

01059
lej. 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO GEOMORFOLOGICO DE LA REGION COMPRENDIDA EN LA CARTA
QUERETARO 1 : 250,000.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN GEOGRAFIA



PRESENTA

FERRARDO HECTOR RUBEN BOCCO VERDELLI

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
ESTUDIOS SUPERIORES

México

1983

01059
1983

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

INTRODUCCION

ANTECEDENTES

METODOLOGIA

I MARCO GEOGRAFICO GENERAL

II MARCO GEOLOGICO GENERAL

2.1 Estratigrafía

2.2 Tectónica Regional

2.3 Geología Histórica

III GEOMORFOLOGIA

3.1 Morfometría

3.2 Geomorfología

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA Y CARTOGRAFIA

INTRODUCCION

El objetivo del presente trabajo es realizar la cartografía y el análisis geomorfológicos de la región comprendida en la carta Querétaro 1:250,000. Forma parte de un proyecto de investigación global, denominado "Estudios Geomorfológicos en el Sistema Volcánico Transversal", que se viene realizando en el Departamento de Geografía Física del Instituto de Geografía de la UNAM, bajo la dirección del Dr. José Lugo Hubp.

La geomorfología, disciplina que se nutre de la geografía y la geología, va cobrando día a día un interés mayor, especialmente por las posibilidades de aplicación práctica de sus postulados teóricos y metodológicos. Así, ocupa gradualmente un importante papel en las tareas de planeación y ordenamiento del territorio, en la exploración de yacimientos minerales, en estudios geotécnicos, en problemas de agricultura, en cuestiones de aguas superficiales y subterráneas, etc.

Realizar la cartografía y análisis geomorfológicos de la zona central de México, aporta elementos básicos al conocimiento de los problemas espaciales del país. En este sentido, esta tesis se plantea contribuir con un pequeño grano de arena a dichos estudios. En efecto, para poder resolver primero hay que conocer, lo más profundamente posible la realidad. De allí se desprende un objetivo importante: la detec-

ción de problemas en el medio natural y su jerarquización de acuerdo a las consecuencias, reales o potenciales, que éstos acarreen sobre las actividades humanas y el propio medio físico. Esta debe ser, a mi juicio, la justificación esencial de este tipo de estudios.

La cartografía geomorfológica a escala 1:250,000 presenta, no el detalle de las formas del relieve, sino a éstas en conjunto, con sus características morfológicas y estructurales en general. Es decir, se trata de un tipo de cartografía destinado a cubrir un gran territorio y suministrar una información que complemente a otra de tipo geológico, tectónico, fisiográfico, etc. Al mismo tiempo, permite reconocer zonas con un determinado interés, o problema específico, que conviene sean estudiadas en escalas mayores (1:50,000 o 1:25,000, por ejemplo).

El trabajo se desarrolla de la siguiente manera: En primer lugar se señalan los antecedentes de estudios geológicos y geomorfológicos previos sobre la zona en estudio. En segundo lugar, se desarrolla la metodología empleada haciendo hincapié en la integración de los pasos seguidos y la cartografía elaborada. En tercer lugar se desarrolla un breve marco geográfico general, que no debe entenderse como una descripción de la geografía de la región, sino como una caracterización de la importancia que la zona concita desde el

punto de vista espacial. En cuarto lugar, se desarrolla el marco geológico general, que incluye la tectónica regional, la litología y la geología histórica. En seguida se presenta el tema sustancial: la cartografía geomorfológica, que incluye la morfométrica, y la geomorfológica propiamente dicha con sus correspondientes interpretaciones. Las tres cartas elaboradas se incluyen como anexo, fuera de texto. Finalmente se esbozan algunas conclusiones acerca de la metodología empleada y las posibles aplicaciones de este tipo de estudios.

ANTECEDENTES

Son relativamente escasos los trabajos de índole geomorfológicos que se desarrollan en nuestro medio. Sin embargo, últimamente se ha venido publicando una cantidad creciente de estudios, parciales o globales, de diferentes aspectos y temas geomorfológicos. La mayor parte de ellos se ha producido en el Instituto de Geografía de la UNAM, especialmente en cuanto a cartografía geomorfológica se refiere. Asimismo aumenta gradualmente el número de tesis de licenciatura y de grado sobre aspectos geomorfológicos, tanto en la carrera de Geología como de Geografía.

La investigación bibliográfica que se ha realizado para el desarrollo de este trabajo, indica, casi con absoluta

certeza, que no existen trabajos geomorfológicos previos sobre la zona en estudio. Asimismo, son escasos los trabajos geológicos acerca de las formaciones presentes en la región. Estrictamente, sólo en tres trabajos (Demant, 1982; López Ramos, 1970; Silva, 1979) se abordan investigaciones geológicas sobre algunas porciones de nuestra región.

Merece citarse, además, la Síntesis Geográfica de Guanajuato (SPP, DETENAL, 1980), que ofrece un estudio global de los distintos aspectos de la geografía física de la entidad y una cartografía bastante completa a escala 1:500 mil. Asimismo, DETENAL proporcionó la base cartográfica, con los mapas a escala 1:50,000, topográficos y geológicos, imprescindibles para este tipo de estudios.

Sin embargo, la carencia bibliográfica representa un problema serio para la buena consecución del estudio geomorfológico, ya que una buena descripción del sustrato geológico hubiera facilitado la tarea y mejorado los resultados.

Por ese motivo, debió acudir a trabajos de zonas adyacentes (Segerstrom, 1961, entre otros) e intentar correlaciones en base a los recorridos de campo y cartografías litológica y topográfica disponibles.

METODOLOGIA

En tanto el presente trabajo se enmarca en un proyecto global de investigación, la metodología es compartida con el resto de los trabajos publicados y otros en vías de elaboración (ver descripción en Lugo, 1981; Palacio, 1982; Eternod, 1981; Lugo y Martínez L., 1981).

El elemento fundamental en esta metodología es considerar que el análisis y expresión cartográfica de algunos parámetros morfométricos sirven de base para la elaboración de la carta geomorfológica y su interpretación. Esto es válido para diversas escalas, aunque cada una de ellas supone modalidades específicas (*).

En el caso que nos ocupa, los parámetros seleccionados fueron la densidad y profundidad de la disección, donde se contempla a la morfometría como una forma de cuantificar la erosión del relieve, y en cierto modo los recursos hidrológicos y la evolución de las formas a través del tiempo.

La densidad de la disección, también denominada disección del relieve en planta, representa la erosión de la superficie, en cuanto a longitud de cauces por km^2 .

(* Los lineamientos metodológicos, su descripción y comparación con los utilizados a 1:50,000 y 1:250,000 fueron desarrollados en tres trabajos, uno propio, otro de Palacio (ambos 1983) y otro elaborado por ambos (1983).

La profundidad de la disección, por su parte, implica la cuantificación de la profundidad que han alcanzado las corrientes en la búsqueda de su nivel de base. Junto con la densidad, permite comprender más precisamente el trabajo realizado por la erosión fluvial.

Los resultados de la cuantificación de la erosión del relieve permiten, por un lado, su expresión cartográfica, en sendas cartas a escala 1:250,000 (reducidas luego a 1:500,000 para la publicación; ambas, fuera de texto).(*)

La metodología para la elaboración de los mapas de densidad de la disección está basada en los trabajos de Horton y Strahler, orientados al estudio de cuencas hidrológicas; los mismos han sido adaptados para aplicarse al relieve en general, de acuerdo con Spiridionov y Polkanov y Polkanova (Lugo y Martínez L., 1981). Estos autores soviéticos también exponen el método para cuantificar la profundidad de la erosión.

Dado que este tipo de morfometría requiere de mapas base a escala grande (no menor de 1:50,000 es lo ideal), no es posible realizar el análisis a escala regional (1:250,000). Por lo tanto, fue necesario interpretar los 24 mapas topográ-

(*) Por otro, estos resultados pueden alimentar un banco de datos; mediante programas adecuados, la computadora puede comparar características de la disección en diferentes regiones e incluso, elaborar nueva cartografía.

ficos 1:50,000 que quedan comprendidos en la hoja a 1:250 mil (ver figura 1). Tratándose de dos cartas morfométricas finales, resultaron 48 las cartas topográficas analizadas.

Toda la información obtenida en cada mapa se fue vaciando directamente a la hoja 1:250,000; una vez finalizada, se redujo a 1:500,000 para la presentación final.

Los pasos descritos hasta el momento permitieron abordar una segunda etapa: la zonificación geomorfológica (*). Para ello, los parámetros morfométricos cartografiados se interpretaron a partir de los factores estructurales que los controlan.

El apoyo sobre los elementos estructurales responde a dos motivos fundamentales. En primer lugar, a escala regional, se aprecian los elementos que resultan de la dinámica interna formadora del relieve. En segundo lugar, en el Sistema Volcánico Transversal, son justamente estos procesos endógenos los determinantes en la construcción de las formas de su relieve.

Los factores estructurales que se consideran son: la litología, la edad de las rocas y su grado de fractura, y la pendiente. Para este análisis se utilizan, como ya se señaló, las cartas topográficas y geológicas a escala 1:50

(*) Los resultados en este aspecto y una carta sintética a 1:1,000,000 fueron presentados ante el IX Congreso Nacional de Geografía (Guadalajara, 1983).

mil, así como la recopilación de los estudios geológicos disponibles de la zona en estudio y áreas adyacentes.

Estas consideraciones permiten establecer relaciones entre la disección y cada uno de los factores mencionados, tomados, no en forma aislada, sino en conjunto.

Al trabajar sobre un relieve de origen esencialmente volcánico, se pueden señalar algunos principios básicos: la disección, tanto en densidad como en profundidad, tiende a incrementarse en relación directa con el aumento de la edad de las rocas, de su grado de fractura y de la pendiente.

De este modo, la cuantificación de la disección y su cartografía pueden servir como indicadores del comportamiento de los factores señalados. A la vez, el análisis de estos factores nos explica las variaciones espaciales del comportamiento de la disección.

En cuanto a la litología, se debe tener en cuenta, principalmente, la permeabilidad y la dureza de las rocas, así como su disposición. El comportamiento de la litología complementa la interpretación mencionada más arriba.

Con los resultados obtenidos de este análisis, fue posible agrupar espacialmente zonas de igual comportamiento de la disección, lo cual supone características específicas para cada uno de los factores estructurales que la controlan. En esta zonificación geomorfológica se diferencian de manera

muy general las estructuras de relieve principales: las montañas, los piedemontes y las planicies de nivel de base. Las dos primeras se clasifican según el grado de disección que presentan. En las planicies, como es obvio, el grado de disección resulta de débil a nulo. De esta manera, la zonificación geomorfológica es una primera aproximación a la carta geomorfológica definitiva, y asimismo, una carta indicadora de procesos y secuencias evolutivas del relieve.

Una vez completadas estas etapas, fue posible abordar la elaboración de la carta geomorfológica, objetivo final de esta tesis. Previamente se realizó un primer reconocimiento de campo, que permitió verificar las características definidas en gabinete para la zonalidad geomorfológica, así como una primera apreciación de las estructuras geomorfológicas presentes en la zona.

La carta geomorfológica es un instrumento final donde se expresan, a una escala determinada y seleccionada en función de los objetivos de la investigación, las diferentes formas del relieve presentes, consideradas desde el punto de vista de su origen (morfogénesis), evolución y dinámica actual (morfodinámica). Parámetros todos que pueden deducirse de los análisis mencionados anteriormente.

Para la elaboración de esta carta se partió de la geología a escala 1:250,000. En nuestro caso, esta carta

debió ser confeccionada mediante reducción fotográfica de las 24 cartas geológicas (DETENAL) a escala 1:50,000, por no estar aún editada aquélla. Esta carta geológica a escala 1:250,000 fue la base sobre la cual se vaciaron todos los elementos provenientes de la densidad y profundidad de la disección y la zonalidad geomorfológica.

Esta información permitió la delimitación espacial de las formas del relieve y su encuadramiento de acuerdo a una clasificación de formas. La misma contempla, desde el punto de vista genético, tres grupos de relieve: el endógeno, el endógeno-modelado y el exógeno, según los factores determinantes presentes en la construcción de las formas del relieve. La caracterización de cada uno de estos grupos, y las clases y tipos correspondientes, se detallará en el capítulo "Geomorfología".

Cabe agregar que a esta escala de trabajo no se incluyó el uso de la fotointerpretación ni de la cartografía de pendientes, que sí se utilizan a escala 1:50,000. Hubiera implicado un largo trabajo de elaboración y sus precisiones no hubieran correspondido al grado de detalle requerido por la escala regional.

Finalmente se realizó la descripción de la carta geomorfológica, no sin antes realizar otra visita de campo a fin de verificar las caracterizaciones finales.

I. MARCO GEOGRAFICO GENERAL

Desde el punto de vista cartográfico, la región en estudio está comprendida en la carta topográfica Querétaro 1:250,000, editada por DETENAL. Sus coordenadas geográficas máximas son los paralelos 20 y 21 grados norte, y los meridianos 100 y 102 grados oeste. Está integrada por 24 cartas a escala 1:50,000, editadas por la misma dependencia (ver figura 1).

La región abarca una superficie de poco menos de 25 mil km². Ocupa porciones importantes de los estados de Guanajuato, Querétaro y Michoacán, y menores de los de Jalisco y México. Más precisamente, abarca todo el sur de Guanajuato, el oeste de Querétaro, parte del noreste de Michoacán y pequeños sectores del este de Jalisco y noroeste de México (ver figuras 2 y 3).

Desde el punto de vista fisiográfico, la región se localiza en la parte meridional de la Altiplanicie Mexicana (o Mesa Central), que en nuestra zona se presenta desmembrada por formaciones montañosas vinculadas con las dos Sierras Madre, al norte de la hoja, y con la Sierra Volcánica Transversal, al sur.

El paisaje natural, intensamente afectado por la influencia antrópica, expresa el predominio de una gran pla -

102° 21°	San Roque	Silao	Aldama	S.M.de Allende	C.de Piedras	Colón	101° 100° 21°
M.Doblado	Irapuato	Salamanca	Celaya	Querétaro	V.del Marqués		
Pénjamo	Abasolo	V.de Santiago	Cortázar	Apaseo el A.	La Estancia		
Angamacutiro	Puruándiro	Moroleón	Acámbaro	Presa Solís	Amealco		
20° 102°			101°				20° 100°

Figura 1. Relación de las 24 cartas 1:50,000 que integran la hoja en estudio.

10 0km 50

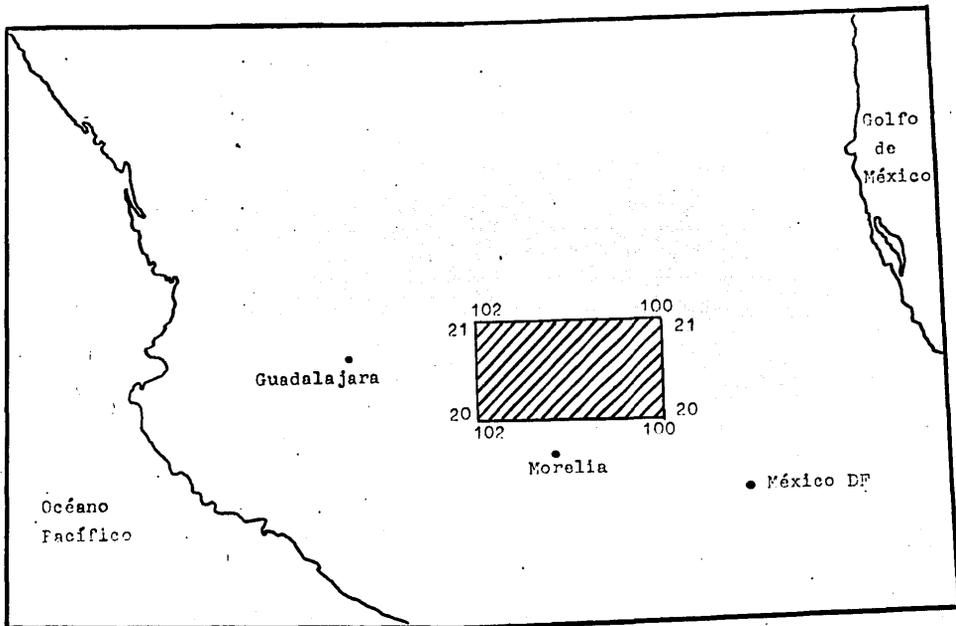


Figura C. Localización de la zona de estudio, en relación con la región central de México.

0km 100 200

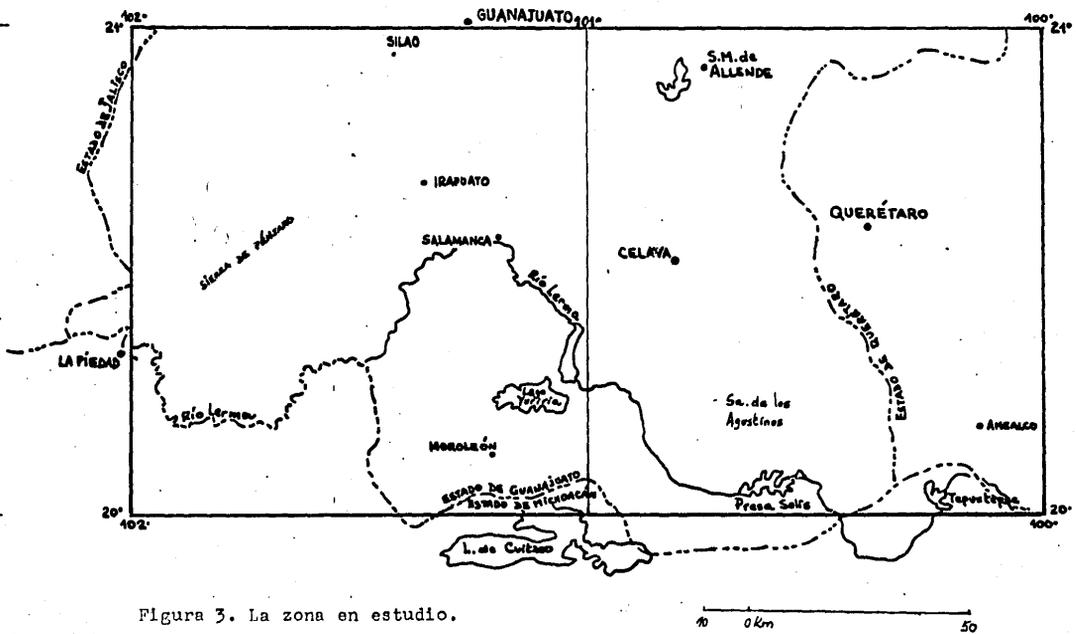


Figura 3. La zona en estudio.

nicie de nivel de base, El Bajío, de entre 1,700 y 2,000 m de altitud, desmembrado por las mencionadas estructuras montañosas, de diversos orígenes y edades. La mayoría son, sin embargo, volcánicas; algunas se presentan aisladas, otras agrupadas en pequeñas cadenas, y otras en sierras relativamente importantes.

Así, el principal conjunto montañoso es la Sierra de Amealco, al sureste de la hoja, constituida por una serie de elevaciones de tipo ácido asociadas, con altitudes que rebasan los 3,000 m (Co. Siete Cruces, 3050; Co. Los Rosillos, 3,180m)..

En el extremo noreste destacan las estribaciones occidentales de la Sierra Gorda de Querétaro, y por lo tanto de la Sierra Madre Oriental. Se trata de una serie de estructuras volcánicas también ácidas, donde se presenta la máxima altitud de la zona en estudio: Co. El Zamorano, con 3,280 m.

En el centro-sureste se localiza la Sierra de los Agustinos, con altitudes del orden de los 2,800/ 2,900 m. En el centro-norte tenemos las estribaciones meridionales de la Sierra de Guanajuato, con altitudes aproximadas a los 2,400 m. Finalmente, en el centro-oeste, se levanta la Sierra de Pénjamo, cuyos valores máximos son del orden de los 2,500 m.

Desde el punto de vista hidrográfico, el elemento esencial es el río Lerma, que divaga por la planicie con rumbo general al occidente, y sus principales afluentes en la región, los ríos Turbio, al oeste, y de la Laja, al este, ambos con rumbos generales al sur. Cabe agregar que buena parte del escurrimiento en la planicie está controlado por una densa red de canales de riego.

Asimismo, destacan importantes cuerpos lacustres, como Cuitzeo, al sur, y Yuriria (aunque artificial), al centro sur. Las represas también ocupan un lugar esencial en el paisaje; básicamente las presas de Solís y Tepuxtepec, sobre el Lerma, al sur, y la de San Miguel Allende, sobre el río de la Laja, al centro-norte.

Desde el punto de vista climático, la región está dividida en dos, según la carta climática "Querétaro", 1:500 mil, editada por el Instituto de Geografía. En el oeste y sur tenemos, globalmente, climas del tipo Cw (Köppen), y en el centro y norte, amplias zonas de BS.

La vegetación natural, originalmente de bosques templados en las montañas y de matorrales en zonas más bajas, se encuentra intensamente alterada, especialmente en la planicie de nivel de base.

Prácticamente toda la región económica de El Bajío se

encuentra representada en la zona en estudio. Por la extensión que ocupa en la carta y por su importancia nivel social y económico a escala nacional, esta planicie es el elemento sustancial de nuestra zona.

En ella destacan importantes centros urbanos, tales como las ciudades de Querétaro, Celaya, Irapuato y Salamanca, entre otros, todos vinculados con una actividad económica de mercado, muy dinámica, tanto en agricultura y ganadería como en la industria de la transformación.

Asimismo, y lógicamente relacionado con el párrafo anterior, presenta una densa red de comunicaciones integrada por carreteras y vías férreas, tanto nacionales como regionales y locales.

II. MARCO GEOLOGICO GENERAL

Como ya se apuntó antes, la geomorfología se nutre de de las aportaciones de la geología. En términos prácticos, esto implica la necesidad de describir las características geológicas de la zona en estudio, a fin de poder desarrollar su análisis geomorfológico.

Este marco geológico se divide en tres partes. La primera cubre la estratigrafía de la zona, es decir, se describen las características de los diferentes afloramientos, sus edades (cuando es posible datar) y su localización. En segundo lugar, se trata la tectónica regional, o sea, la secuencia de la construcción del relieve, y su relación con la geodinámica originaria. En tercer lugar, y en base a los dos puntos anteriores, se desarrolla la geología histórica de la zona, tratando de reconstruir los acontecimientos que a través del tiempo geológico generaron las estructuras actuales.

Este bosquejo se realiza en base a los estudios geológicos disponibles, a algunas evidencias surgidas en el campo, y a la consideración de la cartografía topográfica y geológica existente.

Desde el punto de vista de la geología regional, la característica esencial de nuestra zona es que ocupa una porción de la transición entre megaestructuras: el Sistema

Volcánico Transversal y la Mesa Central. Asimismo, existen manifestaciones de otras dos: la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental, que se expresan, respectivamente, en montañas volcánicas de composición mayoritariamente ácida (ver enumeración de sierras, en el Marco Geográfico), y plegamientos de calizas, caliza-lutitas y lutitas. De las expresiones correlacionables con las dos Sierras Madre, son más destacadas las vinculadas con la Occidental, en tanto las segundas son poco importantes a nivel regional. El Sistema Volcánico Transversal, la estructura geológica más moderna, por su parte, se sobreimpuso a las tres megaestructuras señaladas.

3.1 Estratigrafía

A. MESOZOICO. Esta era se caracteriza por importantes transgresiones marinas, que dieron por consecuencia formaciones sedimentarias de ese origen. Se coincide, en general, en señalar que durante el mesozoico, la actual Mesa Central estuvo cubierta por los mares hasta el inicio de la orogenia.

A.1. Triásico (?). La columna estratigráfica pre-jurásica en la Mesa Central es poco segura, sin embargo, ya que no se han encontrado fósiles que permitan una datación precisa. Se presume que los materiales más antiguos de la zona en estudio correspondan a este periodo. Se trata de dos afloramientos

de rocas metasedimentarias y metamórficas, integrados por lutitas filitizadas, pizarras y esquistos (generalizados como "esquistos" en la cartografía litológica de DETENAL). Uno se localiza en torno al Co. del Cubilete (esquisto La Luz (?)), al sur de la ciudad de Guanajuato, en el norte de las cartas Aldama y Silao (1:50,000; ver figura 1). El otro se localiza al suroeste de San José Iturbide (Gto.), al centro de la carta Corral de Piedras, 1:50,000.

Ambos afloran como elevaciones montañosas, parcialmente intrusionado por un cuerpo granítico el primero, intensamente fracturado, así como parcialmente rodeado de calizas cretácias y rocas volcánicas cenozoicas, el segundo.

Estos materiales antiguos provienen de la alteración de rocas clásticas y calcáreas, y son producto de un metamorfismo regional.

A.2 Jurásico/ Cretácico (*). A partir del jurásico, la columna estratigráfica es más completa en el centro de México. En nuestra zona, los afloramientos más importantes corresponden a calizas y asociaciones de caliza-lutita. Hay otros menos destacados de lutitas, alternancias de lutita-arenisca, travertino y un cuerpo metamórfico.

(* Se presentan los dos periodos reunidos ya que en las rocas pertenecientes a ambos se presentan dificultades de datación.

Las rocas sedimentarias se presentan en forma de cadenas plegadas, muy erosionadas y siempre semicubiertas por rocas volcánicas cenozoicas. Son, en su mayoría, pequeños anticlinales, con flancos de inclinación suave, y luego afectados por afallamientos en bloques, con rumbo general al noroeste.

Los afloramientos más importantes son los siguientes:

a). Al suroeste de la localidad, ya mencionada, de San José Iturbide. Se trata de elevaciones montañosas, con rumbo aproximado NW-SE, de hasta 2,700 m de altitud, constituidas por calizas cretácicas, rodeando el afloramiento metamórfico ya descrito.

b). Afloramientos de calizas en el centro y el oeste de la carta San Roque de Torres, y al sur de la San Miguel Allende (ambas, 1:50,000). Son elevaciones montañosas cretácicas, de no más de 2000 m de altitud, orientadas al noreste las primeras, y al noroeste las segundas.

c). Afloramientos menores de lutitas en el extremo noreste de la carta Apaseo El Alto y en el centro de la carta San Roque de Torres (ambas, 1:50,000). Son pequeñas elevaciones montañosas de altitudes similares a las anteriores.

d). Afloramientos de caliza-lutita y pizarras al oeste de Neutla (Gto.), en el norte de la carta Celaya (1:50,000). Consisten en montañas de unos 2,000 m de altitud, muy des-

membradas por un vulcanismo ácido del terciario, con rumbo aproximado al noroeste.

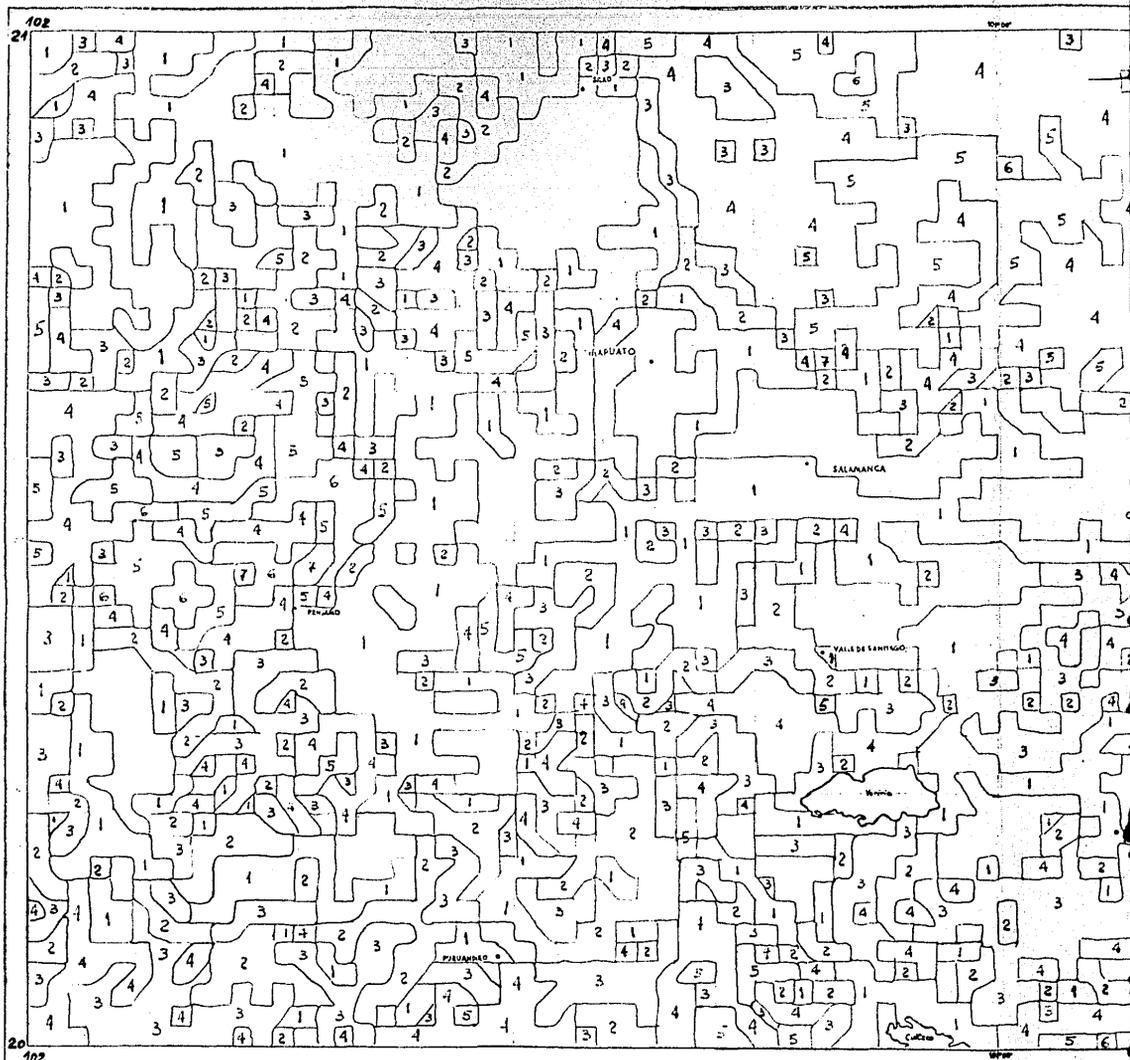
López Ramos, en su estudio sobre la región Neutla-Comonfort (1970), caracteriza las rocas sedimentarias presentes en esta zona como margas muy alteradas, incluso filitizadas, y las relaciona con las formaciones Las Trancas y Mexcala. En cuanto a las metamórficas, las caracteriza como pizarras del cretácico superior, originadas en un metamorfismo de las margas preexistentes.

Las formaciones Las Trancas y Mexcala fueron descritas por Segerstrom (1961). La primera está integrada por lutitas y limolitas calcáreas, ligeramente filitizadas, de color gris oscuro, con intercalaciones de calizas arcillosas y capas delgadas de grauvaca y pedernal. Corresponde al jurásico superior (Kimmeridgiano/Portlandiano).

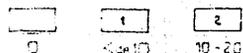
La segunda comprende capas de lutitas calcáreas interestratificadas con caliza gris, compacta, de grano grueso, limolitas y areniscas. La proporción de calizas tiende a disminuir desde la porción inferior a la superior, con el consiguiente aumento de lutitas clásticas. Corresponde al cretácico superior (Coniaciano/ Maestrichtiano).

En base a esta descripción podemos correlacionar los demás afloramientos de caliza-lutita cretácicos que aparecen en la zona en estudio, como probablemente pertenecientes a

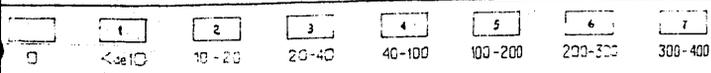
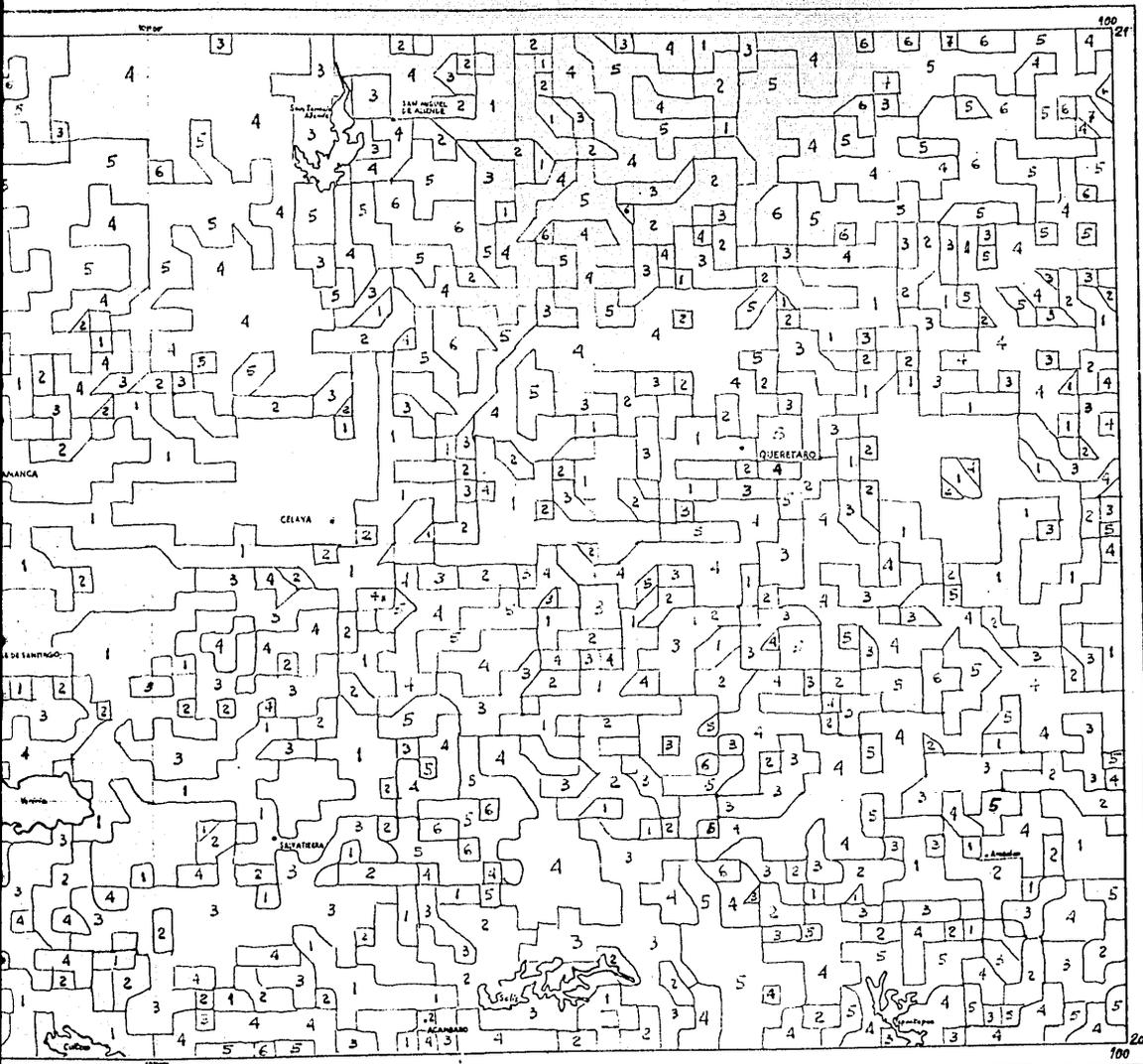
CARTA DE PROFUNDIDAD DE LA DISECCION



REFERENCIAS : Valores máximos de profundidad por erosión en metros

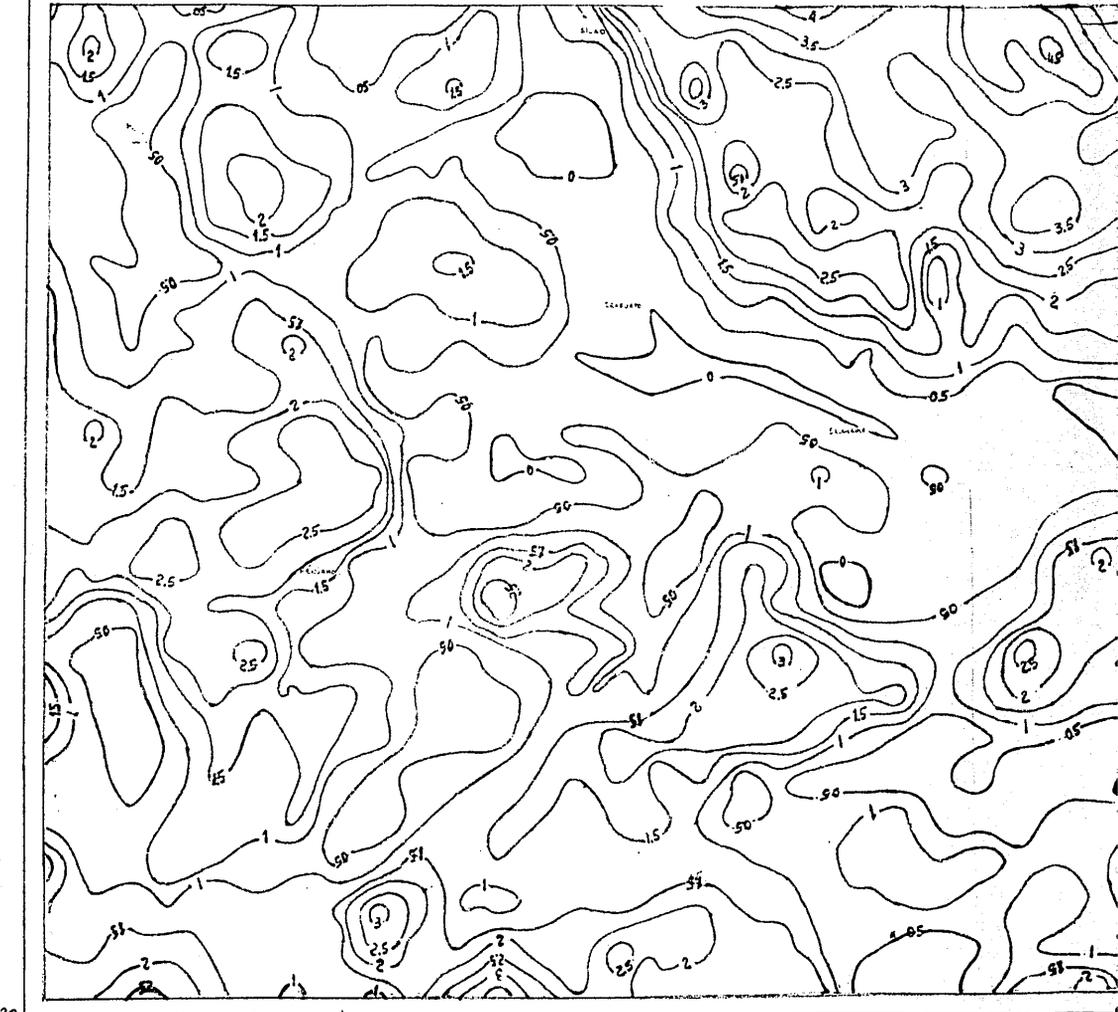


QUERETARO 1:500 000



CARTA DE DENSIDAD DE LA DISECCION

102
21

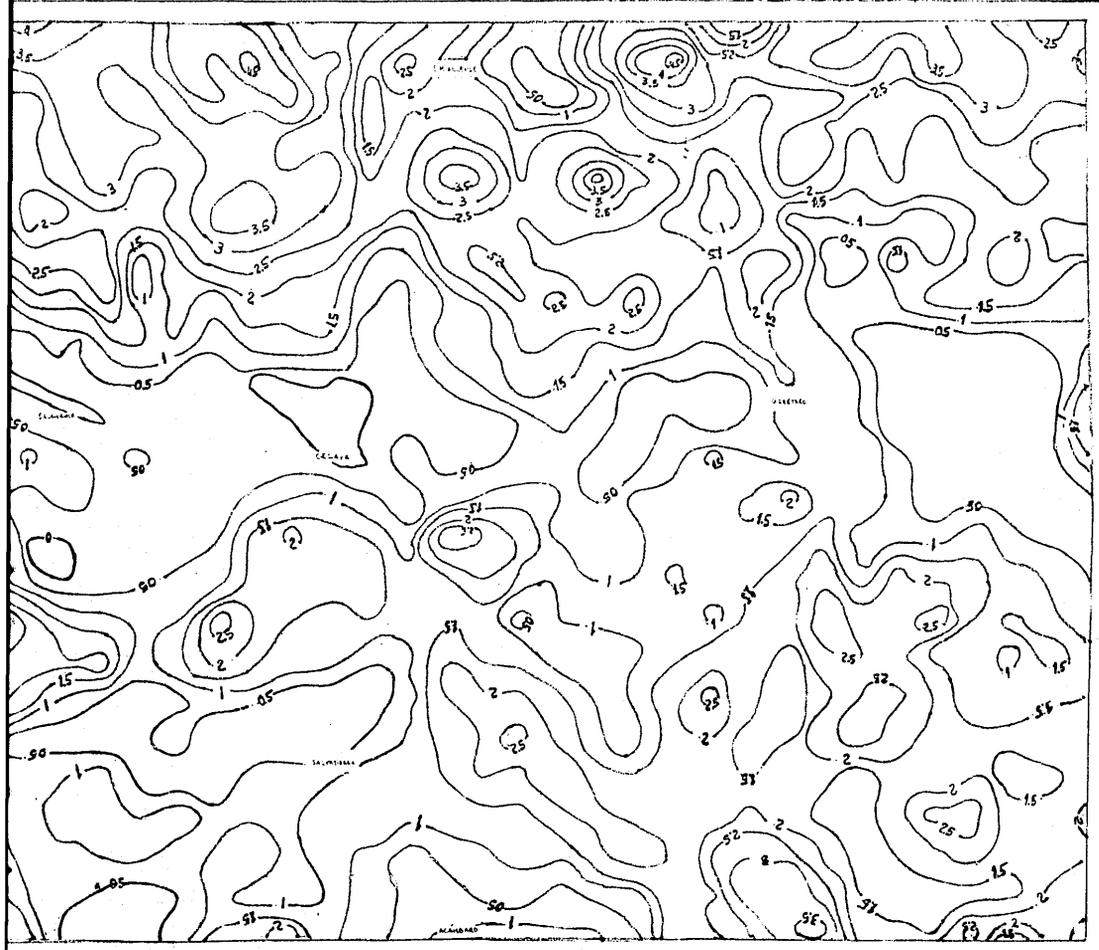


20
102

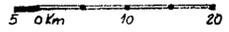
Densidad de cauces en km/km^2

QUERETARO 1:500 000

100
21



100
20



la formación Mezcala, debido a la similitud de su fisonomía verificada en campo.

En términos generales, los afloramientos de rocas sedimentarias marinas y metamórficas mesozoicas son mínimos, si los comparamos con las rocas volcánicas y sedimentos continentales cuaternarios. Sus altitudes relativas, salvo algunas excepciones, son poco relevantes. Todos ellos, sin salvedad, se localizan en la porción septentrional de la hoja en estudio, y están vinculados con la orogenia Laramide.

B. CENOZOICO. El elemento característico de esta era es el paso del dominio marino al continental, en cuanto a los acontecimientos geológicos que ocurren en nuestra zona. El dominio continental se manifiesta en tres aspectos: sedimentario, intrusivo y volcánico, durante el terciario; y en dos aspectos, sedimentario y volcánico, durante el cuaternario.

B.1 Terciario. De los tres aspectos indicados en el párrafo anterior, el más importante, por el área que ocupa, y por lo tanto, por la intensidad del mismo, es el volcánico. El sedimentario (esencialmente conglomerados), representa una extensión sensiblemente menor, en tanto que el intrusivo sólo se expresa en pequeños afloramientos distribuidos en la porción norte de la carta en estudio.

B.1.1 Cuerpos intrusivos. Se trata de pequeños afloramientos de materiales, de ácidos a intermedios (granitos, granodioritas y dioritas), vinculados con la fase intrusiva post-orogénica (Laramide), y se los considera del paleoceno (?). Afloran en las siguientes localidades:

a). Al este de Villa del Marqués, en el centro-occidente de la carta del mismo nombre a 1:50,000. Son dos pequeños cuerpos ácidos, semicubiertos por material piroclástico más moderno.

b). Al oeste de Juriquilla, en el nor-noroeste de la ciudad de Querétaro, al centro-norte de la carta Querétaro 1:50,000. Igual que el anterior, son dos pequeños cuerpos ácidos, pero aquí se presentan intrusionando materiales cretácicos (caliza-lutitas).

c). Al oeste-noroeste de Neutla, localidad ya citada, en el noroeste de la carta Celaya 1:50,000. Es un cuerpo intermedio, que intrusiona una caliza-lutita cretácica y a la vez está semicubierto por rocas volcánicas ácidas terciarias, más modernas.

d). En torno al Co. El Cubilete, ya localizado. Este es el único afloramiento de relativa importancia, y parece ser la porción meridional de un batolito emplazado en la Sierra de Guanajuato. Se presenta intrusionando el cuerpo metamórfico ya descrito; su intenso afloramiento parece indicar

que fue afectado por la tectónica que originó la mineralización del Distrito Minero de Guanajuato.

B.1.2. Terciario sedimentario. El rasgo más destacado lo representan afloramientos de la parte meridional del Conglomerado Rojo de Guanajuato, y otras formaciones cartografiadas por DETENAL como areniscas, y arenisca-conglomerados, que se aprecian en el norte de las cartas Silao, Aldama y San Miguel Allende, 1:50,000. El Conglomerado Rojo fue estudiado a detalle por Edwards (1956). Según este autor "el Conglomerado de Guanajuato se formó por una serie de abanicos coalescentes... Los mayores pedrejones dentro del conglomerado se deben parcialmente a temporadas de lluvias torrenciales y al elevado relieve del terreno adyacente"(p.29).

Los fragmentos volcánicos constituyen más de la mitad de los detritos mayores de 8 mm; los riolíticos son más abundantes que los andesíticos y basálticos. También hay guijarros de granito, diorita, caliza y pedernal; los dos primeros más abundantes en la porción superior de la formación y los dos últimos en la inferior.

Tanto la matriz como las capas de areniscas rojas, cuyos óxidos le confieren el color característico, son principalmente producto de la desintegración de rocas volcánicas.

El espesor estimado de esta formación es de 1,500 a 2,000 m, aunque no se ha podido verificar ya que su base

no está expuesta. Fue datada por el mismo autor, mediante evidencia paleontológica, como del eoceno superior/oligoce-
no superior, lo cual los convierte en los sedimentos conti-
nentes más antiguos del centro de México.

Cubriendo el conglomerado descrito, Edwards (op.cit.) indica la presencia de una arenisca (La Bufa), del oligo-mio-
ceno, en estratos delgados, de origen tobáceo, depositada en
agua (posiblemente, facie lacustre).

Un poco más al sur del Conglomerado Rojo, derivado en
su mayor parte de rocas volcánicas más modernas, y cubrién-
dolas parcialmente, se presenta un conglomerado más reciente,
pliocénico según Edwards (op.cit.), conformando un relieve
de lomeríos con diferentes grados de disección.

Estas son las formaciones continentales que caracte-
rizan esencialmente a la porción septentrional de la carta
en estudio, y que DEPFNAL representa como conglomerados, a-
reniscas y arenisca-conglomerados en las hojas ya señaladas.
Sin embargo, en la amplia extensión que en la carta San Mi-
guel Allende 1:50,000 aparece como arenisca-conglomerado, di-
fícilmente se pueden diferenciar las tobas volcánicas de las
acumulaciones continentales de tipo deluvial, proluvial y
aluvial. Esta superficie se presenta, además, bastante bas-
culada por movimientos tectónicos seguramente modernos, que
han intensificado los procesos erosivos.

B.1.3 Terciario volcánico. Las rocas volcánicas terciarias son las más importantes de la zona en estudio, especialmente en la porción norte de la misma. Se trata de un vulcanismo ácido e intermedio (riolitas, ignimbritas y andesitas, principalmente), vinculado con la actividad magmática de la Sierra Madre Occidental. Las formaciones presentes en nuestra zona representan, según Demant (1978, 1982), el reborde meridional de la meseta ignimbrítica (S.M. Occidental). Este vulcanismo se manifiesta en gruesos depósitos de lava (mesas, aparatos volcánicos) y superficies y laderas piroclásticas (tobas, brechas). En muchas zonas, se presenta semicubierto por el vulcanismo plio-cuaternario, del que se hablará posteriormente. Este vulcanismo terciario se inició en forma contemporánea y posterior a la orogenia Laramide, y su etapa de mayor intensidad fue en el oligoceno-mioceno. Aparece, en general, muy afectado por la tectónica contemporánea a su emisión y por la cuaternaria.

Silva (1979) diferencia, en el Michoacán oriental, en el sur de nuestra zona, las siguientes fases volcánicas: una oligocénica de brechas y tobas andesíticas, una miocénica inferior de dacitas, y una miocénica superior de ignimbritas y domos dacíticos y riolíticos asociados.

B.2. Plio-cuaternario. Los materiales correspondientes a estos

periodos son básicamente volcánicos, aluvial/lacustres y de luvial/proluviales. Los más importantes, por el área que ocupan, son los aluvial/lacustres y los volcánicos, en tanto los últimos representan zonas pequeñas desde el punto de vista regional.

B.2.1 Deluvial/proluvial. Son materiales de acarreo provenientes de estructuras volcánicas terciarias y cuaternarias principalmente al centro y sur de la zona en estudio. Comparados con los conglomerados del norte, estos afloramientos son más pequeños, y están dispuestos como piedemontes de las montañas de donde provienen, en general caracterizadas por un escaso desnivel relativo a su nivel de base. Son areniscas y arenisca-conglomerados, con clastos producto de la desintegración de rocas volcánicas y matrices esencialmente tobáceas.

B.2.2 Volcánico. Son las manifestaciones de la última etapa de vulcanismo, que se mantiene hasta la actualidad. Este vulcanismo es el único que, según Demant (op.cit.), corresponde al Sistema Volcánico Transversal. Ocupa porciones importantes en el sur de la carta en estudio, especialmente en el estado de Michoacán. Al igual que el vulcanismo terciario, se presenta afectado por la tectónica de fallas moderna.

Silva (1979) señala que la primera fase de este vul-

vulcanismo moderno corresponde a emanaciones de andesitas pliocénicas, que se expresan en una gran cantidad de conos lávicos, sin escoria por lo general. La ausencia de piroclastos y sus dimensiones imponentes (ver, por ejemplo, el Vn. Culiacán, en las proximidades de Yuriria), diferencia estos aparatos de los edificios basálticos cuaternarios. Aquellos pueden estar recortados por fracturas plio-cuaternarias que provocan hundimientos, en escalones, sobre sus flancos. Esto es visible al sur de la laguna de Yuriria, donde existe un sistema de corrimiento vertical ENE-WSW.

Este primer ciclo moderno se sitúan entre el vulcanismo ignimbrítico miocénico y el básico cuaternario. Para Demant (op.cit.), representa las primeras manifestaciones correspondientes al vulcanismo del Sistema Volcánico Transversal.

La segunda fase del vulcanismo corresponde, según Silva (op.cit.), a una etapa de basalto y andesita, y a otra secuencia de dacitas a riolitas. Resulta de la tectónica distensiva E-W. La etapa basáltica/andesítica se expresa en conos escoriáceos pequeños y calderas (ver, por ejemplo, cartas Valle de Santiago y Abasolo, 1:50,000, al sur de la hoja en estudio), y la ácida en domos riolíticos y dacíticos aplanados ("mesas", en la toponimia, carta Acámbaro 1:50,000).

B.2.3. Aluvial/lacustre. Ocupan planicies relativas entre las formaciones montañosas y están flanqueadas por los depósitos de piedemonte. Se trata, básicamente, de cenizas volcánicas, arenas, limos, arcillas y suelos fósiles, material de acafluvial, depositado en ambiente lacustre.

En la génesis de estos materiales, mucho más abundantes que los materiales gruesos, tiene una importancia esencial el vulcanismo cenozoico, especialmente el material piroclástico fino y sus derivados, originados en las manifestaciones más modernas.

El ambiente lacustre estuvo determinado por otras condiciones climáticas a fines del pleistoceno (mayor humedad) y por la actividad volcánica que conformó cuencas cerradas, ocasionadas por las coladas lávicas modernas, que modificaron completamente el patrón de drenaje anterior.

3.2 Tectónica regional

El proceso determinante en la construcción del relieve en la zona en estudio es el vulcanismo y la tectónica asociada (*).

(*) El desarrollo de la tectónica regional y la historia geológica se basan principalmente en los trabajos de Demant (1976, 1978 y 1982) y Silva (1979).

Tres fueron los ciclos volcánicos que afectaron a México, a través del tiempo geológico. Del primero (jurásico-cretácico), no se han detectado afloramientos en la zona. Se trata de materiales alterados (fundamentalmente metabasaltos), que integran el basamento mesozoico.

El segundo ciclo, oligo-miocénico, se inicia luego de un periodo de quietud, y se relaciona con la subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Americana. Las primeras emisiones, de naturaleza andesítica, fueron luego recubiertas por una potente serie ignimbrítica, configurando la Sierra Madre Occidental, de fisonomía mesetiforme. Es según este esquema que el vulcanismo terciario inferior que aparece en la zona configuraría el reborde meridional de la Sierra Madre Occidental, acompañado por un sistema de fallas de orientación principalmente NNW-SSE. Esta tectónica, creemos, podría haber originado las fosas que con ese rumbo flanquean al Bajío por el occidente.

El tercer ciclo, plio-cuaternario, el único vinculado al Sistema Volcánico Transversal según Demant (op.cit.), está relacionado con eventos geodinámicos en el Golfo de California y la Placa Caribe, que interfirieron la subducción de la corteza oceánica pacífica (Silva, op. cit.). Se producen, como consecuencia, tres regiones volcánicas: la provincia Californiana, la provincia Oriental y el Sistema Volcánico Transversal, el que nos interesa.

Este vulcanismo produce lavas calco-alcalinas (de basaltos a riolitas), con neta predominancia de andesitas y dacitas, en general (Silva), pero con mayor presencia de basaltos en nuestra zona.

Demant caracteriza los eventos geodinámicos en la siguiente secuencia. Por un lado, se produjo un movimiento diferencial sinistral entre la Placa Norteamericana y la Caribe, considerada ésta como fija. Por otro, se produjo un cambio en el sentido de rotación de la Placa Cocos (hace unos 10 millones de años). El desplazamiento sinistral se habría producido a lo largo de las fallas Polochic-Motagua y su prolongación oriental (la fractura Bartlett). Este modelo permite explicar la edad plio-cuaternaria del vulcanismo del Sistema Volcánico Transversal, así como la ausencia de paralelismo entre este último y la fosa de Acapulco, que marca la subducción de Cocos.

En efecto, la disposición general este-oeste de la zona central del Sistema Volcánico Transversal refleja los esfuerzos tectónicos sufridos por la porción sur de la Placa Norteamericana en su desplazamiento hacia el oeste, y no la actividad de la Placa de Cocos, que sí es la que habría generado sus magmas.

Entonces, en las partes central y oriental del Sistema Volcánico Transversal, las direcciones de las fracturas

que condicionan los alineamientos volcánicos están en relación con la tectónica de la región Caribe, recién descrita.

En cambio, en la porción occidental del Sistema Volcánico Transversal, los alineamientos guardan relación con la tectónica distensiva originadora del Golfo de California. Este funciona como una zona de expansión desde el inicio del plioceno, cuando la cordillera del Pacífico Oriental fue reabsorbida bajo el borde continental de América del Norte. La península fue solidaria de la placa Pacífica, y hace 6 millones de años, comenzó a desplazarse hacia el noroeste. Este desplazamiento dextral de la placa Americana, provocó la apertura del rift de Baja California y la tectónica de pilarrifosa que caracteriza al noroeste de México.

La presencia de este vulcanismo se da especialmente en el sur de nuestra zona, y se expresa además en la presencia de fallas regionales ENE-WSW a E-W, y NW-SE a NNW-SSE.

Estos son los elementos fundamentales que explican la disposición de las grandes formas del relieve en la zona en estudio. En efecto, siguiendo los razonamientos expuestos podemos, a modo de hipótesis, proponer que la planicie del Bajío representa una zona de hundimiento tectónico, de edad neógeno-cuaternario, y que la orientación de sus diversos tramos guarda relación con la actividad tectónica que generó la Sierra Madre Occidental y el Sistema Volcánico Transversal.

El cambio de orientación en la tectónica se refleja también en la disposición de las planicies (y en la composición de los materiales volcánicos que las flanquean), que pasan de ser al NNW en el occidente de la carta, a E-W y ENE-WSW en el centro. Al este de la carta, la planicie encontraría su límite en el sistema de fallas NNW-SSE de San Miguel Allende-Querétaro-Taxco, aproximadamente paralelo al sistema oriental de fallas señalado más arriba.

Este modelo, extrapolado de la interpretación geológica, y apoyado en la evidencia geomorfológica, será retomado en el capítulo "Geomorfología".

3.3 Historia Geológica

Las extrusiones del terciario y cuaternario cubren la mayor parte de la porción sur de la placa Norteamericana, y ocultan las evidencias de la historia geológica. Sin embargo, puede asegurarse que la región formó parte de una zona positiva antes del paleozoico tardío.

El jurásico tardío, por su parte, fue un periodo en que tuvieron gran desarrollo los mares, en lo que hoy es el territorio mexicano y centroamericano. En el inicio, todo el oriente de la actual Mesa Central estaba sumergido. Con algunas regresiones, las aguas del geosinclinal mexicano fueron extendiéndose cada vez más hacia el oeste. A fines del

jurásico, gran parte de la Mesa estaba sumergida. Se trata, entonces, de un gran ciclo de acumulación en una cuenca marina, predominando los depósitos de sedimentos, que alcanzaron de 4 a 6 km de espesor. El vulcanismo no es un proceso importante en este ciclo evolutivo de la actual Sierra Madre Oriental.

Con la orogenia Laramide, cuya fase máxima es paleocénica-eocénica, se pliega la mencionada Sierra Madre bajo efectos de una tectónica de cizalla de corteza (de tipo cadena intra-continental, según Demant), y la Mesa Central se eleva en conjunto con los terrenos adyacentes.

Entre las placas de Norteamérica y Sudamérica se establece, al inicio del terciario, una falla de transformación al nivel de las trincheras Puerto Rico-Caimán. En relación con este nuevo movimiento de deriva hacia el oeste de la placa Norteamericana, se establece a lo largo del Pacífico un nuevo sistema de subducción, la placa Farallón, y en el suroeste de México se produce la apertura progresiva de lo que posteriormente sería la Trinchera Mesoamericana.

El terciario es un dominio esencialmente continental. Luego de la orogenia, por un lado, se acumulan importantes depósitos molásicos (en nuestra zona, el conglomerado rojo) en las cuencas endorreicas, provocadas éstas por un intenso proceso de fallamiento en bloques de la Altiplanicie Mexicana.

Por otro, se producen fenómenos intrusivos postorogénicos, de los cuales existen algunas evidencias en nuestra zona (ver "Estratigrafía").

En el cenozoico, el vulcanismo y la tectónica están directamente ligados a acontecimientos pacíficos. Se distinguen (Demant, op.cit.) dos fases principales. Una oligo-miocénica, ligada a la subducción de la Placa Farallón (etapa compresiva, y generadora, como ya se dijo, de la Sierra Madre Occidental). La otra miocénica tardía-plio-cuaternaria, de tipo distensivo, ligada a la subducción de Cocos y al desplazamiento de la placa Americana en relación con la Caribe.

Los efectos de esta segunda fase provocan la apertura del Golfo de California, la formación de largas depresiones endorreicas (bolsones) con rumbo general NW-SE sobre la Altiplanicie (formación del Bajío Silaoense(?)), fallas San Miguel Allende-Querétaro-Taxco, por un lado, y el fallamiento E-W y finalmente emisión de las lavas del Sistema Volcánico Transversal, por otro.

El vulcanismo del terciario medio y superior fue recortado por esta red de fallas distensivas; el vulcanismo plio-cuaternario, por su parte, aprovechó la red tectónica heredada, ya utilizada por las lavas pliocénicas.

Así, quedan determinadas cuatro regiones tectónicas, con diferentes grados de expresión, en la zona en estudio:

las dos Sierras Madre y el Sistema Volcánico Transversal, que constituyen las elevaciones, y el Bajío, la depresión relativa.

Resumiendo, el desarrollo geológico se produce en nuestra zona, en cuatro etapas principales:

- a). De acumulación en una gran cuenca marina, durante el jurásico tardío y cretácico;
- b). De plegamiento y ascenso regional, de fines del cretácico al eoceno tardío;
- c). De vulcanismo ácido, en el oligoceno y mioceno;
- d). De vulcanismo intermedio a básico, en el plio-cuaternario.

La actividad endógena señalada, de intensidad hoy día en el Sistema Volcánico Transversal, ha influido sustancialmente sobre la actividad de los procesos externos de la morfogénesis. Es decir, los factores geológicos (tectónica) y los modeladores del relieve son inseparables en un estudio geomorfológico. Más aún, en una región que por su origen y evolución en el mesozoico y cenozoico, y la actividad actual, se considera como "joven".

III. GEOMORFOLOGÍA

En un capítulo anterior se desarrollaron los lineamientos y pasos metodológicos referentes a la elaboración y análisis de las cartas morfométricas y geomorfológica. A continuación se describen las mismas (que se adjuntan fuera de texto), en forma de una zonificación de los resultados obtenidos para nuestra escala de trabajo.

3.1 Morfometría

3.1.1 Carta de densidad de la disección.

a). Anomalías negativas (valores de 0 a 0.5 km/km^2). Se reconocen en la zona central y occidental de la carta. Corresponden a la planicie de nivel de base y otras planicies menores, constituidas por sedimentos aluviales, volcánicos y lacustres, modernos. Indican un ambiente de depósito, con rara o nula actividad erosiva. Son zonas llanas, con pendientes suaves o nulas. Buena parte de la planicie regional está ocupada por la llanura aluvial del río Lerma.

b). Valores medios (de 0.5 a 2.0 km/km^2). Ampliamente distribuidos en toda la carta. Corresponden a: 1) porciones inferiores de las elevaciones montañosas en general, con pendiente relativamente suaves, donde las corrientes tienden a concentrar su escurrimiento; 2) redes radiales de barrancos en montañas volcánicas plio-cuaternarias, con diferentes

pendientes, especialmente en el sur de la hoja, donde la juventud del relieve no ha permitido el trabajo erosivo de las corrientes; 3) algunas laderas de pendientes suaves de cadenas sedimentarias plegadas, especialmente de calizas poco fracturadas, donde el factor litológico (dureza del material) ha impedido, a pesar de su antigüedad, una mayor denudación; 4) algunas superficies de material piroclástico de pendiente baja; y 5) piedemontes modernos, donde dominan los procesos acumulativos sobre los erosivos.

c). Valores altos (de 2.5 a 4.0 km/lkm²). Se localizan principalmente en la porción norte de la carta, y en algunos puntos al centro-oeste, suroeste y sureste. Corresponden a: 1) mesas y laderas volcánicas terciarias, especialmente ácidas e intermedias, en el centro-norte, noroeste, centro-oeste, sureste y suroeste de la hoja. En este caso, los valores de alta densidad están controlados por pendientes de medias a fuertes, medio a alto grado de fractura y antigüedad considerablemente alta del material volcánico. Estas zonas se caracterizan, asimismo por la presencia de importantes valles erosivos. 2) Montañas plegadas, con predominio de lutitas sobre calizas, con pendientes de medias a fuertes, e importante fracturamiento, especialmente en el norte de la hoja. 3) Piedemontes antiguos, también en el norte, donde dominan los procesos erosivos sobre los acumulativos, debido a la

edad del depósito continental, a la naturaleza del material y al basculamiento tectónico detectado en el buzamiento de sus capas.

d). Anomalías positivas (de 4 a 4.8 km/km²). Exclusivamente en el norte de la hoja. Corresponden a: 1) una porción del piedemonte antiguo; 2) un cuerpo metamórfico mesozoico al suroeste de San José Iturbide (Gto.), intensamente fracturado. En el primer caso, los procesos erosivos están controlados por los factores señalados más arriba para el resto del piedemonte antiguo. En el segundo caso, es el intenso fracturamiento el responsable de esta anomalía positiva.

3.1.2 Carta de profundidad de la disección.

a). Anomalías negativas (de 0 a menos de 10 m). Corresponde casi en forma absoluta con las anomalías negativas de la densidad, y está controlada por iguales características.

b). Valores medios (de 10 a 40 m). Se trata en general de barrancos poco profundos, que a nuestra escala no alcanzan expresión cartográfica como tales. Los encontramos en: 1) las formas volcánicas plio-cuaternarias, en mesas y laderas lúvicas y de piroclastos, poco expuestas a la erosión en el tiempo, especialmente en el sur de la hoja; 2) los piedemontes más modernos, donde, a pesar de la susceptibilidad del material a la erosión, predominan, por su juventud, los procesos

acumulativos; 3 las ya mencionadas formaciones plegadas calizas. Los tres casos se caracterizan por pendientes de medias a débiles y por una escasa altitud en relación con el nivel de base, lo cual no favorece la incisión vertical.

c). Valores altos (de 40 a 200 m). Especialmente, ocupan la mayor parte de la hoja; se caracterizan por la presencia de barrancos profundos y se presentan en: 1) estructuras volcánicas ácidas e intermedias del terciario, muy fracturadas, especialmente en las estribaciones de las Sierras de Guajuato, al centro-norte de la hoja, y de la Gorda, de Querétaro, en el noreste; asimismo, en las Sierras de Pénajamo, al oeste, de los Agustinos, al centro-este, y de Amealco, al sureste. Todas estas estructuras alcanzan los relieves relativos más altos (ver "Marco Geográfico"), presentan pendientes fuertes y, a pesar de tratarse de material principalmente ignimbrítico, riolítico y andesítico, relativamente más resistentes que el basalto, su prolongada exposición en el tiempo, ha permitido un importante modelado erosivo. 2) Las cadenas sedimentarias plegadas más fracturadas y aquéllas donde las lutitas predominan, así como en el cuerpo metamórfico al suroeste de San José Iturbide; 3) los piedemontes antiguos ya indicados, al norte de la hoja, donde los procesos erosivos se favorecen por el basculamiento mencionado, y predominan sobre los acumulativos.

d). Anomalías positivas (de 200 a 400 m). Zonalmente se vinculan con las porciones mencionadas en el punto anterior, y se presentan rodeadas por aquéllas. Los valores mayores se explican en términos de una mayor intensidad en los procesos actuantes.

En conclusión, podemos afirmar que existe una relación directa entre vulcanismo ácido e intermedio del terciario, y valores altos de densidad y profundidad de la disección. Otra correlación positiva, se da entre los piedemontes antiguos, donde además de la edad, opera la mayor susceptibilidad del material a ser erosionado. Las planicies relativas, obviamente, reconocen valores bajos de disección. Los valores medios corresponden, globalmente, a los piedemontes modernos y a las formas volcánicas del pliocuaternario.

3.2 Carta Geomorfológica.

En base a la interpretación de las cartas anteriores, a la geología y a las evidencias de campo, se delimitaron las formas del relieve. A nuestra escala de trabajo, esta delimitación adquiere las características de una zonificación geomorfológica, donde se considera la interacción de los factores estructura, procesos y edades relativas.

Las formas se encuadran en una clasificación genética, que se utiliza, con algunas variantes, en todos los estudios geomorfológicos realizados en el programa de investigación sobre el Sistema Volcánico Transversal ya mencionado. Esta clasificación es además una taxonomía: las formas del relieve se agrupan, sucesivamente, en grupos, clases y tipos.

A continuación se describen las formas zonificadas, de acuerdo a su encuadramiento en la mencionada clasificación.

I. Relieve Endógeno. Este grupo comprende las formas del relieve caracterizadas por la dominancia, en su constitución, de los agentes endógenos formadores, el diastrofismo y el vulcanismo. Los agentes exógenos (intemperismo, remoción en masa y erosión) han actuado escasamente, de tal manera que su huella no es notable en el relieve. Comprende la siguiente clase:

1. Relieve volcánico-acumulativo. Esta clase se refiere al relieve formado por el vulcanismo plio-cuaternario, el que por su relativa juventud, se encuentra poco alterado por los procesos exógenos. Comprende los siguientes tipos:

1.1 Coladas y mesas de lava. Esencialmente basálticas, representan, siguiendo el razonamiento ya expuesto de Demant (op. cit.), la expresión en el relieve del vulcanismo perteneciente al Sistema Volcánico Transversal. Se localiza básicamente en la porción sur de la hoja. Si bien el basalto, en relación con otras rocas volcánicas (ácidas), es más susceptible a la erosión, su grado de conservación es alto, en tanto representa las fases más recientes del vulcanismo del centro de México. Ello se verifica en bajos valores de densidad y profundidad de la disección, a pesar de tratarse de estructuras montañosas con pendientes diversas, a veces fuertes.

En la zona en estudio, este tipo se localiza principalmente en las hojas Valle de Santiago, Puruándiro y Angamacutiro, 1:50,000, es decir, en el sur de Guanajuato y norte de Michoacán. Está asociado a numerosas calderas y conos escoriáceos monogénicos, así como a vulcanismo de fisura.

El caso más distintivo lo constituyen los relieves localizados en Valle de Santiago y adyacencias. Allí es donde se registra el más alto grado de concentración de estruc-

turas volcánicas monogénicas, cuyas erupciones han modificado esencialmente las condiciones hidrológicas preexistentes. Su gran concentración sobre alineamientos NE-SW y NW-SW indica una zona de debilidad de la corteza, que permitió el ascenso de magmas de manto. Según apuntan Silva y Demant en sus respectivos trabajos, los materiales corticales parecen no haber tenido participación en estos fenómenos volcánicos.

El elemento más destacado en esta porción son los cráteres de explosión (calderas), indicadas como "hoyas" por la toponimia. De las siete hoyas presentes, la más importante por sus dimensiones es la "Rincón de Parangueo", al noroeste de la ciudad de Valle de Santiago. La misma tiene un diámetro de casi dos km en su base, y un cráter con una profundidad de aproximadamente 240 m. Las laderas del mismo son muy empinadas hacia el interior, ocupado por un lago, y más suaves hacia el exterior.

Estas calderas y los demás aparatos volcánicos monogénicos se asientan sobre la planicie del Lerma (1,700 msnm), con altitudes relativas de 500 a 700 m sobre la misma. Existe una gran extensión de lavas, algunas formando laderas radiales, con pendientes de 12 a 15 grados, y otras extendidas directamente sobre la planicie, con inclinaciones más suaves (no más de 4 a 5 grados). Los materiales explosivos y efusi-

vos se superponen unos a otros, de tal manera que a veces resulta difícil su delimitación.

En Angamacutiro (suroeste de la hoja en estudio) es notable el predominio de lavas sobre materiales piroclásticos. Los conos escoriáceos presentan los parámetros comunes: pendientes de más de 30 grados, diámetros basales de menos de dos km, alturas relativas de 100 a 250 m sobre la planicie, desmembrada por este vulcanismo.

Otro rasgo sobresaliente en esta zona es la alineación de los frentes de lava de norte a sur, con escarpes de falla flanqueando una depresión alargada, de tipo graben, ocupada por sedimentos lacustres y fluviales, así como algunos volcanes aislados.

1.2 Laderas volcánicas con débil disección. Espacialmente, están vinculadas con el tipo anterior, en el centro y sur de la zona en estudio. Se trata de formas generadas, asimismo, por el vulcanismo del Sistema Volcánico Transversal, aunque ligeramente más antiguas que las anteriores. Su disposición en la carta permite relacionarlas con un sistema de fallas plio-cuaternario ENE-WSW, característico de esta porción del Sistema, y, al igual que el anterior, a una gran cantidad de conos volcánicos relativamente bien conservados. Ocupa un área mucho mayor que el tipo anterior, y, a diferencia de aquél, existen aparatos volcánicos de gran envergadura. Se

trata principalmente de estructuras pliocénicas andesíticas y en menor medida dacíticas y riolíticas. Las primeras constituyen los edificios volcánicos más importantes de esta porción de la carta. Los casos más destacados son los volcanes Culiacán y Grande (hoja Cortázar, 1:50,000), al centro de la región en estudio. Silva y Demant indican que estos imponentes aparatos están recortados por las fallas ya mencionadas, que provocan escalonamientos en sus flancos. Esta tectónica ENE-WSW es a la vez responsable de la formación de grábenes ocupados por cuencas lacustres en el cuaternario. Yuriria y Cuitzeo representan una evidencia actual de ese fenómeno.

En cuanto a las estructuras dacíticas y riolíticas, se presentan vinculadas espacialmente entre sí, en las proximidades de Acámbaro y en la Sierra de los Agustinos, en el centro-sur de la carta, en forma de domos redondeados, con fisonomía de mesas, hecho que incluso se verifica en la toponimia.

Los aparatos basálticos, por su parte, son pequeños, similares a los indicados en el tipo anterior, monogenéticos, con dos fases eruptivas: una explosiva y otra lávica, generalmente de fisura, al pie.

En conjunto, este vulcanismo plio-cuaternario, de débil disección, representa la mayor extensión en la zona ocupada por los fenómenos eruptivos del Sistema Volcánico

Transversal, y ha influido decisivamente en la estructuración del paisaje e hidrología actuales. Ello se debe a las grandes dimensiones de su material de acumulación y a la tectónica distensiva que le dio origen, por un lado, y a los cambios en el ciclo hidrológico que provocó esta nueva orografía, por otro.

1.3 Superficies de material piroclástico con débil disección. Se trata esencialmente de tobas y brechas en forma de depósitos producto de las fases explosivas del vulcanismo, tanto terciario como cuaternario. Se localiza vinculado a los tipos antes señalados. Son acumulaciones caracterizadas por una pendiente suave, lo cual no ha favorecido su disección.

En el caso del material de edad terciaria, por ejemplo en la Sierra de Amealco, son tobas vítreas, soldadas, riolíticas y andesíticas. Aquí, la relativa antigüedad del material, que hubiera permitido una mayor erosión, se ve atenuada por la dureza y resistencia del material, así como por los bajos gradientes. En cuanto a los piroclastos modernos, relacionados con las erupciones indicadas en el tipo anterior, la débil disección se debe esencialmente a la juventud del material y, en el caso de las formaciones no basálticas, a la consolidación de las tobas.

II. Relieve endógeno-modelado. Este grupo abarca aquellas formas que, a pesar de ser originadas por los procesos endógenos constructores, han sufrido el suficiente grado de exposición a los procesos modeladores, de tal manera que éstos han dejado una huella determinante en la fisonomía de las formas actuales. Es el factor tiempo, entonces, el esencial agente en este grupo. El mismo abarca dos clases, que a continuación se detallan, acompañada cada una de sus tipos correspondientes.

2. Relieve volcánico-demudatorio. Esta clase corresponde a formas volcánicas muy afectadas por la erosión y que, por su antigüedad, no son consideradas como pertenecientes al vulcanismo del Sistema Volcánico Transversal (Demant, Silva). Comprende los siguientes tipos.

2.1 Superficies volcánicas (mesas, coladas y de material piroclástico), con fuerte disección. Corresponde, principalmente, a la presencia en nuestra zona del ya mencionado "reborde meridional" de la meseta ignimbrítica (Demant). Es decir, las expresiones del vulcanismo ácido e intermedio, oligo-miocénico, de la Sierra Madre Occidental. De allí la predominancia de estructuras tabulares homoclinales, especialmente en la mitad norte de la zona en estudio, muy basculadas y fracturadas por la tectónica plio-cuaternaria, y muy erosionadas por su antigüedad relativa, a pesar de la resistencia del

material, especialmente el riolítico.

Se presentan asociadas a numerosos valles erosivos profundos, rectilíneos debido al control estructural (fracturas), que representan la evidencia de altas densidades y profundidades de la disección, consideradas zonalmente. Asimismo, se vinculan con una buena cantidad de aparatos volcánicos de grandes dimensiones (poligenéticos), ya muy alterados por la erosión, de tal manera que la topografía apenas revela su estructura original.

Estas superficies volcánicas, de una importante altitud relativa sobre el nivel de base local (de 500 a 1,200 m), lo cual favorece los procesos denudatorios, son característicos en:

- 1) la porción noreste de la hoja en estudio (carta Colón, 1:50,000), que algunos consideran como la estribación occidental y volcánica de la Sierra Gorda de Querétaro, dominada por el Vn. El Zamorano, de 3,280 msnm. Las superficies volcánicas se presentan a más de 2,400 msnm, con una inclinación general hacia el sur; algunas de ellas están escalonadas, y todas sufren de intensos procesos de erosión regresiva sobre sus bordes, lo cual se reconoce en los escarpes que las limitan, con alturas de 50 y más metros. El hecho de que hacia el extremo noreste asomen las calizas plegadas de la Sierra Madre Oriental permite suponer que estas rocas volcá-

nicas estén cubriendo aquellas estructuras anteriores. Aquí se presentan muy claras dos fases de la evolución tectónica regional: el plegamiento de las rocas sedimentarias marinas y el vulcanismo posterior.

2) El extremo sur de la Sierra de Guanajuato, al centro-norte de la hoja en estudio (cartas Aldama, Salamanca y Celaya, 1:50,000), con características similares a la anterior aunque los barrancos no alcancen profundidades mayores de los 70 metros.

3) En la periferia de la Sierra de Pénjamo (cartas Pénjamo y Abasolo, 1:50,000), en el centro-oeste de la hoja en estudio. Aquí los escarpes erosivos alcanzan los 250 metros de altura; representan el frente de retroceso de las mesas y se levantan directamente de la planicie de nivel de base. Esta erosión regresiva ha penetrado estas superficies con barrancos de 200 y más metros, en un proceso actual de desmembramiento de las mesas.

4) En áreas menores en el extremo noroeste (carta San Roque de Torres, 1:50,000), con características análogas a las ya señaladas.

2.2 Laderas volcánicas con fuerte disección. También corresponden a expresiones del vulcanismo ácido oligo-miocénico, en general vinculadas zonalmente con el tipo anterior, especialmente en el norte de la hoja en estudio . La diferencia

con el tipo 2.1 radica en que aquí no encontramos relieves mesetiformes. En parte, debido a que los intensos procesos erosivos remontantes sobre los bordes de antiguas mesas han alterado su anterior fisonomía, y les han conferido una topografía más escarpada, con parteaguas estrechos y ausencia de superficies planas en las cimas. Por otra parte, opera el factor erosión diferencial, debido a diferentes disposiciones del material volcánico original (es decir, no siempre se ha tratado, originalmente, de mesas), y a su composición litológica. Si en el anterior predominaron las ignimbritas, con disposiciones tabulares, aquí predominan los volcanes y coladas riolíticas con intensa disección vertical.

Como en el caso anterior, este tipo de relieve está asociado a valles erosivos rectilíneos y estructuras volcánicas muy erosionadas en densidad y profundidad. Su altitud relativa sobre el nivel de base es asimismo considerable.

Este tipo de relieve es característico en : 1) las estribaciones de las Sierras de Guanajuato y Gorda de Querétaro ya citadas, zonalmente asociado al tipo 2.1; la Sierra de Amealco (carta del mismo nombre, 1:50,000), y zonas adyacentes, en el sureste de la hoja en estudio; y 3) la Sierra de los Agustinos (cartas Acámbaro y Cortázar, 1:50,000), al centro-sureste.

2.3 Mesas volcánicas con disección media. Corresponden a derrames basálticos, generalmente de fisura, bastante extendidos, pero que globalmente ocupan un área mucho menor que cada uno de los dos tipos anteriores. Se trata de materiales más modernos y, por lo tanto, menos erosionados, que los ácidos del oligo-mioceno. Probablemente se relacionen con las primeras emisiones pliocénicas, intermedias entre el vulcanismo de la Sierra Madre Occidental y el Sistema Volcánico Transversal. Sus altitudes relativas son poco considerables.

Presentan una típica fisonomía de mesas de material básico, con procesos de erosión regresiva en sus bordes, menos intensos que los mencionados anteriormente. Algunas están asociadas a fallas regionales, con rumbos NW-SE y ENE-WSW, características de la tectónica plio-cuaternaria; otras, como en Penjamillo, en el extremo suroeste de la hoja en estudio (carta Angamacutiro, 1:50,000), donde se presentan orientaciones N-S, que Demant (op.cit.) asocia con el vulcanismo de la porción occidental del Sistema Volcánico Transversal.

Estas mesas volcánicas son características en :

- 1) El oeste de la localidad de Silao, al noroeste de la zona en estudio (cartas Silao y San Roque de Torres, 1:50,000). Aquí se encuentran asociadas a rocas sedimentarias, a las que cubren parcialmente.

2) El sur de la Sierra de Pénjamo (cartas Pénjamo y Angamacutiro, 1:50,000), ya citada. Se caracterizan por estar relacionadas con la tectónica ENE-WSW; se aprecian centros de erupción y el inicio de la disección, asociada a las líneas de fractura principales.

3) El suroeste de la ciudad de Querétaro (carta Apaseo El Alto, 1:50,000), en el centro-este de la hoja en estudio.

2.4 Formas complejas de relieve volcánico-denudatorio (antiguo) y volcánico-acumulativo (joven), no diferenciado. Este tipo se determina ante la imposibilidad de discriminar, en la escala regional, formas de relieve complejas que resultan de la superposición y relación zonal muy estrecha entre estructuras volcánicas ácidas (riolitas, ignimbritas), intermedias (andesitas, dacitas) del oligo-mioceno, por un lado, y estructuras basálticas (y en menor medida riolíticas y dacíticas) del plio-cuaternario.

Cada una de ellas presenta características diferenciadas de acuerdo con su grado de erosión, pero resulta difícil delimitarlas en la cartografía. Se trata de formas diversas, tales como mesas, laderas, superficies de piroclastos, volcanes complejos, valles erosivos, etc., con disección creciente con el aumento de su antigüedad y el grado de fracturamiento, que también es variable.

En general, los basaltos y las ignimbritas se presentan en forma de mesas, en tanto que los aparatos volcánicos poligenéticos son dacíticos, andesíticos y riolíticos. También existen, pero en menor proporción, conos monogenéticos basálticos.

Este tipo de relieve volcánico-denudatorio refleja la intensidad de la sucesión volcánica que afectó el centro de México, y la diversidad de materiales eyectados. Ocupa dos áreas importantes: 1) En las Sierras de Amealco y de los Agustinos, ya citadas; 2) en la Sierra de Pénjamo, en el centro-oeste, ya localizada.

3. Relieve estructural. Esta clase corresponde a las formas originadas por una actividad endógena, del tipo de los plegamientos, intrusiones y metamorfismo, pero que debido a su antigüedad y grado de fracturamiento, han sido intensamente erosionadas. El factor litológico, en cuanto a resistencia del material a la erosión, puede atenuar los dos factores mencionados. Todas estas formas se encuentran cubiertas y/o flanqueadas por los vulcanismos del terciario y cuaternario, y tienen una escasa importancia a nivel regional. Abarca los siguientes tipos.

3.1 Laderas de montañas plegadas con disección fuerte. Comprende las pequeñas cadenas de lutitas, caliza-lutitas y en

menor medida calizas; es decir, las expresiones montañosas básicamente cretácicas de la orogenia Laramídica, y por lo tanto correlacionables con la Sierra Madre Oriental. La disección fuerte es producto de la antigüedad del material, de su relativamente alto grado de fractura y de sus características litológicas (predominio de lutitas, más susceptibles al trabajo erosivo que las calizas).

Encontramos formas de este tipo en: 1) el noroeste de la hoja en estudio (carta San Roque de Torres, 1:50,000); 2) entre las localidades de San Miguel Allende y Celaya (cartas del mismo nombre, 1:50,000); 3) el noreste de la localidad de Colón (carta de igual nombre, 1:50,000); 4) el sur de la ciudad de Querétaro (noreste de la carta Apaseo el Alto, 1:50,000). Todas estas localidades se encuentran en la porción norte de la carta en estudio.

3.2 Laderas de montañas plegadas con disección de media a débil. Se relacionan directamente con el tipo anterior, pero la predominancia de material calizo y su menor grado de fracturamiento explican la mayor y mejor conservación de sus formas, en términos de menores niveles de densidad y profundidad de la disección. Su importancia, a nivel regional, es aun menor que el tipo anterior, y las encontramos casi exclusivamente en el noroeste de la hoja en estudio (carta San Roque de Torres).

3.3 Laderas de elevaciones montañosas metamórficas con disección fuerte. Corresponden a la expresión en el relieve de los cuerpos metamórficos jurásicos (?). Se trata de las rocas más antiguas de la hoja, y por lo tanto muy expuestas a los procesos erosivos. Las encontramos: 1) en torno al Cerro El Cubilete (noroeste de la carta Aldama, 1:50,000); 2) al suroeste de San José Iturbide (centro de la carta Corral de Piedras, 1:50,000). Este último es el afloramiento más importante. Se presenta flanqueado por formaciones plegadas y por vulcanismo, más recientes. Intensamente fracturado, encontramos aquí una anomalía positiva de la densidad de la disección e importantes valores de profundidad, que se traducen en valles erosivos profundos.

3.4 Laderas de montañas intrusivas. Corresponden a la expresión en el relieve de los intrusivos graníticos y granodioríticos post-orogénicos. De los mencionados en la sección "Estratigrafía", el único que alcanza expresión en la cartografía geomorfológica es el que rodea el Cerro El Cubilete. Se presenta como una elevación montañosa considerable, flanqueada por fallas regionales ENE-WSW y muy fracturada, con importantes grados de disección

Como puede apreciarse, el conjunto del relieve estructural se presenta exclusivamente en la porción norte de la hoja, e indica aproximadamente el límite de la influencia de la orogenia Laramídica y fenómenos conexos.

III. Relieve exógeno. Este grupo comprende aquellas formas que resultan de la acción de los agentes externos constructores y/o destructores del relieve. Abarca tres tipos, que a continuación se detallan.

4. Relieve denudatorio. Implica las formas que resultan del trabajo destructivo de las fuerzas exógenas, principalmente erosión, sobre porciones de relieves preexistentes, pero que debido a la intensidad de la denudación, han perdido su fisonomía originaria. En nuestra zona, se verifica un solo tipo correspondiente a esta clase.

4.1 Valles erosivos profundos. Representan el resultado del trabajo continuado, durante largos periodos de tiempo, del escurrimiento concentrado. Corresponde, obviamente, a zonas de altos valores de profundidad de la disección y a densidades de medias a altas. Los factores estructurales que controlan estos barrancos profundos son: a) el grado de fractura de las rocas; debido a la intensa actividad tectónica que ha afectado a la zona desde el oligoceno, la mayor parte de los barrancos reconoce control estructural; ello, además, facilita el trabajo erosivo. b) la litología; la erosión opera con mayores posibilidades sobre los materiales más susceptibles; por ejemplo, en las sedimentarias marinas, las lutitas son más erosionables que las calizas compactas; en las volcánicas, los basaltos y las tobas no soldadas, son más ero-

sionables que las riolitas, andesitas y tobas vítreas. c) El tiempo de exposición, donde a mayor antigüedad, mayor posibilidad de relieves muy denudados.

De esta manera, la presencia de los valles erosivos profundos, suficientemente importantes como para aparecer en la cartografía geomorfológica regional, se encuentran sobre las estructuras montañosas más antiguas; especialmente en las mesas y laderas de disección fuerte, típicas del vulcanismo cenozoico temprano, y sobre las zonas de relieve volcánico complejo, todas muy afectadas por la tectónica de fallas. Asimismo, estos barrancos se vinculan con los aparatos volcánicos muy destruidos y con zonas de pendientes de medias a fuertes.

5. Relieve acumulativo. Esta clase abarca las formas que resultan de los procesos de agradación, es decir, construcción como consecuencia de la actividad de los agentes exógenos. En general, las pendientes son de bajas a nulas. Se reconocen los siguientes tipos.

5.1 Valles fluviales alterados por procesos volcánicos: superficies aluviales con relleno de material piroclástico. Se trata de algunas zonas, relativamente pequeñas, dispersas en toda la hoja en estudio, pero especialmente en las porciones centro y sur, caracterizadas por la presencia de materiales acumulativos de granulometría fina, depositados por corrientes

de baja competencia, a veces en facies lacustre, y luego alterado por materiales piroclásticos, generalmente retrabajados por el escurrimiento o depositados asimismo en medio lacustre. En la cartografía geológica de DETENAL, esta categoría aparece como "Suelo residual"; sugiere una alteración, además, de los procesos de pedogénesis (interrupción, sepultamiento de suelos fósiles). En algunos casos, principalmente en la zona de Valle de Santiago y Abasolo, ya mencionada, se presentan asociados a la actividad explosiva de conos escoriáceos y calderas jóvenes, y se localizan cerca de los mismos.

Esta categoría ocupa un área pequeña, a nivel regional; sin embargo, dado su grado de complejidad merecería un estudio más detallado, ya que podría aportar elementos a una reconstrucción de ambientes pasados.

5.2 Planicies y terrazas fluviales y lacustres no diferenciadas. Corresponde a la planicie regional de nivel de base (El Bajío) y a otras planicies locales, con altitudes de 1,700 a 2,000 msnm, que ocupan una gran extensión de la carta en estudio. Se trata de diversos materiales fluviales de granulometría fina (arenas, limos, arcillas) y materiales piroclásticos (esencialmente cenizas) depositados en facies lacustre. Representan, posiblemente, los depósitos de los antiguos lagos del pleistoceno, originados en una época de

mayor pluviosidad, y que posteriormente fueron afectados (tendencia a la desecación) por emanaciones volcánicas, cambios climáticos, y lentamente drenaron hacia el oeste, a través del Lerma y tributarios.

Esta es la región distintiva de la hoja en estudio, por su importancia ya señalada en el "Marco Geográfico General". Estas planicies se originaron por la tectónica plio-cuaternaria, también responsable del vulcanismo del Sistema Volcánico Transversal. Representan grábenes, aparentemente ocupados, anteriormente, por los lagos mencionados, con dos disposiciones principales: una NW-SE/ NNW-SSW, que se detecta principalmente en el occidente de la hoja en estudio, y otra NE-SW/ ENE-WSW, especialmente en el centro. Ambas orientaciones están relacionadas con los esfuerzos distensivos que originaron el Sistema Volcánico Transversal; los segundos, además, originaron los sistemas lacustres actuales de Yuriria y Cuitzeo.

Asimismo, estas planicies fueron afectadas posteriormente por procesos volcánicos más recientes, que las desmembraron, alterando completamente la hidrología, como ya se indicó anteriormente.

Actualmente, los cursos de agua importantes que drenan la región son el río Lerma (dirección general E-W) y sus principales tributarios: sobre la margen norte, el río Tur-

bio, al oeste (rumbo general N-S), y de La Laja, al centro-este (rumbo N-S hasta Gelaya, luego E-W); sobre la margen sur, el río Angulo (rumbo general S-W), en el suroeste de la región en estudio.

Esto nos da una idea de las pendientes regionales: al centro, dirección E-W; al norte, N-S; y al sur, S-N, lo cual indica una zona de concentración del escurrimiento en el centro (donde además, se presentan los principales problemas de inundaciones), desmembrada por el vulcanismo cuaternario. En forma provisoria, puede intentar reconstruirse los posibles paleocanales de estas corrientes principales.

El río Turbio, al oeste, podría haber seguido escurriendo, francamente con rumbo N-S, y haber encontrado al Lerma en el extremo oeste de la carta en estudio, al suroeste de la Sierra de Fénjamo. Sin embargo, al encontrar las formaciones volcánicas al sureste de Manuel Doblado, en el noroeste de la hoja en estudio, se desvía al noreste para luego, ya en la planicie, volver a reconocer su rumbo N-S y confluir con el Lerma al suroeste de Abasolo. Esta hipótesis se apoya, además, en la continuidad aproximadamente N-S de los alineamientos tectónicos (fallas regionales) en todo el extremo occidental de la hoja en estudio (cartas San Roque de Torres, Manuel Doblado, Fénjamo, Angamacutiro, 1:50000).

Algo similar ocurre con el río de La Laja, al abandonar la presa Allende, con rumbo N-S. Lo mantiene hasta la

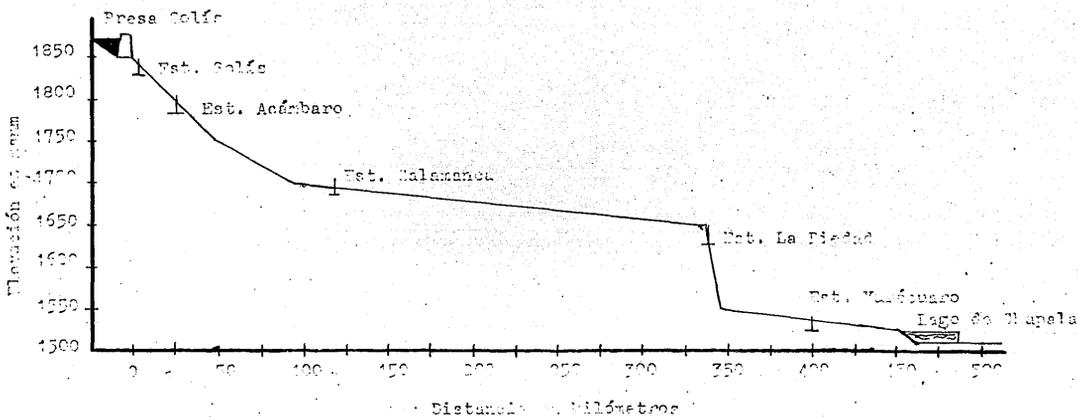


Figura 4. Corte longitudinal del cauce del río Lerma. (Tomado de la Carta Geográfica de Querétaro, DETENAL, México, 1930.)

ciudad de Celaya, aproximadamente, donde encuentra formaciones volcánicas cuaternarias, que lo habrían obligado a reconocer E-W, flanqueándolas, para reunirse con el Lerma al noreste de la localidad de Valle de Santiago. Probablemente, su curso podría haber continuado reconociendo la dirección N-S.

El río Angulo, el único afluente importante desde el sur (a excepción de la cuenca de Cuitzeo, integrada artificialmente) en la zona en estudio, confluye de sur a norte, cortando una lava cuaternaria, que aparentemente no modificó su cauce previo.

En el caso del Lerma, es más difícil intentar esta reconstrucción. Sin embargo, puede apreciarse como, desde su llegada al valle de Acámbaro, corta algunas formaciones cuaternarias para luego seguir un curso zigzagueante entre diversas estructuras volcánicas cuaternarias.

El del Lerma, es el caso de una corriente fluvial de alto orden, una de las principales del país. Más que ejercer una función de modelado importante sobre el relieve, su curso y su acción han estado subordinados a la tectónica cuaternaria. En la zona en estudio se reconoce una porción considerable de su cuenca. Atraviesa la región con una longitud de cauce aproximada, de 350 km (ver figura 4).

Podemos diferenciar tres segmentos: a) desde Taran-dacuao, en el sureste, para ser controlado inmediatamente por

la presa Solís. Luego sigue con dirección general al noroeste. En este segmento escurre por planicies estrechas, que ocupan los espacios entre los volcanes jóvenes; b) a partir de Cortázar entra a la gran planicie regional, siguiendo por ésta en igual dirección hasta Salamanca, regresando por dirección suroeste hacia Pastor Ortiz. En este tramo recibe los afluentes principales por el norte; c) a partir de Pastor Ortiz, su curso es "normal", hacia el oeste, pero entre Penjamillo y Mumarán reconoce hacia el norte, flanqueado por el escarpe regional.

La planicie aluvial del Lerma debe haber sido más amplia en el cuaternario, pero fue desmembrada por el vulcanismo. En la actualidad, se trata de una planicie compleja, en parte aluvial y en parte lacustre, elementos difíciles de diferenciar debido a las intensas acumulaciones piroclásticas sucesivas, que contribuyen a enmascarar la evolución.

En síntesis, la red fluvial de la planicie ha debido modificar su estructura original a causa de la tectónica y el vulcanismo plio-cuaternarios. En la actualidad, la región se presenta integrada por una serie de cuencas conectadas por los escurrimientos del Lerma y tributarios, que podrían haber correspondido a cuencas lacustres anteriores, hoy disecadas.

5.3 Superficies de piedemonte esencialmente deluviales con disección débil. Esta categoría abarca los abanicos aluviales cuaternarios (y sus coalescencias), constituidos por materiales deluviales (conglomerados, arenisca-conglomerados, de gruesos calibres) y también los proluviales (aluviones en partes frontales, más finos). Se presentan casi exclusivamente al pie de los conjuntos montañosos, en contacto con la planicie de nivel de base, sobre la cual se produce el "derrame". Este, a veces, presenta intercalaciones con el material de origen lacustre ya indicado. En general, corresponde a diferentes zonas cartografiadas en los mapas litológicos de DETENAL como arenisca-conglomerado, conglomerado y arenisca, aunque a veces se caracterizan por un alto contenido de material piroclástico, intercalado con conglomerados fluviales, ambos con diferentes grados de retrabajamiento fluvial y/o lacustre.

Como puede apreciarse en la carta geomorfológica, estos materiales de "explanada" (o glacis), son más frecuentes al pie de las montañas volcánicas más antiguas y más elevadas. En cambio, están casi ausentes en el sur de la hoja, donde dominan los relieves endógenos. Su relativo escaso desarrollo se debe también al relativo escaso desnivel entre las montañas y su planicie de nivel de base, así como a su relativa juventud.

5.4 Planicies lacustres. En tanto se han agrupado las planicies fluviales y lacustres no diferenciadas, en la categoría 5.2, estas planicies lacustres sólo indican aquellas superficies de material depositado en facies lacustre que rodean a los únicos sistemas actuales (Yuriria y Cuitzeo), siguiendo la delimitación realizada por DETENAL en su cartografía litológica.

Se trata de planicies constituidas por material arcilloso, arcillo-limoso y en menor medida limo-arenoso, con fuerte presencia de materia orgánica, evidencia de la presencia de turberas en su ambiente de depósito.

Están sujetas a inundaciones periódicas, durante las avenidas considerables, aunque la tendencia actual de los cuerpos lacustres es a contraerse día a día.

Debido a la presencia de arcillas, la erosión pluvial genera una fina capa de agregados firmes (barniz), que actúa como protector para la erosión eólica; como contrapartida, este barniz no favorece la infiltración.

6. Relieve acumulativo-erosivo. Esta clase se caracteriza por dos etapas diferenciadas en su desarrollo. Una primera, originaria, de agradación (acumulación), y una segunda, actual, de degradación (erosión). Es decir, en la actualidad predominan los procesos erosivos sobre los acumulativos. Ello se explica porque se trata de estructuras más antiguas que las

correspondientes al tipo 5.3, donde aún dominan los procesos acumulativos sobre los denudatorios. Dentro de esta clase sólo encontramos un tipo de relieve, que a continuación se describe.

6.1 Superficies deluviales con disección fuerte. Se trata de los abanicos y coalescencia de abanicos aluviales, caracterizados por una dominancia de materiales de acarreo de grueso calibre (conglomerados). Se encuentra, básicamente, en la zona centro-norte de la hoja en estudio, y corresponde al Conglomerado Rojo de Guanajuato ya citado, y materiales adyacentes, cartografiados; globalmente, como arenisca-conglomerado por DETENAL.

Debido a su mayor antigüedad relativa, estas estructuras han sido retrabajadas; ello se evidencia en el material aluvial que corta estas superficies deluviales al este de Silao y oeste de San Miguel Allende, en el centro-norte. En general, ofrecen un relieve típico de lomeríos, con intensas densidad y profundidad de la disección. Asimismo, hay evidencias, a partir de los cambios detectados en el buzamiento de sus capas, de un fuerte basculamiento probablemente ocasionado por la tectónica plio-cuatemaria, misma que ha intensificado los procesos erosivos.

Símbolos complementarios

Todos ellos han sido ya mencionados y relacionados con las diferentes categorías geomorfológicas descritas, a excepción de la caldera de Amealco. Esta es una estructura de explosión del oligo-mioceno (Demant, Silva, op.cit.), alineada sobre el sistema de fallas San Miguel Allende-Querétaro-Taxco, y que posteriormente fue semidestruida por la tectónica de fallas ENE-WSW del plio-cuaternario. Ambos lineamientos tectónicos se cruzan en forma casi ortogonal, provocando el primero de ellos las emanaciones ácidas y el segundo (probablemente) las básicas, así como su semidestrucción.

CONCLUSIONES

1. La escala regional no permite un estudio detallado; por el contrario, es necesario establecer caracterizaciones y delimitaciones zonales, tanto para la morfometría como para la geomorfología. Para ello es preciso disponer de una cartografía topográfica confiable y detallada, es decir, no menor de 1:50,000. En este sentido, las cartas de DETENAL constituyen un excelente material base. De no contarse con ellas, un trabajo de esta naturaleza hubiera sido imposible. Asimismo, al elaborar la morfometría y recopilar la geología a escala 1:50,000 para expresar los resultados a escala 1:250 mil, le confiere a estos trabajos un relativamente alto grado de precisión.

2. El estudio regional permite regresar sobre las características tectónicas del área en estudio. En efecto, el estudio de la disposición general de las formas del relieve, revela indicios y permite intentar la reconstrucción de los acontecimientos tectónicos formadores, tan importantes en el Sistema Volcánico Transversal y áreas adyacentes. Aquí son característicos los movimientos de bloques a partir de fallas regionales, que provocaron la existencia de fosas, áreas deprimidas en el plio-cuaternario, posteriormente ocupadas por sistemas lacustres de gran magnitud.

3. A partir de establecer los procesos dominantes formadores y modeladores podemos aportar elementos para la reconstrucción de la historia geológica y dinámica actual en la zona en estudio. Así, la porción septentrional de la carta se caracteriza por la dominancia de los procesos acumulativos y denudatorios, que se expresan en poderosas acumulaciones de piedemonte, importantes valles erosivos, aparatos volcánicos poligenéticos semidestruidos y, en general, formaciones montañosas intensamente disecadas. La porción sur, globalmente, se caracteriza por la dominancia de los procesos endógenos formadores, básicamente el vulcanismo plio-cuaternario,

4. Un tema que merece toda la atención, especialmente para futuros estudios, es el de las cuencas lacustres cuaternarias, dominantes en la planicie regional y pequeñas planicies intermontanas. Como se dijo anteriormente, ésta es la zona distintiva de la región en estudio. Una comprensión de la evolución de los sistemas lacustres permitiría un gran aporte a la comprensión de los cambios paleogeográficos durante una buena parte del cuaternario mexicano, tanto en los aspectos geomorfológico e hidrológico, como en los climáticos y ambiental. Este conocimiento sería de vital importancia en eventuales programas de ordenamiento ambiental y uso del suelo.

5. En cuanto a las posibles aplicaciones de este tipo de estudios, debe tenerse en cuenta que la formulación de planes o programas de ordenamiento de cualquier índole, supone un nivel de detalle que nuestra cartografía no suministra en forma directa. Sin embargo, podemos considerarla como un primer paso en esa orientación, ya que aporta: a) la localización de las estructuras geomorfológicas principales y los procesos actuales que las afectan; b) una visión general de las características del paisaje natural; c) evidencias de los procesos y características paleogeográficos, esencialmente del cuaternario y reciente, tales como acontecimientos volcánicos y ambientes lacustres. Estas evidencias proporcionan una guía para trabajos más profundos en términos de un mejor uso del suelo y planeación territorial.

6. Como ya se mencionó anteriormente, este tipo de trabajos permite detectar áreas o sectores problemáticos. En nuestro caso, uno de los problemas más importantes para la dinámica natural y social es la alternancia de etapas de sequías e inundaciones en la planicie. Esto se da en una región donde buena parte del avenamiento natural está controlada por canales de riego. La carta geomorfológica regional proporciona la información básica suficiente como para abordar una nueva investigación que contemple los problemas indicados, mediante un cambio imprescindible de escala y metodología.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez Jr., M. 1949. "Tectonics of Mexico". The Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists. Vol. 33, nro 8. Agosto.
- Alvarez Jr., M. 1961 (a). "Provincias Fisiográficas de la República Mexicana". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. T24.
- Alvarez Jr., M. 1961 (b). "El mecanismo del ciclo tectónico mexicano". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. 13, nros. 7 y 8. Jul. y ago. México.
- Bataillon, Claude. 1969. Las regiones geográficas en México. Siglo XXI. México.
- Bloom, A. 1978. Geomorphology. A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms. Prentice Hall. Nueva Jersey.
- Bocco, G. 1983 (a). "Zonalidad Geomorfológica en la Región comprendida en la Carta Querétaro 1:250,000". Memoria del IX Congreso Nacional de Geografía. Guadalajara.
- Bocco, G. 1983 (b). "La Cartografía Geomorfológica a escala 1:250,000". En prensa, para la Memoria del I Congreso Interno del Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Bocco, G. y Palacio, J. 1983. "Utilidad de la Cartografía Geomorfológica en la Evaluación y Planeación del Territorio". (Inédito).
- Bryan, K. 1948. "Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo 13. México.
- Carbonell, H. 1970. "Bosquejo Geológico de la Sierra de Querétaro". Minería Prochicrénica en la Sierra de Querétaro. CNRRR. SEPAPIN. México.

Carranza, O. (et al) 1982. "Field Trip Guide to Cenozoic Vertebrate Localities in NE and Central Guanajuato, Mexico." En Guide Book of Guanajuato (Early and Late Cenozoic Vertebrate Localities in Central Mexico). Society of Vertebrate Paleontology. 42nd. Annual Meeting. México.

Demant, A. (et al). 1976. "El Eje Neovolcánico Transmexicano". Memoria del III Congreso Latinoamericano de Geología. México.

Demant, A. 1978. "Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación". Revista. Vol 2 nro.2. Instituto de Geología. UNAM. México.

Demant, A. 1982 (*). Tesis Doctoral.

Derruau, M. 1966. Geomorfología. Ariel. Barcelona.

Derruau, M. 1977. Las formas del relieve terrestre. Toray-Masson. Barcelona.

Edwards, J. 1956. "Estudio sobre algunos de los Conglomerados Rojos del terciario inferior del centro de México." Memoria del XX Congreso Geológico Internacional. México.

Enciso de la Vega, S. 1976. Bibliografía Mexicana de Tesis en Geología. Instituto de Geología, Serie Divulgación nro 4. UNAM/ México.

Enjalbert, H. 1968. Algunas consideraciones sobre regionalización económica en México. Com.Nac. de los Salarios Mínimos. México.

(*). Se consultó una copia fotostática, en la que no aparecía la ficha bibliográfica. Trata acerca de la geología del Sistema Volcánico Transversal. La copia puede consultarse en la biblioteca del Instituto de Geografía. UNAM.

Eternod, A. 1981. "El análisis de la disección del relieve por métodos morfométricos". Memoria del VIII Congreso Nacional de Geografía. Toluca.

Fairbridge, R. 1968 (ed.) Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold. Nueva York.

Flawn, P. 1961. "Rocas metamórficas en el armazón tectónico de la parte septentrional de México". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. 13, nros 3 y 4. México.

Fuentes, L. y Coll, A. 1981. "Los distritos de riego en México". Boletín 10. Instituto de Geografía. UNAM. México.

García M., B. 1976. "Consideraciones Corográficas". Historia General de México. Tomo I. El Colegio de México. México.

Gasca D., A. y Reyes C., M. 1977. La cuenca lacustre plio-pleistocénica de Tula-Zumpango. INAH. México.

Geological Society of America. 1970. Bibliography and Index of Geology. Colorado.

Gorshkov, G. y Yakushova, A. 1977. Geología General. Mir. Moscú.

Guzmán, E. y De Zserna, Z. 1963. "Tectonic History of Mexico". The Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists. Memoria 2. Oklahoma.

Humboldt, A. 1978. Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España. Porrúa. México.

Lahse, F. 1962. Geología Práctica. Omega. Barcelona.

López R., E. 1979. Geología de México. Tomos II y III. México.

Lugo H., J. y Martínez L., V. 1981. "La disección del relieve en el sur de la cuenca de México y porciones adyacentes". Boletín nro.10. Instituto de Geografía. UNAM. México.

Lugo H., J y Pobles P., J. 1981. "Los procesos morfogenéticos y el relieve de la zona de Texcoco". Memoria del VIII Congreso Nacional de Geografía. Toluca.

Lugo H., J. 1981. "La disección del relieve en la porción centro-oriental del Sistema Volcánico Transversal". Boletín nro.11. Instituto de Geografía. UNAM. México.

Mooser, F. 1961. Informe Geológico de la cuenca del Valle de México. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. SRH. México.

Ollier, C. (*): Tectonics and Landforms. Longman. Londres.

Palacio F., J.L. 1982. Análisis Geomorfológico de la región de Cuernavaca, Tenango-Ixtapan de la Sal, Edos. de Morelos y México. Tesis de maestría en Geografía. FMyL. UNAM. México.

Palacio F., J.L. 1983. "Metodología para los estudios geomorfológicos a escala 1:50,000". En prensa, para la Memoria del I Congreso Interno del Instituto de Geografía. UNAM. México.

Pomerol, Jh. y Fouet, R. 1963. Las rocas eruptivas. EULESA. Buenos Aires.

Raisz, E. 1959. Landforms of Mexico (mapa 1:3 millones). Cambridge. Mass.

Randall, J. 1982. "Contacto entre el terciario y el mesozoico en el Distrito de Guanajuato, Gto." En prensa para la Me-

(*) Se consultó una copia fotostática que carecía de fecha.

moria de la VI Convención Nacional. Sociedad Geológica Mexicana. México.

Segerstrom, K. 1961(a). "Geología del suroeste del estado de Hidalgo". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. 13, nros 3 y 4. Mar-abr. México.

Segerstrom, K. 1961(b). "Estratigrafía del área Bernal-Jalpan, estado de Querétaro." Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Junio. México.

Seiya, U. 1980. La nueva concepción de la Tierra. Blume. Barcelona.

Silva M., L. 1979. Contribution a la Connaissance de l'Axe Volcanique Transmexicain: Etude Géologique et pétrologie des laves du Michoacan Oriental. Tesis de Doctor-Ingeniero. Universidad d' Aix-Marseille. Francia.

Sociedad Geológica Mexicana. 1956. Libreto Guía de la Excursión 0-3. México-Salttillo. XX Congreso Geológico Internacional. México.

Sociedad Geológica Mexicana. Libreto Guía de la Excursión Geológica Zacatecas(Zac.)-Guanajuato (Gto.). III Convención Nacional. Guanajuato, mayo 1974.

Soto F., O. 1979. "El paisaje rural de la región occidental del estado de Querétaro". Boletín nro. 9. Instituto de Geografía. UNAM. México.

SPP.(DGG). 1980. Síntesis Geográfica de Guanajuato (y Anexo Cartográfico). México.

Vivó, J. (et al). 1972. "La depresión Chapala-Acambaro-México Oriental". Anuario de Geografía. Año XII. FFyL. UNAM. México.

Waltz, F. 1945. "Reseña Geológica de la Cuenca del Lerma".

Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.
Tomo 58, nros 51/2. Enc-abr. México.

Wilson, B. (et al) 1955. "Un banco calizo del cretácico en la parte oriental del estado de Querétaro-México". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 18.

Se consultaron, además, diversos artículos de las siguientes enciclopedias y diccionarios:

- El Diccionario Ferrúa. México. 1964.
- Enciclopedia de México. México. 1977.
- The New Encyclopaedia Britannica. EB Inc. 15th Ed. 1974.

CARTOGRAFIA

DEGETENAL. 1980. Carta topográfica Querétaro (F 14-10), 1: 250,000. México.

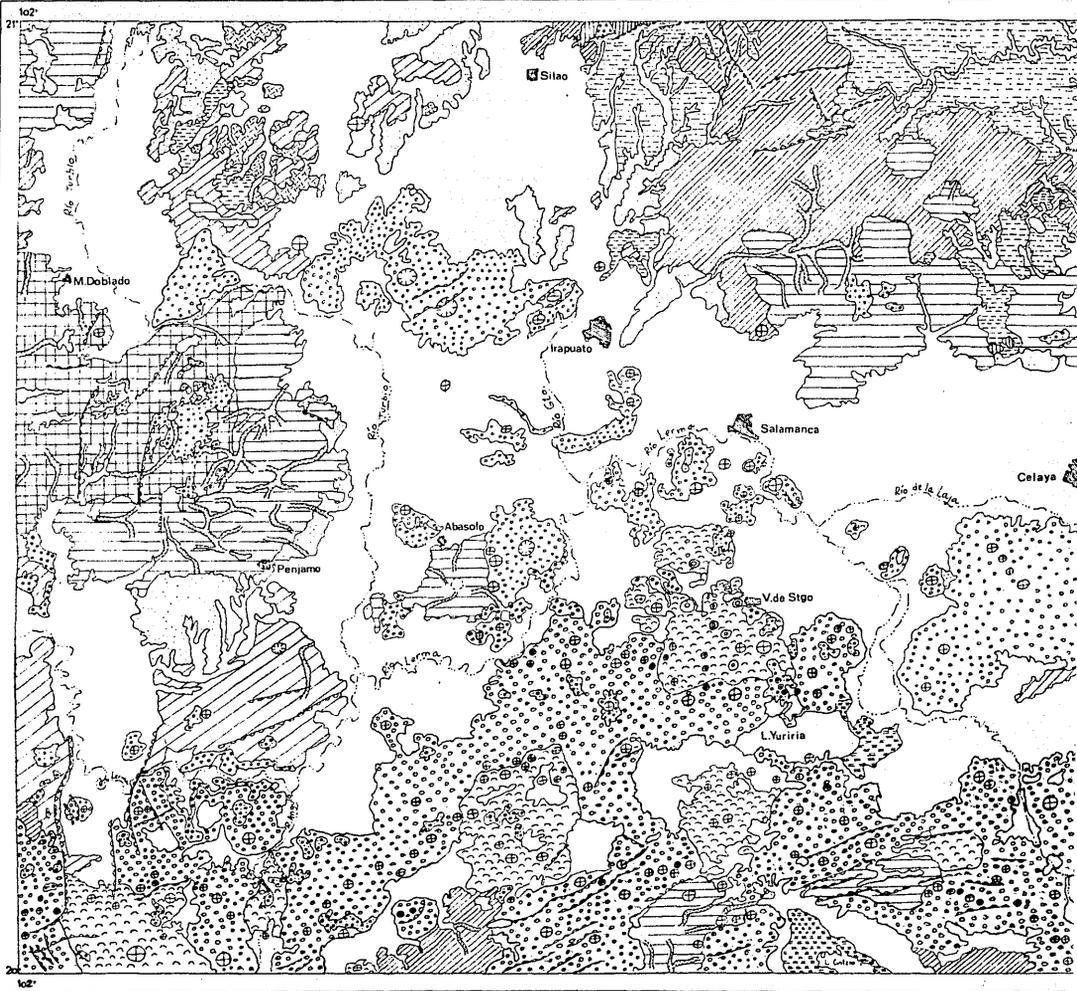
DEGETENAL. 1970. Cartas topográficas y geológicas, 1:50,000:
F 14- C51 a C56; F 14- C61 a C66; F 14-C71
a C 76; F 14- C81 a C86 (*)

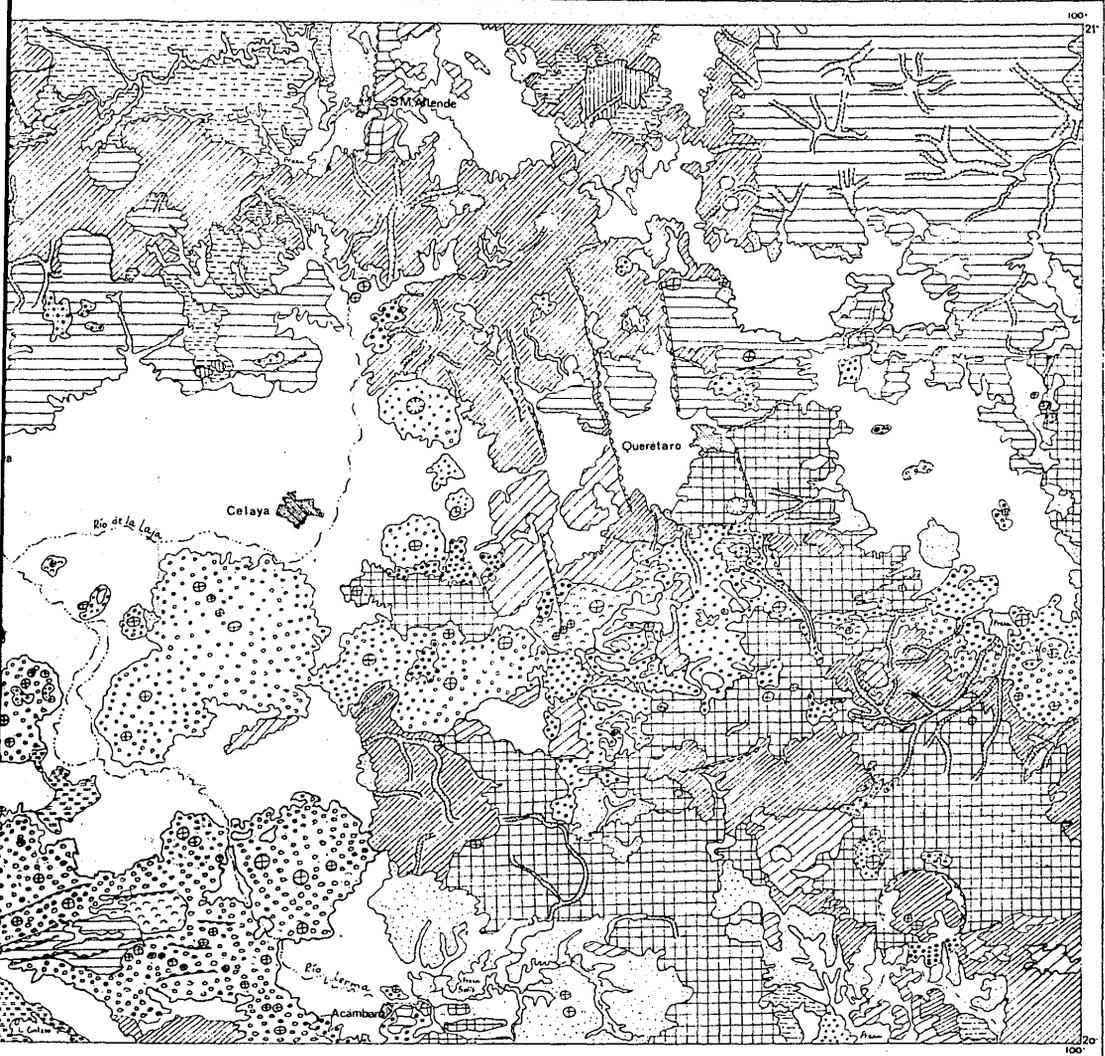
Instituto de Geología. UNAM. 1970. Cartas geológicas de los estados de Querétaro y Guanajuato. 1:500,000. México.

Instituto de Geografía. UNAM. Carta climática Querétaro. 1: 500,000.

una.
(*) Los nombres de cada ^{una} se incluyen en la figura 1, pág. 12. Son las 24 cartas a escala 1:50,000 que integran la carta Querétaro 1:250,000.

CARTA GEOMORFOLOGICA





LEYENDA DE LA CARTA GEOMORFOLOGICA

I. RELIEVE ENDOGENO (GRUPO)

1. Relieve volcánico acumulativo (Clase)



1.1 Coladas y mesas de lava (tipo)



1.2 Laderas volcánicas con débil disección



1.3 Superficies de material piroclástico con débil disección

II. RELIEVE ENDOGENO MODELADO

2. Relieve volcánico denudatorio



2.1 Superficies volcánicas (mesas, coladas y de material piroclástico) con disección fuerte.



2.2 Laderas volcánicas con disección fuerte



2.3 Mesas volcánicas con disección media



2.4 Formas complejas de relieve volcánico denudatorio (antiguo) y volcánico acumulativo (joven) no diferenciado

3. Relieve estructural



3.1 Laderas de montañas plegadas con disección fuerte



3.2 Laderas de montañas plegadas con disección media a débil



3.3 Laderas de elevaciones montañosas metamórficas con disección fuerte



3.4 Laderas de elevaciones montañosas intrusivas

III. RELIEVE EXOGENO

4. Relieve denudatorio



4.1 Valles erosivos profundos

5. Relieve acumulativo



5.1 Valles fluviales alterados por procesos volcánicos: superficies aluviales con relleno de material piroclástico



5.2 Planicies y terrazas fluviales y lacustres, no diferenciadas



5.3 Superficies de piedemonte esencialmente deluviales con di - sección débil



5.4 Planicies lacustres

6. Relieve acumulativo-erosivo



6.1 Superficies de piedemonte esencialmente deluviales con di - sección fuerte

Símbolos complementarios



Volcanes poligenéticos



Volcanes monogenéticos



Volcanes denudados



Calderas



Escarpes de falla



Caldera de Atlixco



Cuerpos lacustres y presas



Ríos



Centros urbanos