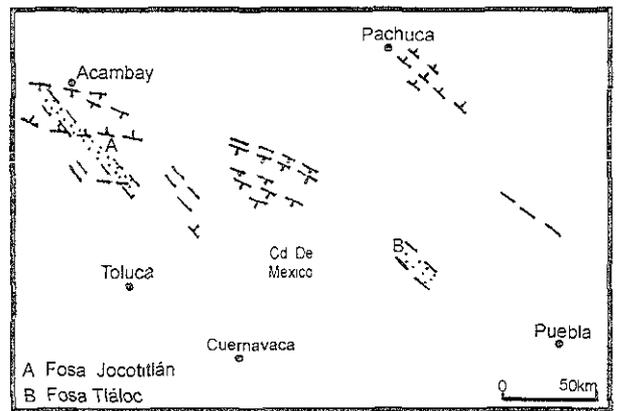


FIGURA 13d Fracturamientos del Arco Tarasco del Plioceno-Pleistoceno (Mooser et al 1996)

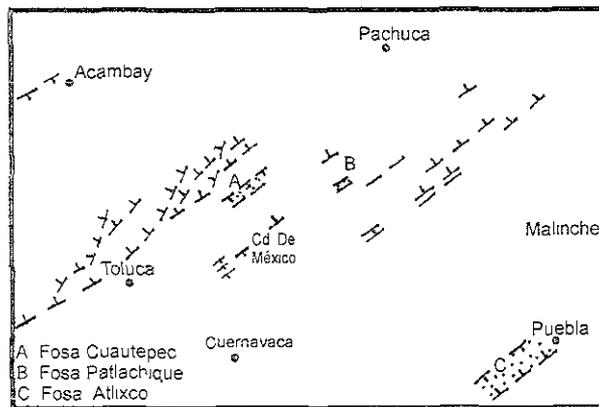


FIGURA 13e Fracturamientos del Plio-Pleistoceno al NNE (Mooser et al 1996)

en Z están dirigidos al SSE en su porción central y curvos en sentido opuesto en sus extremos (Mooser, *op.cit.*), estos pueden estar ligados a una interacción entre los lineamientos Plio-Pleistocénicos del arco Tarasco y las fallas profundas del Arco Oligocénico.

Mooser (*op. cit.*) presenta un esquema tectónico con la presencia de grandes fallas con orientación SW-NE que afectan la cuenca (Fig. 13f). Durante el Mioceno se desarrollaron fosas con dirección NE, formando la estructura principal de la Cuenca de México, como un escalonamiento hacia el centro, entre las fallas profundas Tlaloc-Apan y Nevado-Pachuca, El valle de Tecocomulco se localiza al norte de Apan, mismo que corresponde tectónicamente a una fosa orientada NE-SW. Donde se infiere la existencia de esta fosa tectónica por la terminación abrupta de las rocas del Terciario, las cuales se encuentran topográficamente al mismo nivel que los volcanes cuaternarios de Santa Ana, los cuales están orientados paralelamente a las trazas de las fallas inferidas. Sobre este profundo escalonamiento se desarrolló los conos de las sierras Menores: Tepoztlán, Patlachique, La Pitahayas, Tepozán y la de Pachuca. Hacia el Plioceno tardío, inicia el tectonismo que formaría la parte sur de la cuenca, es decir, el fracturamiento de los grandes volcanes con orientación W-E que generaron desplazamientos verticales.

Todas las formas del relieve que se encuentran dentro del área de estudio se deben a la actividad volcánica y al desarrollo de fallas y fracturas en las rocas. Propiamente el fracturamiento suroeste-noreste, está representado por la falla Apan-Tlaloc que incide en el extremo sur de Tepoztlán.

CAPITULO IV GEOMORFOLOGÍA

4.1 MORFOMETRÍA

En geomorfología el relieve terrestre también es estudiado a partir de la morfometría, análisis que contribuye al conocimiento del relieve, a través de la cuantificación de elementos lineales, puntuales y areales, estos incluyen la longitud, superficie, volumen altura absoluta y relativa, pendiente, orientación, densidad y frecuencia, cuyas variaciones se realizan entre sí. Su aplicación facilita la interpretación de la génesis, la edad relativa, la dinámica actual y en algunos casos, la relación entre las formas del relieve (Lugo, 1989).

El análisis morfométrico se considera básico para la clasificación del relieve y de manera indirecta considera la génesis, estructura y dinámica.

Una correcta interpretación de los mapas que se elaboran, apoya al objetivo del estudio que es un mapa morfogenético, aunque también nos puede brindar una importante información sobre morfodinámica y edad de las formas del relieve. Con este fin para el presente trabajo y de acuerdo con la propuesta metodológica de Lugo (1991) sobre métodos cartográficos, considera los siguientes mapas para realizar un estudio geomorfológico: mapa altimétrico, mapa de densidad de disección del relieve, mapa de órdenes de corrientes, mapa de profundidad de disección del relieve y mapa de energía del relieve. La presentación de los mapas morfométricos que se elaboran en este estudio es a escala 1:100 000.

4.1.1 MAPA ALTIMÉTRICO

También conocido con el nombre de hipsométrico, este mapa es el inicial y uno de los más importantes, se considera como el punto de partida para el análisis geomorfológico, ya que expone de manera rápida y clara la información del mapa topográfico. La elaboración del mapa altimétrico consiste en definir a partir de las

alturas máxima y mínima del mapa topográfico, una serie de intervalos de valores que se establecen con el fin de que se pueda reconocer de manera clara e inmediata la configuración del relieve en general. La elección de colores se apoya en un sistema internacional en donde los tonos fríos representan las porciones bajas y los cálidos las partes altas (Salitchev, 1981). Para la zona objeto de estudio resultó un mapa en el que quedaron divididas en distintos rangos las alturas absolutas (Fig.14). En este mapa es más fácil comprender el relieve que en el mapa topográfico, por que el relieve queda clasificado en franjas de colores. La elaboración depende del criterio del autor, para este caso el intervalo elegido fue de 50 y 100 metros. Para la zona objeto de estudio la información altitudinal quedó simplificada en 8 rangos.

En el mapa altimétrico se observa que de manera general, la distribución del relieve es irregular, corresponde una gran área a la parte más baja y se reduce paulatinamente conforme asciende en altura. La distancia vertical entre el punto más alto y más bajo de la zona en estudio es de 850 metros.

También a partir de este mapa es posible elaborar a manera de síntesis, un mapa de zonificación geomorfológica (Fig. 15), en el cual se definen tres zonas altitudinales.

La primera corresponde a las zonas más elevadas, mismas que comprenden una de los 2700 y más de 3000 metros, y corresponden a las estructuras volcánicas que se han formado desde el Plioceno al Holoceno. Son edificios volcánicos que por su juventud conservan su forma, por mencionar algunos encontramos el C. la Paila, el conjunto de domos, el Jihuingo, los volcanes Santa Ana, Peñitas, Viejo de Tultengo, la Gloria y la caldera Chichicuatla al norte del lago Tecocomulco, entre otros.

La zona media corresponde a la zona transicional entre la planicie y la base de los edificios volcánicos, se trata del piedemonte volcánico acumulativo constituido

principalmente por derrames de lava que fueron arrojados por los volcanes cineríticos que se emplazan en el área de estudio entre los 2600 y 2700 m. En algunos casos encontramos piedemonte erosivo que se asocia a las estructuras más antiguas, en este caso se encuentra al exterior de la caldera Chichicuautila. En esta área es donde se inicia la acumulación de materiales por transporte fluvial.

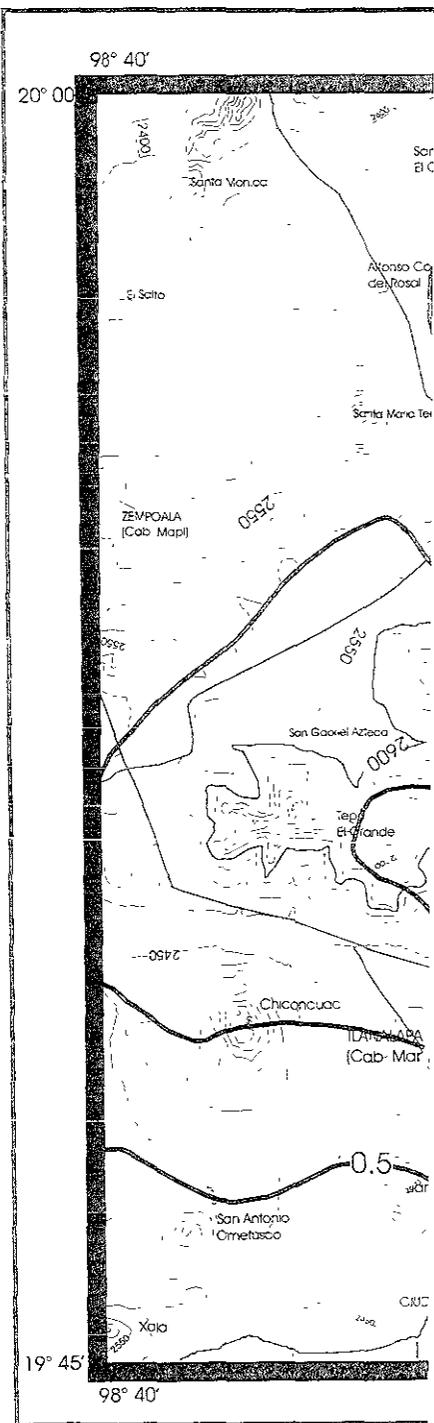
Por último, el piso altitudinal que integra el tercer nivel, corresponde a la planicie, entre los 2450 y 2550 metros. Corresponde a una porción considerable de la superficie del área en estudio, esta unidad morfológica es de poca inclinación, ocupa una gran extensión de terreno y contiene el cuerpo de agua más importante, el lago Tecocomulco.

4.1.2. MAPA DE DENSIDAD DE DISECCIÓN DEL RELIEVE

Este termino es equivalente a densidad de corrientes fluviales, pero se diferencia de ésta porque su objetivo principal es la cuantificación de los procesos erosivo-fluviales en un área (Lugo,1991).

La elaboración de este mapa consistió en que a partir del mapa topográfico de la zona de estudio, escala 1:50 000, se marcaron todas las corrientes fluviales que aparecen y las que no, por lo que es necesario inferirlas, por la configuración de las curvas de nivel.

Posteriormente se dividió el mapa en cuadrantes, donde cada uno de ellos cubrió una superficie de 20.25 Km², en los cuales se midió la longitud total de las corrientes fluviales (km.) y se dividió el valor entre la superficie (km²). El resultado -densidad de disección en km/km²- se anotó en el centro de la figura, se hizo una interpolación entre todos los números inmediatos que se obtuvieron, para agregar otros complementarios. Por último se configuraron los valores con isolíneas, en este caso de 0 a 3.5 Km/Km² (Fig. 16).



medida en estas estructuras donde la disecación se manifiesta principalmente por circos de erosión que se originan en las cabeceras de las corrientes fluviales. Los valores de densidad van disminuyendo al reducirse la pendiente, esto ocurre en las áreas de piedemonte donde al ser poca la pendiente, el material volcánico facilita la infiltración del agua y no se favorece la formación de corrientes, motivo

por el cual la erosión fluvial no tiene una expresión muy marcada, por el contrario, es en esta zona donde las corrientes empiezan a concentrarse y se desarrollan los tipos de red fluvial paralela y subparalela.

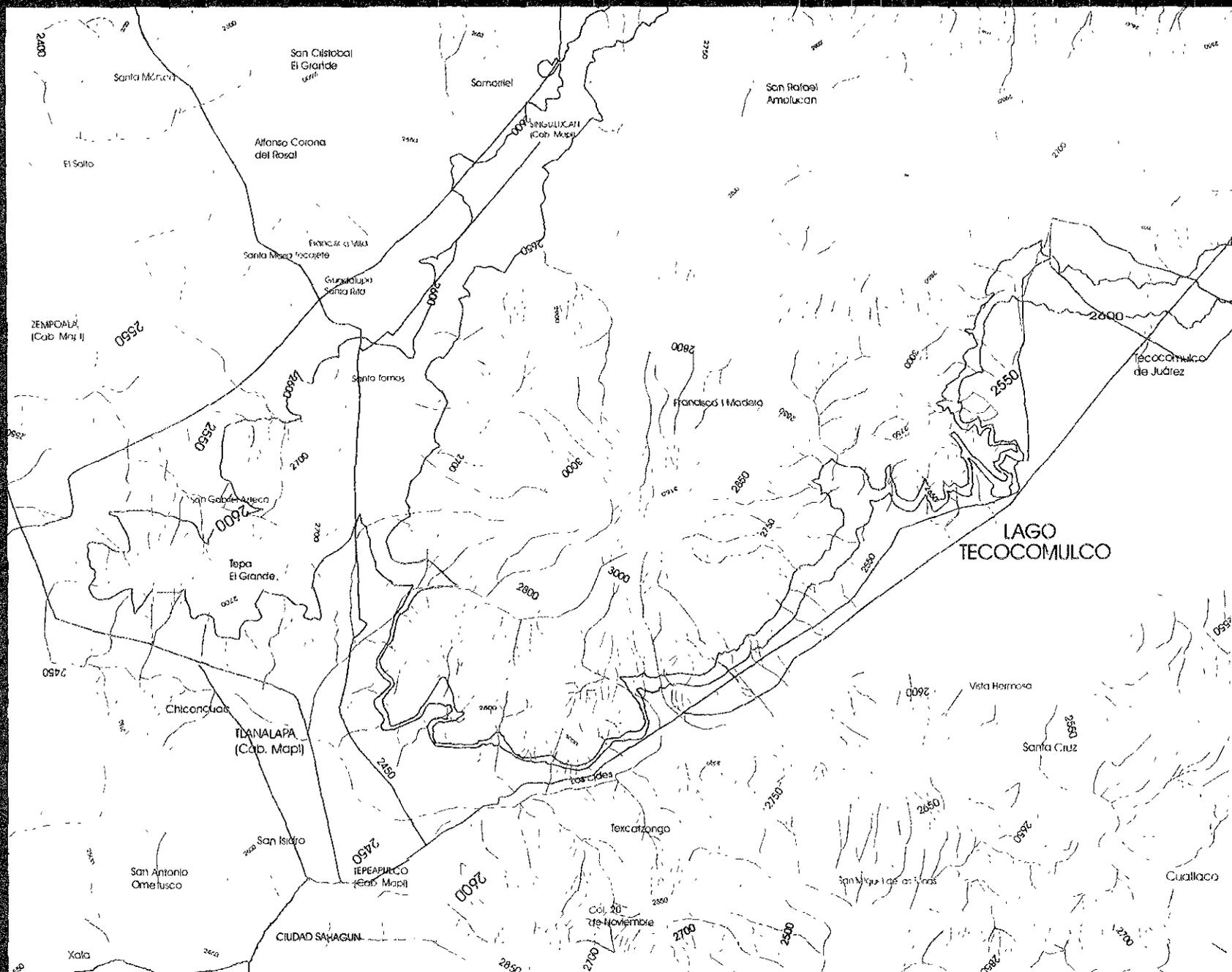
Los valores considerados como bajos de 0.5 a 1.0 Km/Km² se presentan en las áreas más bajas que ocupa la planicie, más que densidad de drenaje se trata de áreas de acumulación de sedimentos. Al reducirse la pendiente no hay manera que el agua escurra, y por lo tanto, no hay desarrollo de corrientes. En general, este mapa permite observar que los valores bajos se relacionan con una pendiente casi nula. Los valores mayores de densidad se encuentran en donde se emplazan los edificios volcánicos y los materiales provenientes de ellos que corresponden al piedemonte.

Aquí la densidad puede considerarse como media porque la pendiente que es menor, favorece más la infiltración que el escurrimiento, y por lo tanto, menor desarrollo de corrientes; en cambio, en las partes más elevadas y de mayor pendiente es donde encontramos los valores más altos porque el escurrimiento predomina.

4.1.3. MAPA DE ÓRDENES DE CORRIENTES

El procedimiento para la elaboración de este mapa consistió en que a partir del mapa topográfico se clasificaron las corrientes fluviales en órdenes numéricos. Las corrientes que no poseen afluentes son de primer orden; posteriormente, las que resultan de la unión de dos de primer orden, son de segundo y así sucesivamente (Fig. 17). Este método de clasificación de la red fluvial se debe a E.R. Horton (1945) y A. Strahler (1952).

La red fluvial se adapta al relieve durante el periodo de su evolución, de tal manera que una clasificación jerárquica de las corrientes fluviales muestra como se distribuye el drenaje cuantitativamente dentro del área. Esto se puede asociar



en mayor o menor grado con la estructura geológica, el relieve, la litología y otros factores.

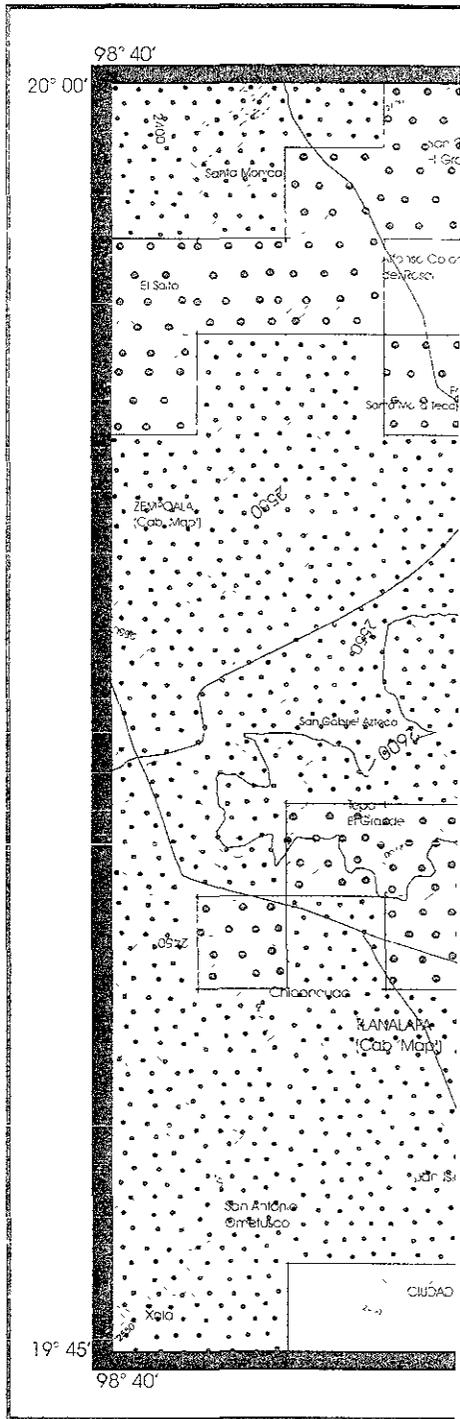
En el mapa se observa un mayor predominio de las corrientes iniciales de primer y segundo orden (destacando las de primer orden). Ambas representan aproximadamente el 95% del total de las corrientes. Las corrientes de primer orden son las más jóvenes. Por el elevado número de corrientes de primer y segundo orden se puede inferir que el modelado de la superficie es relativamente joven y tiene fases de incisión vertical, lo que significa que la erosión hídrica lineal en ellas es relativamente alta esto es porque si la vegetación es carente, disminuye la infiltración y aumenta el escurrimiento concentrándose en las corrientes de primer orden, lo que ocasiona grandes cantidades de acarreo de material, mismo que se deposita en las zonas planas.

En cuanto al tercer y cuarto orden, la explicación de su poca presencia se debe al trazado de canales que interfiere con los escurrimientos naturales, que al encauzarlos disminuye su número. Como la mayoría de los canales se construyeron en las partes bajas, es natural que estos últimos órdenes sean los más afectados, cosa que no pasaría si el drenaje fuera totalmente natural.

4.1.4 MAPA DE PROFUNDIDAD DE DISECCIÓN DEL RELIEVE

Este mapa considera al proceso de erosión fluvial, pero en perfil, y equivale a una altura vertical medida entre el talweg y la divisoria (Lugo,1991). De acuerdo con García Romero (1993), este mapa tiene como finalidad presentar el valor del corte vertical que realizan los ríos, y por lo tanto, el grado de susceptibilidad del relieve a erosionarse.

El procedimiento que se utilizó para medir la profundidad de la disección del relieve es el que también explica Lugo (*op.cit.*). En este caso, una vez ya trazadas las corrientes fluviales en el mapa topográfico, se dividió este en cuadrantes



El valor que tiene este mapa es el de representar sólo el trabajo de la erosión fluvial. En general es notable la estrecha relación que tiene la pendiente porque juega un papel muy importante en el aumento y disminución de los valores de

profundidad, en zonas donde el material es potencialmente erosionable, la escasa pendiente disminuye y con esto la energía de las corrientes para efectuar el transporte. Un factor muy importante que de igual manera influye es el clima, el área en estudio al presentar lluvias sólo en verano, no favorece en gran medida el trabajo erosivo del agua, sin embargo, el corte profundo del relieve es más representativo en áreas de mayor pendiente.

4.1.5. MAPA DE ENERGIA DEL RELIEVE

Se conoce a este mapa también como de amplitud del relieve. Expresa la relación de la intensidad relativa de la actividad endógena con la exógena (Lugo, 1991). Se considera como energía del relieve a la diferencia máxima de altura (en metros) en una superficie determinada del terreno.

El método de elaboración de este mapa consistió, también en dividir un mapa topográfico en cuadrantes iguales de 4 km², posteriormente en cada una de ellos se obtiene la diferencia máxima de altura en metros; se anotó el valor en la figura y una vez teniendo los valores se establecieron 10 rangos; por último, el mapa se terminó interpolando valores que expresan la relación entre los procesos endógenos y la potencialidad de la ladera a presentar procesos gravitacionales. Este mapa también (Fig. 19) también guarda una estrecha relación con la pendiente de las formas del relieve

En el mapa se observa que la amplitud o energía del relieve guarda una estrecha relación con la topografía, los valores más altos se encuentran en las mayores alturas, mientras que la amplitud mínima se encuentra en la planicie.

Los valores de amplitud de los 20 metros se encuentran en la planicie central, bordeando el Lago Tecocomulco y la parte baja del piedemonte volcánico. Los valores considerados intermedios son entre 50 y 250 metros y corresponden a amplias zonas de piedemonte, donde la es baja. Posteriormente, las categorías

superiores correspondientes a los valores mayores de 250 metros representan formas aisladas, que se concentran en las partes superiores de las estructuras volcánicas, en donde los grandes desniveles corresponden a las cabeceras de los circos erosivos. Estos valores más altos se reconocen principalmente en porciones del conjunto de domos Jihuingo, el Agua Azul al este de la zona y la caldera Chichicuautila entre otros, son zonas donde los procesos erosivos son frecuentes, debido a las fuertes pendientes.

Los mapas morfométricos resultaron de gran ayuda en la elaboración e interpretación del mapa geomorfológico: El primero, el mapa altimétrico, mostró la simplificación de los niveles topográficos del área de estudio, además permitió definir una zonificación geomorfológica en la que se distinguen de manera general, tres unidades principales: los edificios volcánicos, las áreas de piedemonte, tanto volcánico como erosivo (éste último está asociado a las formas del relieve más antiguas), y la planicie ligeramente inclinada.

El mapa de densidad de disección permitió identificar la relación entre la litología y la pendiente y explicar su distribución, es decir, se definieron zonas de mayor susceptibilidad a la erosión fluvial. El mapa de orden de corrientes refleja el proceso evolutivo del relieve. El de profundidad de disección aportó una mejor explicación del trabajo en sentido vertical, y por último, el mapa de energía del relieve expresa una zonificación de procesos de ladera relacionados con las diferentes unidades del relieve que se presentan. Además de la información de los datos del medio físico y geológico, y de acuerdo con la zonificación geomorfológica que se realizó, es posible analizar de manera más clara la morfometría aplicada en este estudio por medio de una síntesis que presenta la información de las principales formas y los procesos presentes (Fig. 20). Esta figura puede corresponder a una primera aproximación para clasificar las formas del relieve, que resulta útil para continuar los estudios geomorfológicos ya que contiene las propiedades principales del relieve.

ZONA/ CARACTERISTICAS	CONOS DOMOS VOLCANICOS CALDERA CHICHICUAUTLA estructuras formadas en el Pleistoceno y el Holoceno	PIÉDEMONTE VOLCANICO constituido por lavas y material volcánico PIEDEMONTE EROSIVO asociado a las estructuras más antiguas	PLANICIES LIGERAMENTE INCLINADAS aluvial y lacustre
CLIMA	BS ₁ Kw(w) (i)g C(Wo (w)b(i')g C(W ₁ '')(w) big	BS ₁ Kw(w) (i)g C(Wo (w)b(i')g C(W ₁ '')(w) big	BS ₁ Kw(w) (i)g C(Wo (w)b(i')g C(W ₁ '')(w) big
SUELO (predominante)	Cambisol, Feozem, Litosol. Regosol	Regosol, Cambisol, Feozem	Vertisol, Feozem
VEGETACION (predominante)	Matorral crasicaule, bosque de oyamel, bosque de encino-pino y bosque de Tascate	Matorral crasicaule, bosque de oyamel, bosque de encino-pino bosque de Tascate y pastizal inducido	Agricultura de riego y temporal y pastizal inducido
ALTIMETRIA (msnm)	2800 a > 3000	2550- 3000	<2450-2600
DENSIDAD DE DISECCIÓN (Km/Km ²)	Predominan de 2.0 – 3.5	1.0 – 2.5	0 – 1.0
ORDEN DE CORRIENTES	1 ^{er} y 2 ^o	2 ^o y 3 ^{er}	3 ^o y 4 ^o
PROFUNDIDAD DE LA DISECCION (m)	50 - 150	10 - 50	0 a <10
ENERGIA DEL RELIEVE	> 250	50 - 250	10 a <20

FIGURA 20. Tabla de síntesis de la zonificación geomorfológica en el área de estudio

4.2 MORFOGÉNESIS

El término morfogénesis se refiere al origen de las formas del relieve terrestre. Se apoya en el concepto de que el relieve es el resultado de la interacción de procesos endógenos y exógenos. Los procesos endógenos se manifiestan por la actividad tectónica y volcánica, es decir, forman el relieve terrestre. Los procesos exógenos se manifiestan por el intemperismo, la erosión y la acumulación (Lugo,1988).

En este apartado se presenta el objetivo principal de este estudio, el mapa geomorfológico detallado, en el cual se clasifican las formas del relieve de acuerdo con su origen. El análisis del mapa se realiza tomando en cuenta el orden de la leyenda (ver mapa anexo).

Los rasgos morfológicos de la zona de estudio son fundamentalmente de tipo volcánico, producto de la gran actividad que se produce desde el Pleistoceno. En el área de estudio los rasgos morfológicos, comprenden desde pequeños conos volcánicos hasta laderas que alcanzan elevaciones mayores a 2000 msnm. Los rasgos Cuaternarios son los que más se presentan en el área de estudio formando desde pequeños domos hasta grandes estructuras montañosas. Asimismo, la gran mayoría de las formas volcánicas del área presentan su forma bien conservada, con poca alteración.

Los procesos exógenos han contribuido a formar el relieve: la planicie, en donde se encuentra el lago de Tecocomulco y que Aguayo *et al.*, (1989) consideran una depresión de origen tectónico. Por otro lado, los procesos exógenos se observan formando la planicie central, barrancos, algunos abanicos aluviales, circos de erosión etc.

En el área cartografiada están presentes los tres grupos principales del relieve: endógeno, endógeno modelado y exógeno. El primero se refiere a un tipo volcánico acumulativo (representado por derrames de lava), se subdivide en explosivo, efusivo y extrusivo y combinaciones de estos. En referencia al relieve endógeno modelado, comprende las formas del relieve transformadas por erosión (relieve volcánico erosivo). El relieve exógeno se refiere a aquellas formas originadas por acción de la erosión y la acumulación.

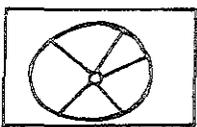
I. RELIEVE ENDOGENO

1.1 Volcánico Acumulativo

Se trata del relieve formado por la expulsión de material volcánico. En el área de estudio consiste en un conjunto de conos volcánicos cineríticos y sus derrames de lava. Se encuentran rodeando a la planicie lacustre.

1.1.1. Relieve volcánico-explosivo

Se refiere a todas las formas del relieve originadas por la expulsión de material piroclástico en forma violenta, a través de un conducto central. Las formas principales son los conos volcánicos cineríticos.



Conos volcánicos cineríticos

Generalmente se refiere a conos volcánicos de pequeñas dimensiones, constituidos predominantemente de ceniza, lapilla escoria, bombas y brechas, generalmente de composición basáltica y andesítico-basáltica.

El área de estudio es una porción de la cuenca de México con alta concentración de volcanes jóvenes, cuya edad se ha establecido o inferido de fines del

Pleistoceno (menos de 40 000 años) y del Holoceno. Se han identificado aproximadamente 93 incluyendo adventicios, de los que resulta un valor medio aproximado de un cono volcánico en cada 10 km².

Existen características comunes a estos edificios volcánicos pues algunos poseen cráter con un grado de relleno, otros se encuentran abiertos en forma de herradura; son frecuentes los cráteres adventicios; el diámetro en la base del cono generalmente es de 500 a 1000 m; la pendiente en promedio es entre los 15° y 32° su altura relativa en la mayoría de los casos es menor de 200 m. La mayoría de estos volcanes jóvenes muestran derrames de lava. Por esta característica se ha descrito estos volcanes de acuerdo a su disposición:

Derrames de lava

En apariencia, todos los conos cineríticos que se describen a continuación tuvieron derrame de lava que también se describe, donde la superficie actual de estas depende de la secuencia evolutiva. El derrame de lava más joven está bien expuesto y tiene grandes dimensiones. Los derrames de lava se clasifican en este trabajo en tres tipos principales, de acuerdo con su expresión en el relieve. El primero, el más joven, donde las lavas están bien conservadas y han sido modificadas en grado mínimo por los procesos de la erosión y la acumulación. En las lavas del segundo y tercer tipo, se han formado algunos barrancos resultado de la deforestación y la traza de veredas. En el área de estudio éste es el tipo de relieve dominante, un conjunto de derrames de lava y depósitos piroclásticos sobrepuestos.

Lavas de primer tipo (las más recientes)

A partir de la fotointerpretación y la corroboración en campo, se definieron los límites de los conjuntos principales, lo que permite reconocer una primera categoría de derrames de lava. Son las que están bien expuestas en la superficie, completas y no cubiertas parcialmente por otros depósitos volcánicos. Son los

derrames con mayor expresión en el área. Al SW, sobre la carretera estatal, en dirección Otumba-Ciudad Sahagún, se observa una serie de conos y derrames de lava.

Volcán San Simón

Las lavas del volcán San Simón y dos conos contiguos se extienden hacia el norte y sur. Surgió en una zona de planicie y se encuentra en contacto con la planicie lacustre. Su morfología es de una extraordinaria juventud, posiblemente del Holoceno. Presenta una altura relativa de 25 metros y su diámetro es de aproximadamente 1400 metros. Las lavas que se extienden hacia la parte norte aprovechan una depresión, posiblemente un valle fluvial. Los derrames que provienen de este volcán se encuentran en proceso de transformación por la actividad agrícola, principalmente de cultivos de temporal que en ellos se desarrolla.

Otros volcanes que presentan algunos derrames de lava son Cerro Tlacoyo, y otros dos más sin nombre, que también surgieron en una zona plana; son relativamente jóvenes, tienen diámetro aproximado entre los 400 metros, de poca altura de unos 120 metros.

Volcán Santa Catarina

Una superficie de lava que proviene de estos volcanes y un cono contiguo (V. San Isidro), tiene una altura aproximada de 120 m respectivamente. El derrame de lava se extiende al sur y norte, estrechándose al oriente y occidente. Es un derrame cubierto, de gran extensión, de composición andesítica. También esta es una de las zonas que se encuentran en las partes más bajas del área de estudio, en proceso de transformación por la actividad agrícola. En las lavas hay un banco de material. La cabecera municipal Tlanalapa se encuentra sobre un cono de escoria de poca altura, en contacto con la planicie aluvial.

Volcan Peñitas

También con rasgos de juventud, el volcán Peñitas, es un cono cinerítico, con un diámetro en la base de 700 metros, una altura relativa de 100 metros desde su base; es más reciente que el contiguo (Santa Ana) y destacan junto a él, otros adventicios asociados (Fig. 21). El derrame de lava del Peñitas es de composición andesítica, tiene una buena expresión topográfica. Su anchura es uniforme al sur y norte, ya que al oriente y occidente se vuelven más estrechos en contacto con otros derrames. Este conjunto montañoso presenta rasgos de modelado antrópico, por lo que se encuentra muy erosionado, producto de la deforestación y del material piroclástico poco consolidado que se encuentra sobre el derrame de lava. La deforestación tiene más efectos sobre la base, donde el material piroclástico que se erosiona da lugar a la formación de cárcavas.



FIGURA 21 Cono volcánico cinerítico "Peñitas". Se aprecia un cono (A) y un gran derrame de lava de lava (B) que se extiende hasta entrar en contacto con la planicie (C).

Una gran superficie de lava bien expuesta y en contacto con los derrames de lava provenientes del Peñitas, son los pertenecientes a los conos volcánicos cineríticos La Leona, La Cruz y otros adventicios sin nombre que surgieron también al sur de esta área. Los derrames se extendieron hacia la planicie lacustre, lo que se reconoció por la dirección de las lavas. Su composición es andesítica. La superficie

de este derrame de lava se encuentra en proceso de transformación por la actividad humana, lo que incluye la deforestación, cultivos, creación de bordos y la urbanización.

Volcán Viejo de Tultengo

Es un cono volcánico cinerítico (Fig.22). Su altura aproximada es de 180 m sobre su base; también de rasgos jóvenes, su composición es andesítica, el derrame de lava proveniente de él está bien expuesta en la superficie; se extiende en todas direcciones, y su contacto con la planicie es claro. La pendiente es fuerte y muestra un alto grado de intemperismo químico y físico. La roca está fragmentada y sufre desprendimientos, lo que se reconoce en una gran cantidad de rocas caídas por gravedad, además de que esto puede ser influenciado por la humedad que proviene del lago Tecocomulco.

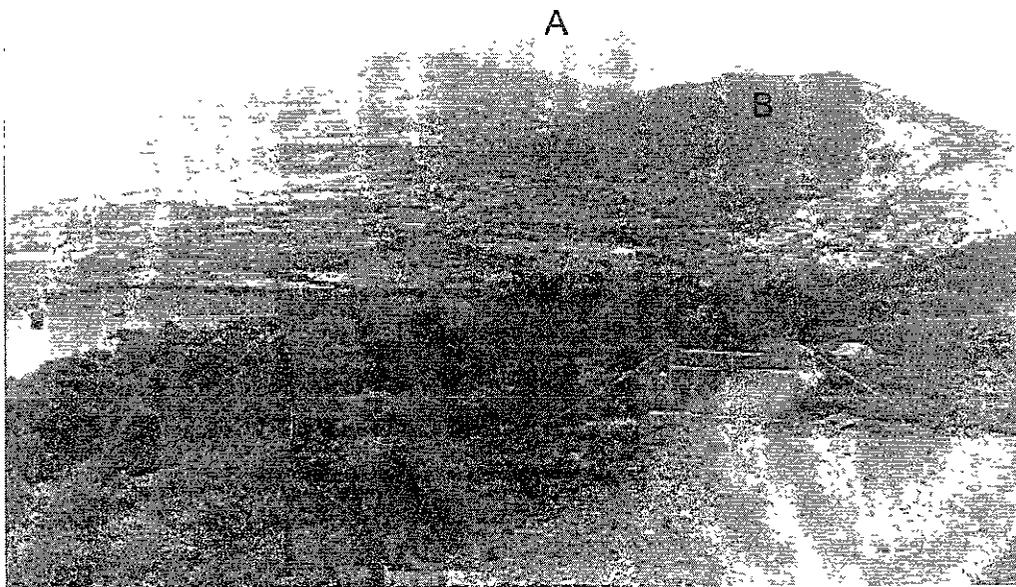


FIGURA 22. Conos volcánicos, al sur del área en estudio. (A) se trata del cono volcánico "Peñitas" y (B) el cono volcánico "Viejo de Tultengo". En ambos se aprecian sus derrames de lava asociados al piedemonte de origen volcánico acumulativo.

Volcán Cerro La Paila

Este cono cinerítico está situado en la parte central de la zona estudiada (Fig. 23), se localiza al norte del Cerro El Jihuingo, donde las lavas son de composición basáltica, originalmente de alto grado de fluidez. Los derrames que provienen de este edificio volcánico tienen gran extensión, además de que se extiende de manera horizontal y en todas direcciones, cubren en cierta medida a las lavas que provienen del Cerro Rinconada y Cerro El Somerio. Según lo indica la estructura rocosa, en ningún momento tuvo explosiones violentas energéticas durante su actividad. Considerando sus características morfológicas y extensión horizontal, Ledezma (1987) lo considera un escudo volcán. Al occidente de esta estructura se encuentra un cono volcánico cinerítico, de rasgos jóvenes se trata del Bella Vista. Es un volcán joven de pequeñas dimensiones, con una altura relativa aproximada de 100 m; esta constituido por derrames de lava de composición andesítica, bien expuestos en superficie y entran en contacto con los de La Paila.

Volcán Coatzetzingo

El Coatzetzingo es un cono volcánico cinerítico (Fig 24). Se localiza al NE del área de estudio, tiene una altura relativa aproximada de 120 metros desde su base. Presenta algunos conos adventicios de rasgos jóvenes, constituido por derrames de lava de composición andesítica, sepultadas por material piroclástico, son de gran extensión y se distribuyen de manera uniforme, y también entran en contacto al sur con la planicie lacustre. En esta estructura es notable el desarrollo de barrancos, con una profundidad de 10 a 20 metros. Hoy presenta un alto grado de deforestación, aunque hay algunos árboles.

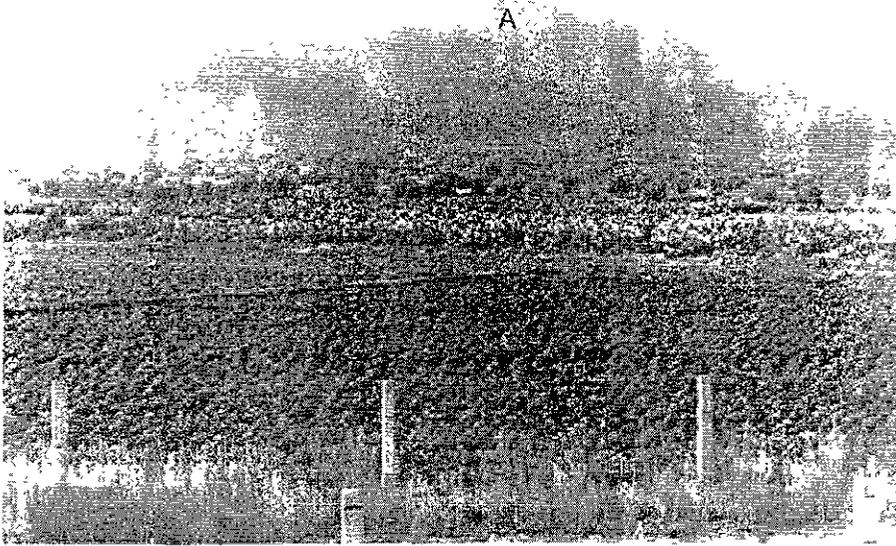


FIGURA 23. Volcán "Cerro La Paila", se aprecia el cono (A), el derrame de lava que proviene de el y en primer plano se observa la planicie aluvial (B).

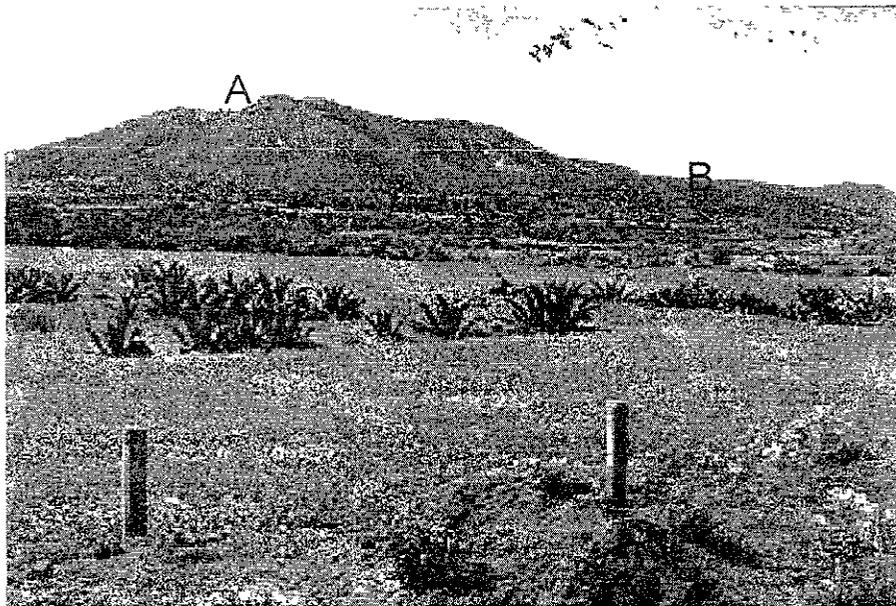


FIGURA 24 Cono volcánico "Coatzetzingo", es posible observar el cono (A), un gran derrame de lava bien expuesto en superficie (B). En primer plano se observa la planicie lacustre.

Volcán La Paila

Localizado al noroeste del lago Tecocomulco, es otro de los elementos volcánicos considerado como cono cinerítico más relevantes de la zona estudiada, y uno de los más jóvenes (Fig. 25). Debe su origen a erupciones volcánicas de lavas básicas de alta fluidez, pero, en su última etapa formó un tapón de lavas viscosas dentro del cráter. Al enfriarse se originó una estructura cómica elipsoidal, más ancha en su extremo oriental que en su extremo occidental. Los derrames de lava que provienen de este volcán tienen buena expresión topográfica. En su etapa de efusión cubrieron varios kilómetros cuadrados afectando otras estructuras y rellenando parcialmente la depresión tectónica que ocupa actualmente el lago Tecocomulco. Este conjunto volcánico no es muy alto, presenta una altura relativa de 160 metros, y conserva su cráter. Las lavas que provienen de este volcán son de composición andesita-basalto, cubren en gran parte los domos Singuilucan al este del mismo. En el volcán La Paila hay desarrollo de barrancos en los contactos de estructuras volcánicas. En estas áreas se desarrolla vegetación de bosque y se practican cultivos de temporal, además, son zonas muy húmedas en verano.

Volcán Tecajete

Al occidente de Santa María Tecajete se encuentra el cono volcánico cinerítico del mismo nombre, se reconocen algunos adventicios (Fig. 26). Está constituido por derrames de lava de composición andesítica. Tiene una altura aproximada de 400 metros y cuenta con un cono adventicio. Es un volcán con un cráter destruido, abierto al SW, con una pendiente fuerte; la ladera oriental tiene una pendiente de 29° y la ladera occidental de 36°; esto podría sugerir que no tiene derrame de lava. La base de esta estructura se encuentra en contacto con un piedemonte rocoso o pedregoso; favorecida por la erosión. La vegetación que se desarrolla en esta área es de maguey y algunas cactáceas, los campos de cultivo marcan el inicio del piedemonte.

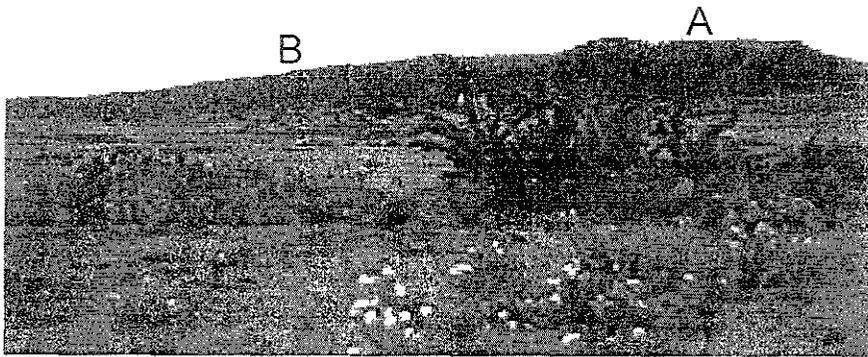


FIGURA 25 Cono volcánico "La Paila" (A). Se aprecia un derrame de lava proveniente de él (B).
Y en primer plano es posible observar la planicie aluvial

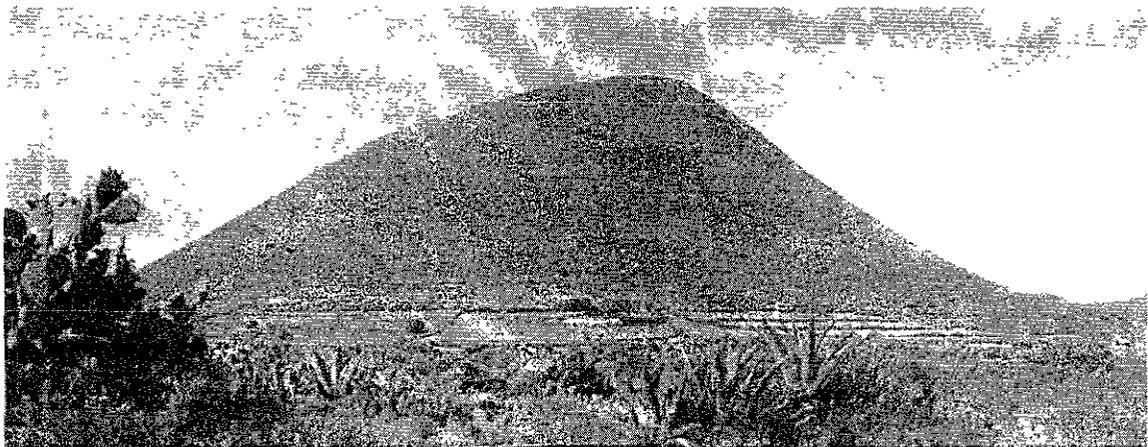


FIGURA 26. Cono volcánico "Tecajete", es posible observa el derrame de lava que es asociado a un piedemonte volcánico. En primer plano se observa la planicie aluvial

Volcán San Rafael

De rasgos jóvenes, también tiene un cono adventicio (Fig. 27). Su altura relativa es de 110 metros y la ladera de mayor pendiente tiene aproximadamente 20°. Está constituido por escoria y derrames de lava de composición andesítico-basáltica muy intemperizada, que se va destruyendo en bloques; no es una lava muy antigua y la disposición de bloques se produce por el enfriamiento que hace más fácil la fractura y el intemperismo contribuye al desarrollo de este proceso. En su estructura predominan las lavas sobre los piroclásticos. Su morfología incluyendo las lavas asociadas, permiten inferir una edad cuaternaria. Además las lavas parece estar encima del material proveniente del Tecajete, por lo que se deduce que el volcán San Rafael es más joven. En estas zonas los campos de cultivo de temporal marcan el inicio del piedemonte.

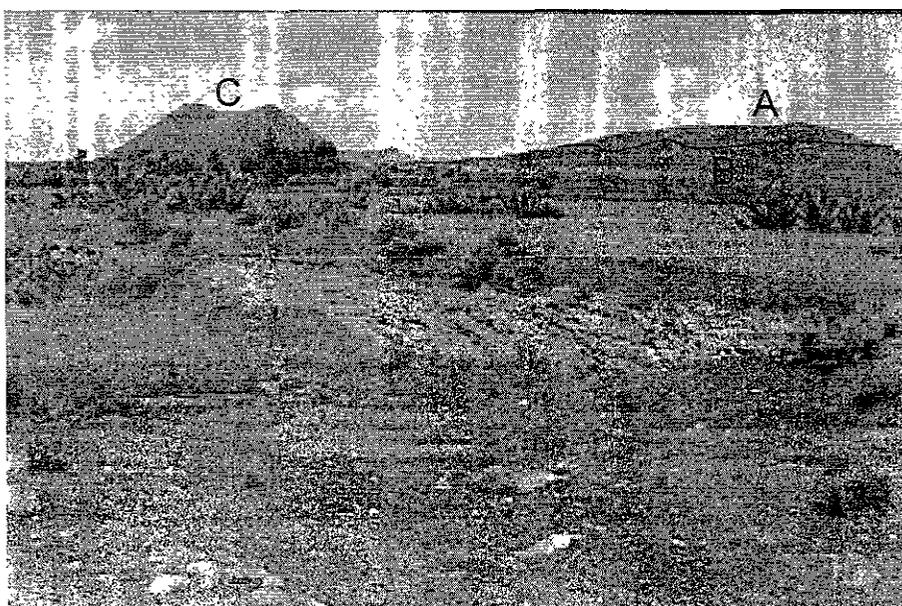


FIGURA 27. Conos volcánicos De izquierda a derecha se observa: el "Tecajete" (C). A la derecha se distingue el cono volcánico "San Rafael" en este último se aprecia un cono (A), un gran derrame de lava (B). En primer plano se puede observar el material piroclástico.

Volcán San José

Se localiza al NE del área estudiada. El San José es también un cono cinerítico de pequeñas dimensiones, con una altura aproximada de 70 metros desde su base, por lo que es una de las estructuras volcánicas de menor altura y que se encuentra en proceso de deforestación. Está constituido por derrames de lava, aunque sepultados por material piroclástico proveniente del mismo volcán, pero con una clara expresión y hace contacto con un barranco. Es una estructura volcánica en la zona más baja, además, de que presenta una densidad de disección muy débil lo que refleja escasa erosión fluvial.

Volcanes El Colorado y Santiago

Se localizan al NW de la zona en estudio. Se trata de conos cineríticos de poca altura, aproximadamente de 70 metros desde su base. Tienen una altura de unos 2600 msnm. Está constituido por escoria y derrames de lava de composición andesítico-basáltica que los rodea en todas direcciones; es una lava bien conservada y se reconocen en la superficie, además está cubierta por suelos delgados, incipientes, con cultivos de maíz además de que se desarrolla vegetación de cactáceas.

Volcán sin nombre (utilizado como banco de material)

Es también un cono cinerítico de rasgos jóvenes (Fig. 28), con pendiente de aproximadamente 16°. Se trata de un cono constituido de escoria, material que domina en la superficie y derrames de lava, ahora utilizado como banco de material; se encuentra al sur del poblado Santa María Tecajete, debe ser uno de los más antiguos porque está sepultado, el cráter se relleno totalmente de sedimentos, sin embargo, está perfectamente formado, tiene una edad aproximada de más de 25 mil años. La mayor parte del cono ha sido modificado por la extracción de material. La excavación hacia el interior del volcán ha puesto al descubierto la escoria de color rojo, característico en este tipo de volcanes.

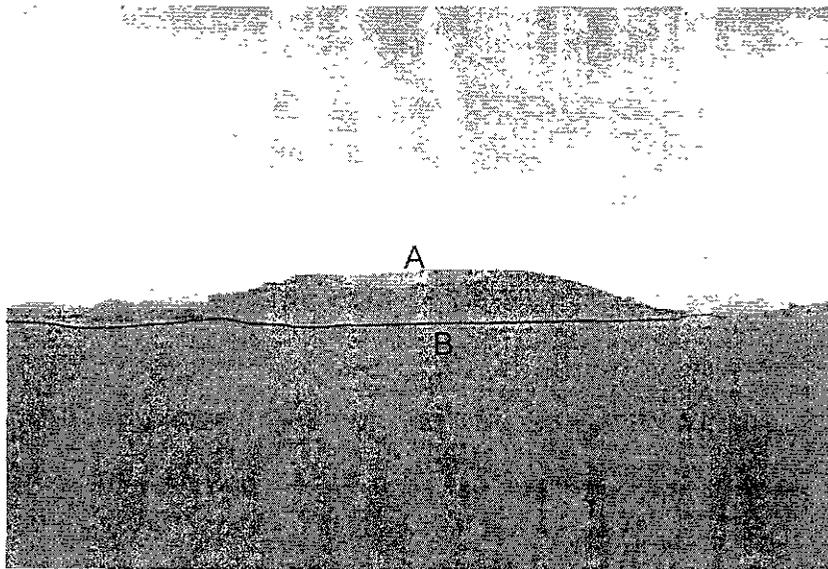


FIGURA 28. Cono volcánico, actualmente utilizado para la extracción de material (A). Es una estructura que ha estado siendo rellenada por material aluvial (B). En primer plano se observa la planicie en la que se cultivan trigo y la cebada, entre otros

Volcán La Gloria y volcán La Conchita

Se localizan al occidente de la Caldera Chichicuautila. Se trata de una serie de conos volcánicos cineríticos y adventicios, compuestos de escoria y derrames de lava expuestos y cubiertos en superficie.. Tienen una altura relativa aproximada de 90 metros y 50 metros desde su base respectivamente. Aparentemente, los derrames de lava que provienen de este cono son lavas que no se encuentran cubiertas por otro material volcánico, y cubren parcialmente a los domos Singuilucan.

Lavas de segundo tipo (muy jóvenes)

En este grupo quedan comprendidas las lavas y volcanes anteriores en el tiempo a las del primer tipo, es decir, han sido cubiertas por el material de acarreo, depósitos de piroclastos de volcanes más jóvenes, además, una de las

características de estos derrames, es que las lavas que provienen de ellos no se conocen de manera completa por estar cubiertos por otros.

Volcán Santa Ana

Es un cono volcánico cinerítico y otros adventicios. Está constituido por un derrame de lava de composición andesítica-basáltica (Fig. 29). Se encuentra en el extremo sur de la zona en estudio, al oriente de Ciudad Sahagún, por el camino Apan-Tepeapulco. Presenta una elevación de 3000 msnm, tiene un diámetro de 700-1100 metros. Representa un cono compuesto con alternancia de derrames de basalto, escoria y cenizas volcánicas. El derrame se extiende hacia el oriente, de tipo basáltico se encuentra cubierto por material piroclástico. Cuando ocurrió la erupción en este conjunto volcánico, las lavas fluyeron sobre las andesitas del Cerro Jihuingo; de este modo se formó una pequeña cuenca que dio origen a la Laguna Tecocomulco. Hacia el valle los materiales volcánicos se vuelven más finos. El Santa Ana con un gran derrame de lava origina una forma de escudo. Este volcán es parte de una serie de volcanes superpuestos en dirección NE, donde éste es uno de los más notables por su altura. La litología indica que éste volcán durante su edificación tuvo periodos de explosiones violentas en que arrojó cenizas en alternancia con periodos tranquilos durante los que expulsó lavas. El material arrojado por este aparato volcánico es posterior a las rocas dacíticas de la estructura dómica del Cerro El Jihuingo, localizado en el norte de Tepeapulco. En la actualidad, en el Santa Ana hay árboles, principalmente en el cono. Los derrames se utilizan para cultivos, como maíz y papa.

Volcán Rinconada y el Volcán El Somerio

Hacia la carretera a Singuilucan se encuentran estos conos cineríticos. El Rinconada presenta una ladera muy empinada, además de un piedemonte erosivo. Al oriente entra en contacto con la planicie aluvial. El cono se encuentra abierto hacia la planicie, además, se aprecia un frente de lava de gran extensión, (casi llegando a Singuilucan); una zona amplia de lavas, con su límite contiguo a la carretera, indica que provienen del Rinconada y Somerio. Entre estos volcanes

se encuentra un abanico. En la estructura del Somerio se presentan unos barrancos bien formados y la desembocadura forma un gran abanico. En el volcán Rinconada hay un piedemonte y la vegetación es de bosque, aunque prevalece en el Somerio.

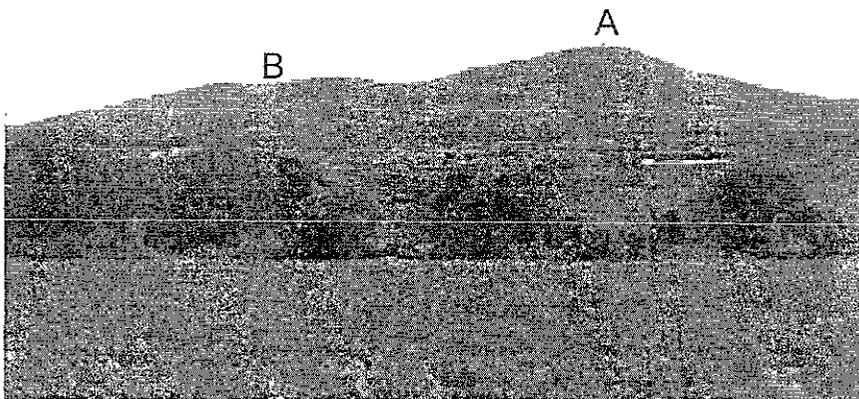


FIGURA 29. Conos volcánicos: (A) Santa Ana. Se observa un cono y un gran derrame de lava que se extiende hasta la planicie aluvial. (B) El volcán Peñitas, su derrame cubrió en algunas áreas a los provenientes del volcán adjunto.

Volcánes El Seco y El agua

Se localizan al NE del área en estudio. Se trata de una serie de conos cineríticos también de rasgos jóvenes que presentan cráter (Fig. 30). Tienen una altura relativa aproximada de 180 metros. Constituidos por derrames de lava de composición andesítico-basáltica, están cubiertos por materiales provenientes de los volcánes La Paila y El Coatzetzingo. Una parte de las lavas de este volcán descansan sobre las del Tiololo. No tiene un alto grado de erosión y en el se desarrolla bosque.



FIGURA 30. Conos volcánicos "El Seco" (A) , además se observan unos adventicios, están constituidos por un derrame de lava que es posible apreciar. A la izquierda se aprecia el cono "Coatzetzeno" (B). En primer plano es posible observar la planicie lacustre, en donde se practica el cultivo de maguey.

Lavas del tercer tipo (las menos jóvenes)

Esta categoría pertenece a las lavas que se encuentran cubiertas por las anteriores, sin ocultar la forma general del derrame. La geomorfología permite delimitar una buena presentación de este tipo de derrame. En el área de estudio es el grupo de lavas que tienen menor extensión.

Volcán El Tiololo

Es un cono cinerítico que tiene cráter en forma de herradura (Fig. 31). Está constituido por derrames de lava. Se encuentra al NE del área estudiada, en el interior de la caldera Chichicauhtla, es un cono volcánico joven. El derrame de lava se encuentra cubierto de piroclastos con un metro de espesor. Las lavas se conjugan con los del volcán la Paila. La vegetación es de bosque y se practican cultivos de temporal.

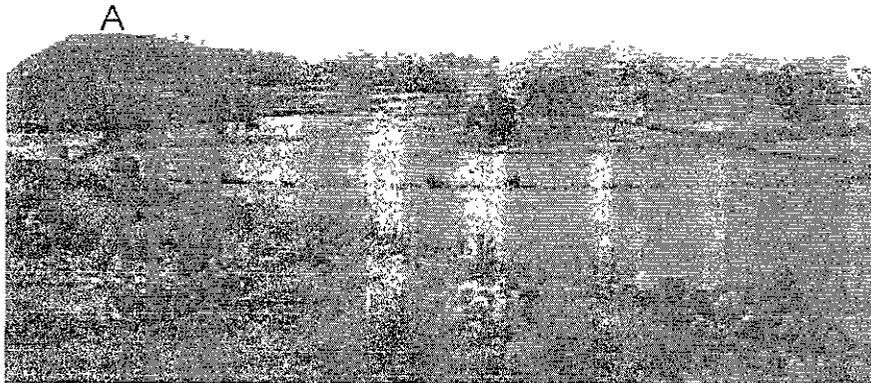


FIGURA 31 Cono volcánico "El Tiololo" (A) emplazado en el interior de la caldera Chichicuautila, ha sido cubierto relativamente por material proveniente de otros edificios volcánicos. Es posible observar su cono así como una pequeña extensión de derrame de lava proveniente de él en contacto con la planicie aluvial.



Domos volcánicos

Estructuras volcánicas que consisten en elevaciones en forma de arco redondeado más o menos isométrico. Las dimensiones de los domos pueden ser muy diversas, alcanzando en sección transversal algunas decenas de km.

Domo Jihuingo

Sobre la carretera, en dirección a Tecocomulco se observa una gran estructura volcánica de tipo poligenético, formada por una serie de domos y un volcán principal de lavas intermedias (Fig. 32). Los derrames de lava provienen del

volcán Jihuingo y alcanzan alturas entre 10 y 40 metros. Son lavas bien expuestas, lo que indica que la erosión no es de gran intensidad. Las laderas de esta estructura tienen una pendiente de más de 40°. Esta forma volcánica se une con la planicie en un contacto muy brusco, gran parte de estas laderas se encuentran desnudas por la deforestación que facilita la erosión. Asimismo, el escurrimiento superficial facilita la erosión y al pie de esta estructura se forma una serie de abanicos aluviales. En este relieve se encuentra una serie de escarpes, algunos de ellos contiguos, o unidos por circos de erosivos (como sucede en la cima del Jihuingo), a los que se unen barrancos, donde los más activos dan lugar en su desembocadura a la formación de abanicos (Fig. 33). Un caso específico, es el pueblo Los Cides, mismo que se encuentra asentado en gran parte del abanico formado por bloques que varían de tamaño de 3 a 60 centímetros de diámetro, subangulosos (Fig. 34), lo que nos sugiere que su formación se debió a un flujo de lodo y rocas. Hay un peligro latente, ya que con la presencia de los escarpes, existe la posibilidad de un desprendimiento de material. Este abanico es de formación posterior a la estructura del Jihuingo y junto se encuentra otro, que se fusiona con el piedemonte.

Al pie de esta estructura y al margen de la carretera se encuentra un barranco que nace en las partes altas del Jihuingo y se extiende entre el contacto del piedemonte del Peñitas y Santa Ana. El Jihuingo se encuentra cubierto por materiales característicos de volcanes como el Santa Ana. El cauce fluvial es de formación muy reciente, ya que no ha dado lugar a la formación de llanuras aluviales.

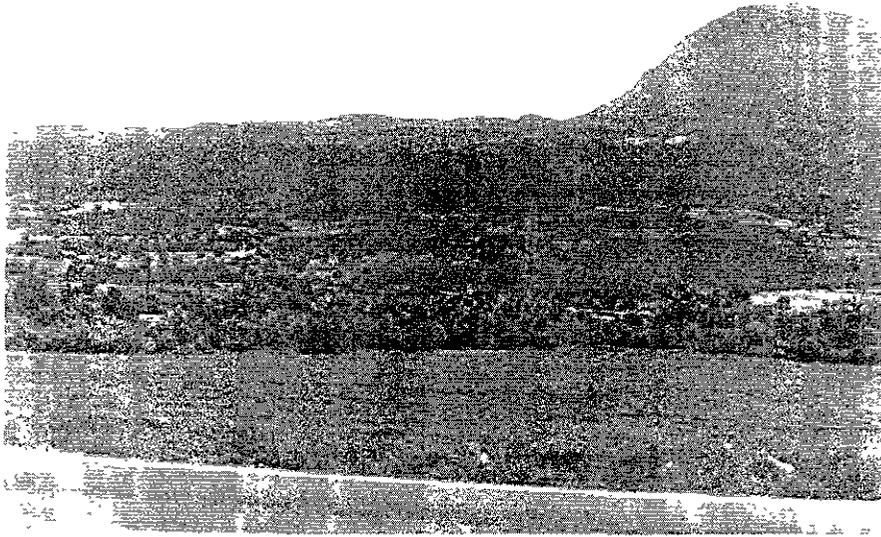


FIGURA 32 Estructura "Jihuingo" Se aprecia el volcán principal (A) y un frente de lava que proviene de él (B). En primer plano se observa un piedemonte volcánico, que esta en contacto con la planicie aluvial.



FIGURA 33 Conjunto de domos y el volcán principal (A), al pie de esta estructura es posible observar el desarrollo de conos de eyección, producto del trabajo erosivo que realizan los procesos exógenos (B).

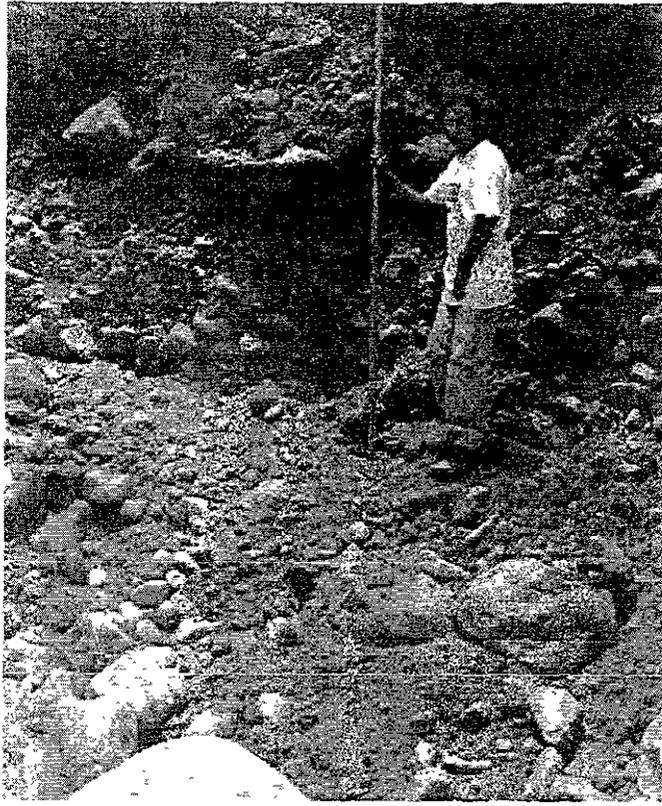


FIGURA 34 Cono de eyección, al pie de la estructura el "Jihuingo". Se aprecian los detritos subangulosos y sin clasificación.

Domos Cocinillas y Colorado

Al SE del área, cerca del Pueblo Mazatepec es posible reconocer una serie de domos con derrames de lava de composición andesítica que se disponen en todas direcciones, se encuentran a una altura entre los 2600msnm. En su conjunto da la apariencia de una cresta de caldera cubierta por volcanes muy jóvenes. Poseen un piedemonte estrecho que se une con la planicie; además, hay una zona de transición inundable. En esta estructura se encuentra el domo Cocinillas con erosión notable, consistente en barrancos activos cuyas cabeceras avanzan hacia el cráter. El poblado del mismo nombre está asentado sobre la superficie de los derrames de lava sepultada por uno o dos metros de sedimentos. En esta zona hay árboles, pero se presentan barrancos y un abanico, sobre la planicie hay cultivos de maíz.

Las estructuras más antiguas

Domos Zempoala

Cerca del Pueblo Zempoala (Fig. 35) se encuentra una serie de domos antiguos con derrames de lava que forman una mesa de composición andesítica. Tienen una altura relativa de 50 metros. Aparentemente son de edad miocénica, han sido rebajados y destruidos por la erosión, es decir, son residuos. Además, por efectos de la erosión se han desarrollado barrancos a lo largo del contacto de las lavas que forman el piedemonte. Además de ser domos de poca altura, su pendiente aproximadamente es de 15° . Otra forma del relieve que se presenta asociada a ellos es un piedemonte de acumulación fluvial, de material fino. En estas estructuras la vegetación que se desarrolla es de yucas, nopales y órganos, entre otros, lo que refleja un clima seco. El suelo que se aprecia en este lugar es pedregoso, producto de la erosión laminar o planar, por lo que aquí no se produce una erosión vertical como la que se presenta en el volcán Santa Ana, pues la roca es más resistente.

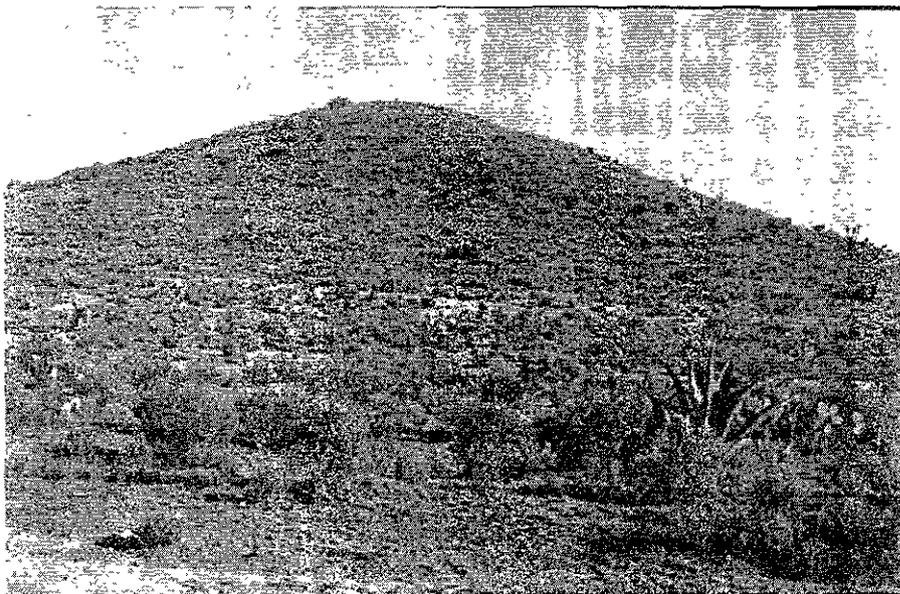


FIGURA 35 Domo volcánico "Zempoala", se aprecia su forma redondeada, es una estructura volcánica más antigua.

Domos Singuilucan

Al oriente del poblado Singuilucan; se encuentra una estructura volcánica formada por una serie de domos de composición andesítica de edad terciaria. Son domos erosionados, sepultados por derrames de lava que provienen de estructuras más jóvenes, como los volcanes La Paila y Rinconada. Al pie de éstos se extiende un piedemonte de poca extensión. En esta área se desarrolla cultivo de maguey principalmente.

Domo San Albino

Se ubica al norte de la zona, sus lavas aunque de menor extensión, tienen clara expresión en el relieve. Las lavas que se encuentran sepultadas forman el piedemonte, son estructuras del Oligoceno, de composición ácida. Su altura relativa es de 80 metros, tiene una pendiente alrededor de los 20°. Es una de las zonas que también se encuentran deforestadas y se practica cultivo de maguey.

Caldera Volcánica Chichicuautla

Es una forma debida a procesos explosivos, que también forman un volcán de escoria y una serie de domos alineados en forma de media luna. Es una de las estructuras volcánicas que se localiza a unos 5 kilómetros al oriente de Singuilucan y destaca en el área de estudio. Consiste básicamente en una serie de domos dispuestos de manera circular en plano, con una altura estimada de 250 m y diámetro de 6 kilómetros. Dicha caldera esta fallada en su flanco suroccidental y la parte interna de su cráter está inundada por lavas andesítico-basáltica más jóvenes, del Cuaternario. Probablemente la caldera se originó por una explosión volcánica, los domos, en especial los más altos forman peñascos (Fig. 36), parte de ellos presenta un alto grado de erosión, lo que indica la antigüedad; algunos todavía tienen vegetación en las crestas y laderas; en las lavas y en la planicie interior hay cultivos de temporal.

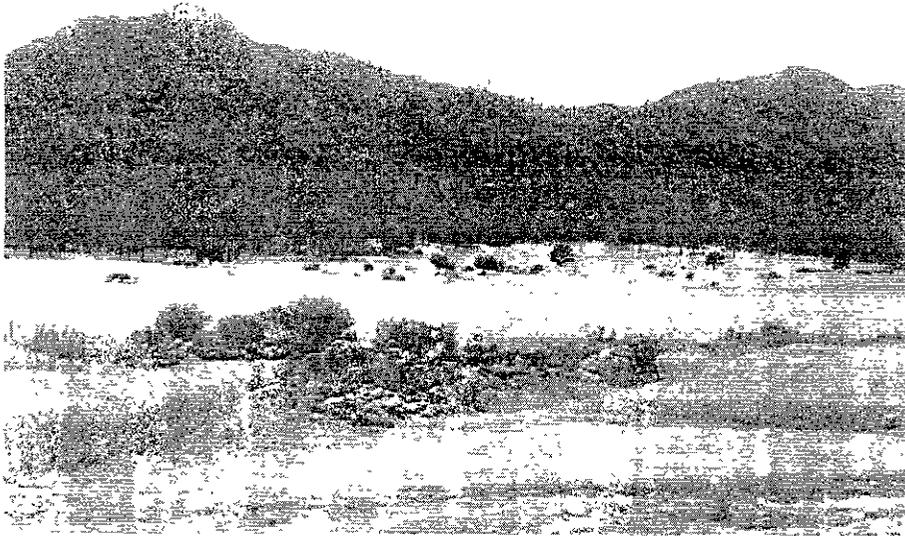


FIGURA 36. El interior de la Caldera Chichicuautila, es posible apreciar el desarrollo de algunos peñascos (A), por lo que se distingue el alto grado de procesos erosivos.

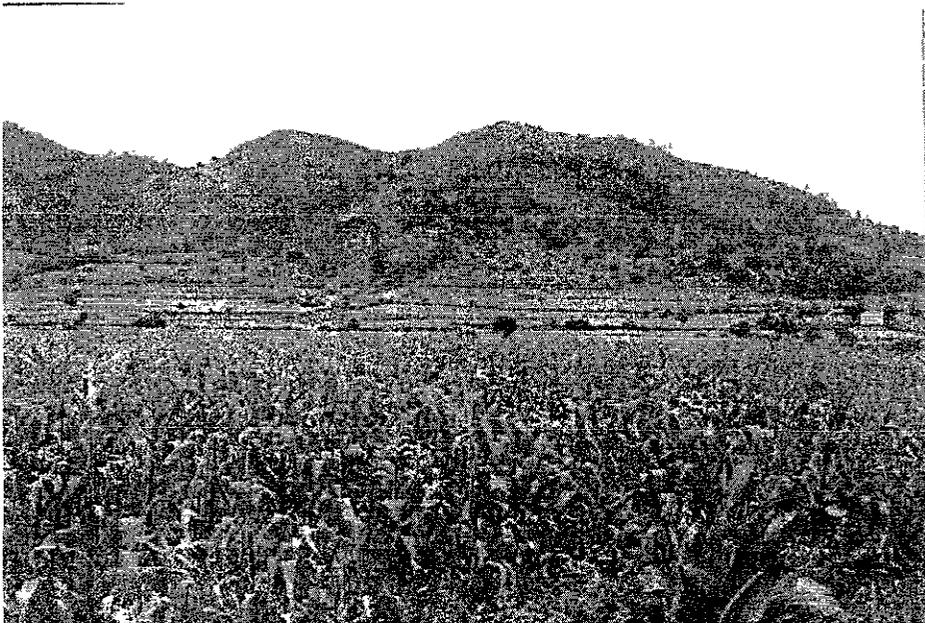


FIGURA 37. Al fondo se observan algunas laderas de la caldera Chichicuautila, al pie de esta se observa un piedemonte erosivo que se encuentra en contacto con la planicie lacustre en primer plano.

Siguiendo el camino a Tecocomulco es posible observar la parte exterior de la caldera (Fig. 37) son formas que se encuentran en proceso de deforestación, que facilita la acción de los procesos exógenos, por lo que se manifiestan en un gran desarrollo de circos erosivos y barrancos, que indican que es una forma del relieve en el área de estudio que presenta una erosión muy avanzada. Existen desprendimientos de material en lugares donde la erosión origina forma tipo herradura y el material acumulado va formando un piedemonte.

II. RELIEVE ENDOGENO VOLCÁNICO-MODELADO

En esta categoría quedan incluidas las formas del relieve por procesos endógenos tectónicos volcánicos que no conservan su forma original, es decir, han sido modelados sustancialmente por la actividad exógena. Ya que el área en estudio es volcánica, las formas del relieve pertenecen al tipo volcánico erosivo (o volcánico denudatorio).

El modelado de las formas volcánicas depende de muchos factores: edad de las rocas y tiempo que han permanecido a la intemperie, litología, pendiente del terreno, condiciones climáticas entre otros. Todos estos factores influyen en un grado determinado sobre los procesos exógenos, por lo que el relieve y su modelado se debe relacionar con los mismos.

2.1 Relieve volcánico erosivo

Las formas representativas de esta clasificación del relieve en el área de estudio se encuentran principalmente sobre las cadenas montañosas volcánicas anteriores al cuaternario (Plioceno). En este caso se reconoce una forma de este tipo de relieve.

Laderas de conjuntos volcánicos-erosivos

En el área de estudio ocupan una superficie considerable. Se trata de laderas de material volcánico, lavas y piroclastos . (Fig. 38) En las laderas en cuestión y las que se mencionaran a continuación, el proceso erosivo-fluvial, tanto vertical como lateral, ha tenido un amplio desarrollo en comparación con las formas anteriores.

Este tipo de relieve se reconoce al este del domo Jihuingo, en el extremo occidental del mapa geomorfológico. Se trata de una estructura compuesta por domos volcánicos de composición andesítica, en apariencia más antiguas que el Cuaternario, en donde la erosión fluvial ha llevado a cabo una acción de modelado formando una serie de barrancos. Es una forma donde la erosión ha actuado más que en las anteriores formas del relieve. Las laderas presentan una gran pendiente, misma que favorece un alto grado de intemperismo, el escurrimiento de agua, y por consecuencia, el continuo acarreo de materiales. La profundidad de disección es de unos 20 metros. Es una unidad muy antigua, donde las laderas se encuentran muy erosionadas, y se puede notar el desprendimiento frecuente de rocas. También hay desarrollo de circos de erosión, seguidos por barrancos profundos.



FIGURA 38. Porción de la ladera de conjuntos de domos que corresponden a una de las estructuras más antiguas que se emplazan en el área de estudio

Esta unidad volcánica es de lo poco que se ha encontrado de disección de mayor importancia. Al pie de esta estructura se reconoce un barranco, un caso típico de disección de lavas, con un corte de aproximadamente 20 metros, posiblemente era una grieta que se fue erosionando, formando una serie de bloques subangulosos, los mayores de 1 a 2 metros. El barranco ha originado una erosión total del suelo, lo poco que existe es para el cultivo de maguey.

Otro ejemplo de este tipo de relieve se reconoce en el conjunto de domos denominados El Alto considerado del Oligoceno. Se encuentran en el ángulo noroccidental del área cartografiada. Se trata de un grupo de volcanes donde sus laderas están constituidas por derrames de lava y piroclastos. El diámetro varía de 1 a 1.5 km y están orientados al NE. Tienen una altura aproximada de 130 m, su pendiente no es muy pronunciada; se encuentran cubiertas por cactáceas y es una de las zonas con un alto grado de intemperismo, se presenta un desprendimiento de rocas. Es una zona bastante erosionada, debido a la deforestación.

En estas formas del relieve destacan las laderas de conjuntos volcánicos neogénicos que han sido modelados por la erosión. Es una estructura volcánica compuesta por rocas andesíticas, más antiguas que el Cuaternario, donde también la erosión fluvial ha realizado una acción considerable. Se trata de las laderas exteriores de la caldera. Siguiendo el camino a Tecocomulco es posible observar éstas se encuentra deforestadas, con un gran desarrollo de circos erosivos y barrancos, lo que indica que es una zona de erosión muy avanzada. Hay desprendimientos de material, lugares en donde la erosión origina una forma tipo herradura y el material acumulado va formando un piedemonte; en este caso, las condiciones oroclimáticas y el material poco consolidado han permitido un fuerte desarrollo de los procesos erosivo fluviales.

III RELIEVE EXOGENO

En el área de estudio las formas más extendidas del relieve exógeno son las planicies lacustres y aluviales, así como barrancos, formas erosivas. El relieve exógeno se subdivide en dos grupos principales: destructivo (erosivo o denudatorio) y constructivo (acumulativo), según los agentes que lo originan puede ser de tipo fluvial, lacustre eólico etc.

3.1 Relieve acumulativo

Se refiere a todas las formas originadas por la acumulación de materiales en la superficie terrestre.

3.1.1. Planicies (con sedimentos)

Lacustre y aluvial.

El criterio para delimitar la planicie lacustre en el mapa geomorfológico fue la pendiente del terreno, menor a 0.5° , además de la expresión en las fotografías aéreas y el trabajo de campo. Los contactos trazados son precisos y como se aprecia en el mapa, limita con derrames de lava (Fig. 39) y depósitos piroclásticos entre otros. La planicie que se encuentra en el área de estudio es parcialmente ocupada por el Lago Tecocomulco.

Es una superficie horizontal con procesos de acumulación de sedimentos provenientes de los volcanes vecinos. Aguayo *et al.* (1989) la consideran una depresión de origen tectónico, el nivel bajo en el área en estudio, delimitada por volcanes y derrames de lava descritos anteriormente, alineados en dirección NE, lo que apoya la idea que se trata de un *graben*. Se considera que la planicie que se extiende en la zona era considerablemente más amplia, de tal manera que las lavas de las estructuras volcánicas la cubrieron y la redujeron; sin embargo, el

lago Tecocomulco se encuentra en proceso de desecación por la implantación de cultivos de temporal en esa zona, lo que se acompaña del uso del agua.



FIGURA 39. Porciones de la planicie lacustre que se encuentra en el área de estudio, es posible observar el Lago Tecocomulco. Esta planicie se encuentra rodeada por estructuras volcánicas.

En la carretera a Singuilucan, al oriente del poblado Francisco Villa se encuentra una planicie de nivel de base, posiblemente lacustre. Es muy fértil, con cultivos de temporal, principalmente trigo.

En la planicie se asientan algunos volcanes parcialmente cubiertos por sedimentos lacustres. Es el caso del cono volcánico Mazatepec (Fig. 40). La población que se asienta en esta estructura, se encuentra sobre el piedemonte, lo que indica que esta zona es efectivamente inundable. El piedemonte es de poca extensión porque se une con la planicie, es decir, existe una capa de transición con la zona inundable. La erosión en esta zona ha incrementado el azolve. En los alrededores de este volcán hay cultivo de maíz y trigo, principalmente.

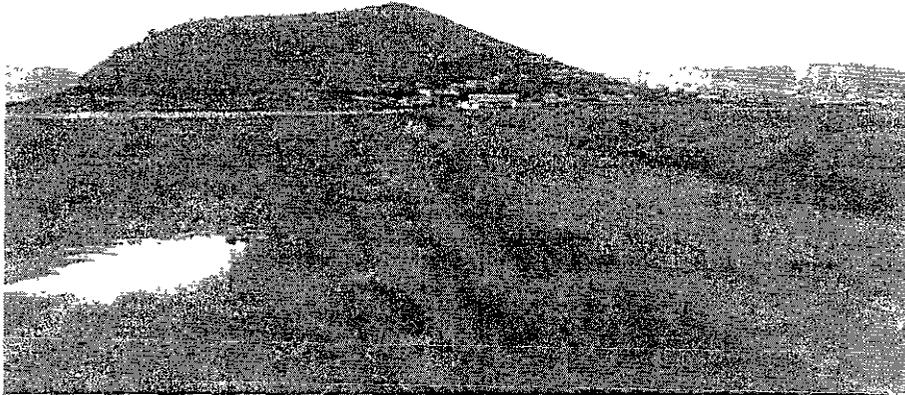


FIGURA 40. El cono volcánico "Mazatepec" (A) localizado al oriente del lago Tecocomulco. Ha sido cubierto principalmente en la base por sedimentos lacustres. En primer plano se aprecia la planicie lacustre.

La planicie aluvial (Fig. 41) es también una de las formas que se encuentra en las partes más bajas del área, de una pendiente mayor a 0.5° . En este caso, se refiere a la forma originada por las corrientes fluviales: depósitos de cauce y llanura de inundación. En su evolución han influido las elevaciones volcánicas que se extienden en la zona, de tal manera que las corrientes que bajan de éstas, al llegar a la planicie depositan sus materiales.



FIGURA 41. Se aprecia una porción de la planicie aluvial cerca de los poblados Ciudad Sahagún y Tepeapulco. Se encuentra en contacto con algunas formas volcánicas

Piedemonte



Conos de eyección

Es una forma acumulativa del relieve, con aspecto de medio cono recostado, inclinado y con el ápice hacia arriba. Se trata de formas que se originan en la desembocadura de una corriente montañosa, en una superficie de poca inclinación o plana. El cambio brusco de la pendiente del terreno provoca que la corriente deposite su carga hacia el frente, de manera expansiva. En el área de estudio son producto de las corrientes fluviales que se originan por las lluvias de temporada. Están constituidos de material detrítico mal clasificado. Los encontramos en la base del domo Jihuingo en el que se fusionan formando un extenso manto acumulativo, otro más se encuentra en la base de los conos

cineríticos Rinconada y Somerío, donde los espesores de los sedimentos varían: en la parte superior se encuentran los más gruesos y en la parte baja los más finos.

3.2 Relieve denudatorio



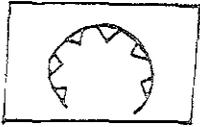
Barrancos

Se trata de una forma lineal, negativa del relieve. Surgen por la erosión en las laderas de las formas del relieve por las aguas pluviales. Los barrancos tienen un desarrollo especial en laderas de los volcanes de forma cónica. Carecen de vegetación, en este caso su término aproximado es el de cárcavas, como sucede en algunos edificios volcánicos del área. En longitud, los barrancos llegan a alcanzar algunos kilómetros y en anchura y profundidad varían algunas decenas de metros. Los barrancos comienzan a formarse en las formas volcánicas por el escurrimiento de temporada de las aguas pluviales. La profundidad mayor es de 150 metros. se presentan principalmente en las estructuras volcánicas más antiguas. Los restantes, más jóvenes, son de 20-50 metros de profundidad.



Circos de erosión activos

Son formas cóncavas del relieve montañosos a manera de anfiteatro, con laderas empinadas. 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, 1984). Se encuentran principalmente donde la pendiente es muy pronunciada como en el domo Jihuingo y en las laderas exteriores de la caldera Chichicuautila, entre otras zonas.



Circos de erosión parcialmente activos

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



Escarpes

Se trata de laderas de fuerte inclinación, mayor a 60° de altura variable y se forman por distintas causas, en general mayores a 20 metros de altura. Son antiguos frentes de derrames o laderas de lava andesíticas. Tal es el caso del escarpe que se encuentra sobre las laderas de algunos domos (ver figura 38). Son formas del relieve debidos a la acumulación volcánica, y posteriormente transformadas por la erosión. Se encuentran en retroceso por procesos gravitacionales principalmente caída de rocas.

CAPITULO V APLICACIONES

El estudio que se realizó, cómo ya se ha mencionado, forma parte de un proyecto sobre geomorfología volcánica y riesgos naturales en la cuenca de México. A lo largo de éste se ha expuesto básicamente un análisis geomorfológico y su correspondiente cartografía, del extremo noreste de la cuenca de México, en particular, el área corresponde al mapa topográfico 1: 50 000 Ciudad Sahagún. Las aplicaciones de la geomorfología resultan de fácil comprensión, según la orientación que se le da, en cada caso, sobre los métodos cartográficos que pueden resultar de utilidad.

Este estudio permite, por un lado, un mejor conocimiento de la zona objeto de estudio y al mismo tiempo, de la Cuenca de México en su conjunto. Además del interés teórico que puede representar, tiene algunas aplicaciones prácticas, tales como el mejor conocimiento del fenómeno del vulcanismo, la dinámica del relieve, información que en relación con la morfogénesis y los mapas morfométricos, representan una aplicación para la planeación y desarrollo de la población, así como de los recursos con los que cuenta la zona.

El crecimiento de las poblaciones del área se traduce en una reducción de recursos naturales que puede desencadenar una serie de problemas. La mayoría de las poblaciones enmarcadas en el área de estudio cuenta con los servicios municipales indispensables, como el agua potable, luz eléctrica escuelas etc. Sin embargo, a mi juicio, estos núcleos de población tienen un nivel de vida medianamente bajo, entre otras causas porque no han podido desarrollar la industria al aprovechar debidamente los recursos naturales. En el área se encuentra Ciudad Sahagún, importante por su industria armadora automotriz y de vagones de ferrocarril, y es la principal fuente de trabajo para miles de obreros de la región. Las industrias pulquera, ganadera y agrícola, cubren parcialmente las necesidades de la población de Apan y Calpulalpan. El análisis geomorfológico es

indispensable en la planificación del crecimiento de ciudades y de medidas preventivas en ellas, pero siempre se acompaña de otros estudios.

Una cuestión más en la que la geomorfología puede ser aplicable es en lo relacionado con los suelos agrícolas, para la prevención de la erosión, planificación de cultivos y afinidad con las formas del relieve. En el caso de la erosión del suelo, éste es un problema serio, que se incrementa diariamente a consecuencia de las actividades antrópicas: con el cambio del suelo (al eliminar la vegetación natural por medio de la deforestación, tala inmoderada e incendios) en búsqueda de terrenos agrícolas ganaderos, urbanos se inicia la pérdida del mismo. Actualmente en el área de estudio, como en muchas otras de nuestro país, se presenta una intensa erosión del suelo, más notable en algunos lugares tales como las laderas de los conjuntos volcánicos más antiguos, así como las laderas de los volcanes Peñitas. La Paila, al pie del volcán Santa Ana entre otros. Los sedimentos erosionados son transportados por procesos fluviales, eólicos y gravitacionales, los cuales comienzan a depositar en los valles intermontanos, continuando hasta llegar finalmente a la planicie central, en donde se encuentra el lago. El azolve gradualmente van reduciendo las dimensiones del vaso lacustre.

Las labores agrícolas también influyen en este problema, pues se ha creado un sistema de canales para controlar el curso del agua de torrentes, que anteriormente se esparcían sobre la planicie y drenaban directamente en el lago. Los canales tienen como fin evitar inundaciones en la parte baja y retener agua por mayor tiempo, aprovechándola para el riego.

Son varias las formas de erosión que afectan la zona, pero indudablemente, la erosión hídrica, la remoción en masa y erosión eólica se consideran como los principales modeladores, a causa de los excesos producidos por la actividad humana sobre la vegetación y el suelo. Al eliminar la vegetación se deja al suelo descubierto, a merced de los procesos erosivos que lo destruyen rápidamente.

En particular, los métodos geomorfológicos que aquí se aplican han permitido obtener una información original, como la carta geomorfológica que puede ser de gran utilidad. La correcta interpretación de ésta y su correlación con otras cartas como la climática, la edafológica y algunas más, contribuyen a resolver una serie de problemas diversos y mejorar los que se han mencionado anteriormente. obviamente relacionado con los asentamientos humanos, el uso del suelo, y el aprovechamiento de los recursos hídricos.

En México los estudios geomorfológicos ya tienen una enorme aplicación, por lo que se comprende la necesidad de apoyar los diversos tipos de estudios con métodos geomorfológicos que conduzcan a la ayuda en la resolución de algún problema determinado.

Ya que no se encontraron antecedente de estudios geomorfológicos en esta zona del noreste de la cuenca de México, el trabajo se limitó a presentar una información básica, preliminar que podría ampliarse con estudios posteriores o que podría servir como antecedentes para el futuro. En particular, este trabajo bien puede ser auxiliar en los trabajos de estudios para la búsqueda de mantos acuíferos, para estudios antecedentes de vulcanismo, en la localización de zonas favorables para el cultivo, o bien, podría ser útil para los agrónomos.

La cartografía geomorfológica cumple así con el fin de explicar el relieve en función de su morfología, origen, edad y procesos actuales, de los que resultan las aplicaciones. El análisis de aguas superficiales o subterráneas suelo, vegetación clima y actividad humana y la relación con la geomorfología permitirá recomendar políticas de planeación y desarrollo con fundamentos sólidos.

Así pues, la geomorfología puede dar una respuesta a los problemas mencionados anteriormente, su contribución es cada vez más apreciada; tanto para concebir las disposiciones rurales y las técnicas agrícolas, como para elegir el trazado de las vías de comunicación y prever las infraestructuras o para

conducir el agua. También es aconsejable recurrir a la geomorfología en los estudios de urbanismo y la elección de los asentamientos industriales. Finalmente, la comprensión genética del relieve, proporciona una ayuda eficaz a otras ciencias, así como a la prospección de yacimientos mineros aluviales.

Desde luego, no se espera que la geomorfología resuelva los problemas en todos los campos, pero sí espera que la información geomorfológica que se presenta pueda utilizarla diversos especialistas y puedan integrarla y ser de utilidad a otras ciencias, ya sean del tipo geológico, geofísico o geográfico, o alguna otra disciplina.

CONCLUSIONES

La zona estudiada es un campo volcánico formado principalmente en el Pleistoceno tardío, con numerosos conos monogenéticos y lavas intermedio-básicas que se depositaron sobre rocas más antiguas, del Plioceno y Mioceno. El relieve es el característico de estos campos volcánicos: un predominio de conos monogenéticos con derrames de lava y superficies de tefra, asociados a algunos volcanes precuaternarios, y algunos rasgos notables son la fosa tectónica del lago de Tecocomulco y la Caldera Chichicuautila.

La erosión del relieve que modifica las formas originales se aprecia en los volcanes antiguos mientras que en los jóvenes no tiene una influencia importante, aunque la actividad humana influye en una fuerte erosión del suelo en algunas localidades.

El análisis cuantitativo y cualitativo del relieve permitió hacer una zonificación en tres regiones morfológicas principales: primero, edificios volcánicos que incluyen los conos de tefra (cineríticos), domos y la Caldera Chichicuautila; segundo, el piedemonte volcánico constituido por derrames de lava y material volcánico, y por último, la planicie proluvial y lacustre.

En la zona estudiada se reconocieron 43 conos de tefra a los que se agregan 52 adventicios. Dieron origen a 24 conjuntos de derrames de lava que se clasificaron de acuerdo con su expresión en el relieve, por su edad y localización.

La actividad tectónica joven se manifiesta en lineamientos NE definidos por conos volcánicos alineados y la planicie alargada del lago. El relieve volcánico estudiado se puede interpretar como montañoso en proceso de formación, característico de diversas zonas del Sistema Volcánico Transversal.

La actividad del hombre está influyendo considerablemente en el relieve, ya que acelera la erosión. Es el caso de la agricultura que no considera la pendiente del terreno, el pastoreo en zona boscosa, la deforestación, el cambio de uso de suelo, la eliminación de la vegetación natural, etc. Cualquier actividad que deja al suelo descubierto lo hace vulnerable al proceso erosivo. La erosión ha estado avanzando por el material superficial poco consolidado que al ser desprotegido de su cubierta vegetal es fácilmente removido, en algunas zonas existe ya un estado avanzado de desarrollo de cárcavas.

El tipo del relieve y las condiciones geográficas son favorables para las variadas actividades económicas: bosque, agricultura de temporal, extracción de material (canteras), pero esta actividad al extenderse e intensificarse ha dado origen a un deterioro del paisaje.

Por otro lado, en la planicie que ocupa el vaso lacustre existe un área de diferentes canales que fueron construidos para agilizar el escurrimiento, retención del agua etc, que facilitan su desaparición, al dirigir y encausar directamente el agua con todo el sedimento que transporta por arrastre y se deposita en el lago.

El mapa geomorfológico es el principal resultado del estudio, contiene una información sobre el relieve donde queda expuesta la morfogénesis edad y secuencia evolutiva. Como todo mapa temático, contiene una abundante información no expuesta que es la que obtiene el lector, de acuerdo con su interés.

Además del valor teórico que representa una zona volcánica potencialmente activa, están las aplicaciones relacionadas con la agricultura, el aprovechamiento y protección del ecosistema, los peligros naturales y otros temas que se pueden estudiar a profundidad partiendo de la base del mapa geomorfológico general.

BIBLIOGRAFIA

Bryan k. (1948): Los suelos complejos y fosiles de la Altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos. **Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana**. Tomo XIII.

Córdova C (1988): **Cartografía geomorfológica en escala pequeña del occidente de la República Mexicana**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Cruz Zárate, Mario (1974): **Geografía de los aspectos económicos en el Estado de Hidalgo**. Tesis de Licenciatura Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

De Cserna, Z, M. De la Fuente, M. Palacios, L. Triay, L. Mitre, R. Mota (1988): **Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México**. Boletín, 104 Instituto de Geología, UNAM, 71pp.

Enciso De la Vega, S. (1992): Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la Cuenca de México. **Revista del Instituto de Geología**. UNAM. Vol. 10 Num. 1 pp.26-36.

Fries, C. (1956): **Bosquejo geológico de la región entre México, D.F. y Taxco, Gro.** XX Congreso Geológico Internacional, Excursiones A-4 y C-2. Pp. 39-46 México.

Fries, C. (1960): **Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México**. Boletín del Instituto de Geología núm. 60. México.

García. A. (1993): **Análisis geomorfológico de la distribución de riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Geyne, A.R., C. Fries, K. Sergestrom, R.F. Black, I.F. Wilson. (1963): **Geología y yacimientos minerales del Distrito de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México.** Consejo de Recursos Naturales no Renovables, México.

INEGI (1981): **Síntesis geográfica del estado de Hidalgo.** Secretaria de Programación y Presupuesto, México.

Joly, F. (1979): **La cartografía.** Editorial Ariel, Barcelona.

Ledezma Guerrero (1987): **Resumen de la geología de la hoja Calpulalpan, Estados de México, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo.** Hoja Calpulalpan 14Q-h(3). Escala 1:100 000. Instituto de Geología, UNAM, México.

Lugo H., J.,V. Martínez Luna V., (1980): La disección del relieve en el sur de la cuenca de México y porciones adyacentes. **Boletín del Instituto de Geografía**, 10:55-64. México.

Lugo, H.J. (1982): La Geomorfología moderna y su importancia en los estudios del relieve mexicano. **Boletín del Instituto de Geografía**. Núm 12. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Lugo H.J. (1984): **Geomorfología del sur de la Cuenca de México.** Serie Varia. Num 8 Instituto de Geografía, UNAM, México 86 pp.

Lugo H.,J., M.A. Ortiz P., J.L. Palacio P., G. Bocco V. (1985): Las zonas más activas en el Cinturón Volcánico Mexicano (entre Michoacán y Tlaxcala). **Geofísica Internacional**, 24(1):83-96, México.

Lugo H. J (1986): Los métodos geomorfológicos. Revista de geografía, Vol 1, N° 1, UNAM, México.

Lugo, H.J (1989): **Diccionario Geomorfológico**. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Lugo,H.J. (1991): Formación de grietas en el margen del antiguo lago al oriente de la cuenca de México. **Geofísica Internacional**, 30(2): 87-95, México.

Lugo, J y Vázquez, L. (1993): Estudio geomorfológico del complejo volcánico de Colima. **Geofísica Internacional** 32(4): 633-641, México

Lugo, J, Mooser F., Perez A. y Zamorano J. (1993), Geomorfología de la sierra de Santa Catarina D.F. **Revista del Instituto de Geología**, 11(1), UNAM, México

Lugo, J. (1991): **Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)**. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Lugo, H. J. y García Arizaga, M. T. **Geomorfología del sur del Distrito Federal**. Instituto de Geografía, UNAM, México (informe inédito).

Mooser, F., S.E. White y J.L. Lorenzo (1956): **La Cuenca de México, consideraciones geológicas y arqueológicas**. INAH, México, pp.51.

Mooser, F. (1961): **Informe geológico de la Cuenca del Valle de México**. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.

Mooser. F. (1963): **Historia tectónica de la cuenca de México**. Boletín Assoc. Méx. Geol. Petrol._No. 15, p. 239-245.

Mooser, F. (1975): **Historia geológica de la cuenca de México**. En: Memorias de las obras del drenaje profundo. Depto. del Distrito Federal, México., p. 9-30.

Mooser, F., A. Montiel. A. Zuñiga. (1996): **Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla**. CFE, México, 27pp., 35 mapas 1:100,000.

Mooser, F. (1981): **Geología de la cuenca de México**. En: Atlas de la ciudad de México. Depto. del Distrito Federal, México. p. 23-26.

Ortiz, M. (1984). **Estudio geomorfológico del extremo norte de la Cuenca de México y zonas adyacentes**. Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Peña, J. (1997): **Cartografía geomorfológica básica y aplicada**. Geoforma Ediciones S.L., España.

Schlapfer, C. (1968): **Resumen de la geología de la hoja México, Distrito Federal y estados de México y Morelos**. Carta geológica de México, hoja México 14-Q-h(5) 1:100,000. Instituto de Geología, UNAM, México

Sergerstrom, K. (1961): **Geología del suroeste del Estado de Hidalgo y noreste del Estado de México**. **Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros**, 13(3-4):147-168, México.

Spiridonov, (1981): **Principios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Ministerio de educación superior, La Habana. Tres tomos.

Tricart, J., Killian, J. (1982): **La geografía y la ordenación del medio natural**. Anagrama editorial, Barcelona.

Vázquez, S.E., L. Jaimes (1989): Geología de la cuenca de México. **Geofísica Internacional**, 28(2):133-190.

Verstappen, H y Van Zuidam, R. (1991): **The ITC System of Geomorphologic Survey: A basic for the evaluation of natural resources and hazards**. ITC Publication Number 10. Enschede, The Netherlands, 89 pp.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Araña, S.V., López, R.J. (1974): **Volcanismo**. Colección Colegio Universitario, 4, Ed Istmo, Madrid.

Araña, S.V. Ortiz, R. R. (1984): **Volcanología**. Ed. Rueda, Madrid.

Bloom, L.A. (1974): **La superficie de la Tierra**. Ed. Omega, Barcelona.

Bocco, G (1983): **Estudio geomorfológico en la región comprendida en la carta Querétaro 1:250,000**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras UNAM, México.

Cordero E. (1992): **El origen y evolución del relieve en la delegación Alvaro Obregón**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Coque, R. (1984): **Geomorfología**. Alianza Editorial, Madrid.

Dercout, J., Paquet, J. (1978): **Geología**. Ed. Reverté, Barcelona.

Derrau, M. (1988): **Geomorfología**. Ed. Ariel, España.

De Pedraza Gilsanz, (1996): **Geomorfología, principios, métodos y aplicaciones**. Ed. Rueda, Madrid.

Gómez, A. (1998): **Análisis geomorfológico del volcán Popocatepeti**. Escala 1:20,000 Tesis de Licenciatura Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Guillén. M. A. (1996): **Geomorfología de la vertiente occidental del volcán Iztaccihuatl**. Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Hernández A.S. (1987): **Geomorfología de las delegaciones Cuajimalpa y Miguel Hidalgo, D.F.** Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Huizar, R. (1993): Carta hidrogeológica de la cuenca del Río de las Avenidas de Pachuca Hgo. México. 27(4):95-131. **Investigaciones geográficas**, UNAM, México.

Huizar, A.R. (1982): **Estudio geomorfológico de la zona de Tepeji del Río, Hidalgo, México**. Tesis de maestría en geografía, F F y L, . UNAM, México.

López Recéndez (1981): **Geomorfología**. En: atlas de la Ciudad de México. Depto. del Distrito Federal, México.

Lorenzo, J.L., L. Mirambell (Coords.). (1986): **Tlapacoya: 35,000 años de historia del lago de Chalco**. Colección científica, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.297pp.

Lugo, J., Cordero, .M., y Zamorano, J. (1995): Relieve, litología y riesgos en la zona urbana de la Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol.12, Núm 1, Pp. 52-67, UNAM, Instituto de geología, México, D.F.

Lugo, J. y Salinas, A. (1996): Geomorfología de la Sierra de Guadalupe (al norte de la Ciudad de México) y su relación con peligros naturales. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, Vol. 13, Núm. 2., Instituto de geología, UNAM México, D.F. pp.240-251

Martín Del Pozzo, A.L. (1980): **Vulcalonogía de la Sierra Chichinautzin**. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Mooser, F, E. Tamez, E. Santoyo, E. Holguín, C. Gutierrez (1986): **Características geológicas y geotectónicas del Valle de México**. Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, Departamento del Distrito Federal, México 32p.

Mooser, F., A. Montiel. (1989): **El relleno post-Chichinautzin del Valle de México y su relación con la intensidad sísmica**. En Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del Valle de México. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, pp. 56-60.

Muñoz, J.J. (1995): **Geomorfología General**. Edit. Síntesis. España. 351 pp.

Ollier, C. (1988) **Volcanoes**. Oxford, Basil Blackwell, 228 pp.

Ollier, C. (1981): **Tectonics and landforms**, Edited by K.M. Clayton London: Longman, 322pp.

Ordoñez, E. (1895): **Las rocas eruptivas del suroeste de la cuenca de México**. Boletín, Instituto de Geología, 2., México.

Rodríguez, H. R. (1999): **Cartografía morfogenética jerárquica a tres escalas del área del microbloque "El Colorado" Chamela, Jalisco**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Strahler, A. (1979): **Geografía física**. Ed. Omega, Barcelona.

Thornbury, D.W. (1960): **Principios de Geomorfología**. Ed. Kapeluz, Buenos Aires.

Toscana, A. (1998): **Análisis geomorfológico detallado del volcán Ajusco y zonas adyacentes**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, México.

Yarza de D.T. E. (1992): **Volcanes de México**. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México D.F.

CARTOGRAFÍA

Carta Topográfica Ciudad Sahagún (E14-B12) Escala 1: 50 000.

Carta temática Edafológica. Ciudad Sahagún, Escala 1: 50 000. Ed. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) México, 1982.

Carta Uso de Suelo y Vegetación. Ciudad de México Escala 1:250 000. Ed. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) México, 1986.

Carta Climática Veracruz Escala 1: 500 000. Instituto de Geografía. UNAM. Ed. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (Cetenal). 1970.

Carta Hidrológica de Aguas Superficiales Ciudad de México (E14-2). Escala 1:250 000. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), México.



Strahler, A. (1979): **Geografía física**. Ed. Omega, Barcelona.

Thornbury, D.W. (1960): **Principios de Geomorfología**. Ed. Kapeluz, Buenos Aires

Toscana, A (1998): **Análisis geomorfológico detallado del volcán Ajusco y zonas adyacentes**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, México.

Yarza de D.T. E (1992): **Volcanes de México**. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México D.F.

CARTOGRAFÍA

Carta Topográfica Ciudad Sahagún (E14-B12) Escala 1: 50 000.

Carta temática Edafológica. Ciudad Sahagún, Escala 1: 50 000. Ed. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) México, 1982.

Carta Uso de Suelo y Vegetación. Ciudad de México Escala 1:250 000. Ed. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) México, 1986.

Carta Climática Veracruz Escala 1: 500 000. Instituto de Geografía. UNAM. Ed. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (Cetenal). 1970.

Carta Hidrológica de Aguas Superficiales Ciudad de México (E14-2). Escala 1:250 000. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), México.

