

CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA DE EL BAJIO Y PORCIONES ADYACENTES, 1:250 000

Por Gerardo Bocco¹

RESUMEN

Con base en el análisis de parámetros morfométricos, así como de cartografía base, topográfica y geológica, se presenta la carta geomorfológica de la región en estudio. Tras grandes grupos de formas del relieve resultan del mencionado análisis: planicies de nivel de base regionales, por lo general antiguas cuencas lacustres, donde dominan los procesos acumulativos; piedemontes volcánicos caracterizados por diferentes grados de erosión; y estructuras montañosas volcánicas, con diferentes grados de fractura, cuyas edades varían entre el oligoceno y el cuaternario. Asimismo, se detectan los principales lineamientos tectónicos regionales, con rumbos NNW/SSE y ESE/WWN, mismos que gobiernan la evolución de las características globales del relieve en la zona.

SUMMARY

The geomorphological map of the area, based upon morphometric analysis and the interpretation of topographic and geologic base maps, is presented. Three large groups of landforms result from the above mentioned interpretation: regional plains, generally former lacustrine basins, where accumulative processes dominate; volcanic footslopes, affected by different degrees of erosion; and volcanic mountains, aged between Oligocenic and Quaternary. Also, the main regional tectonic lineaments are pointed out. These structures, with strikes to the NNW/SSE and ESE/WWN, control the general evolution of the relief in the area.

INTRODUCCION

La cartografía geomorfológica a escala regional (1:250 000) no ofrece el detalle de las formas del relieve, sino a éstas en conjunto, con sus características morfológicas, especialmente estructurales, en general. Se trata de un tipo de cartografía destinada a

¹ Técnico académico. Instituto de Geografía, UNAM.

cubrir un gran territorio y a suministrar una información sintética, básica para otros estudios del medio natural. Al mismo tiempo, permite reconocer zonas con un determinado interés, o problemas específicos, que conviene sean estudiados a escalas mayores, o incluso en detalle.

La investigación bibliográfica que se ha realizado indica 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 (Demant, 1981; López Ramos, 1970; Silva, 1979) se abordan investigaciones geológicas sobre algunas porciones de la región en estudio.

Merece citarse, además, la Síntesis Geográfica de Guanajuato (INEGI, 1980), que ofrece un estudio global de los diferentes aspectos de la geografía física de la entidad y una cartografía muy completa a escala 1:500 000.

Debido a la carencia de bibliografía geológica adecuada, debió acudirse a trabajos de zonas adyacentes (Segerstrom, 1961, entre otros) e intentar correlaciones basadas en los recorridos de campo y cartografía base disponible.

El elemento fundamental de la metodología utilizada (*) 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.

2. MARCO GEOGRAFICO-GEOLOGICO GENERAL

Desde el punto de vista cartográfico, la región en estudio está comprendida en la carta topográfica Querétaro 1:250 000, editada

(*) Los lineamientos metodológicos pueden consultarse, entre otros, en sendos trabajos de Palacio y Bocco, ambos de 1983. Ver referencias.

por INEGI. 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 (fig. 1).

La región tiene una superficie de poco menos de 25 mil km². 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 (fig. 2 y 3).

Desde el punto de vista geológico, la característica esencial de la zona es que ocupa una porción de la transición entre dos magaestructuras: 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 en el paisaje, respectivamente, en montañas volcánicas de composición mayoritariamente ácida (ver enumeración de sierras, más adelante), y plegamientos de calizas, caliza-lutitas y lutitas. El Sistema Volcánico Transversal, la estructura geológica más moderna, por su parte, se sobreimpuso a las tres magaestructuras señaladas.

Sintéticamente, el desarrollo geológico de la zona se produjo en cuatro etapas principales:

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

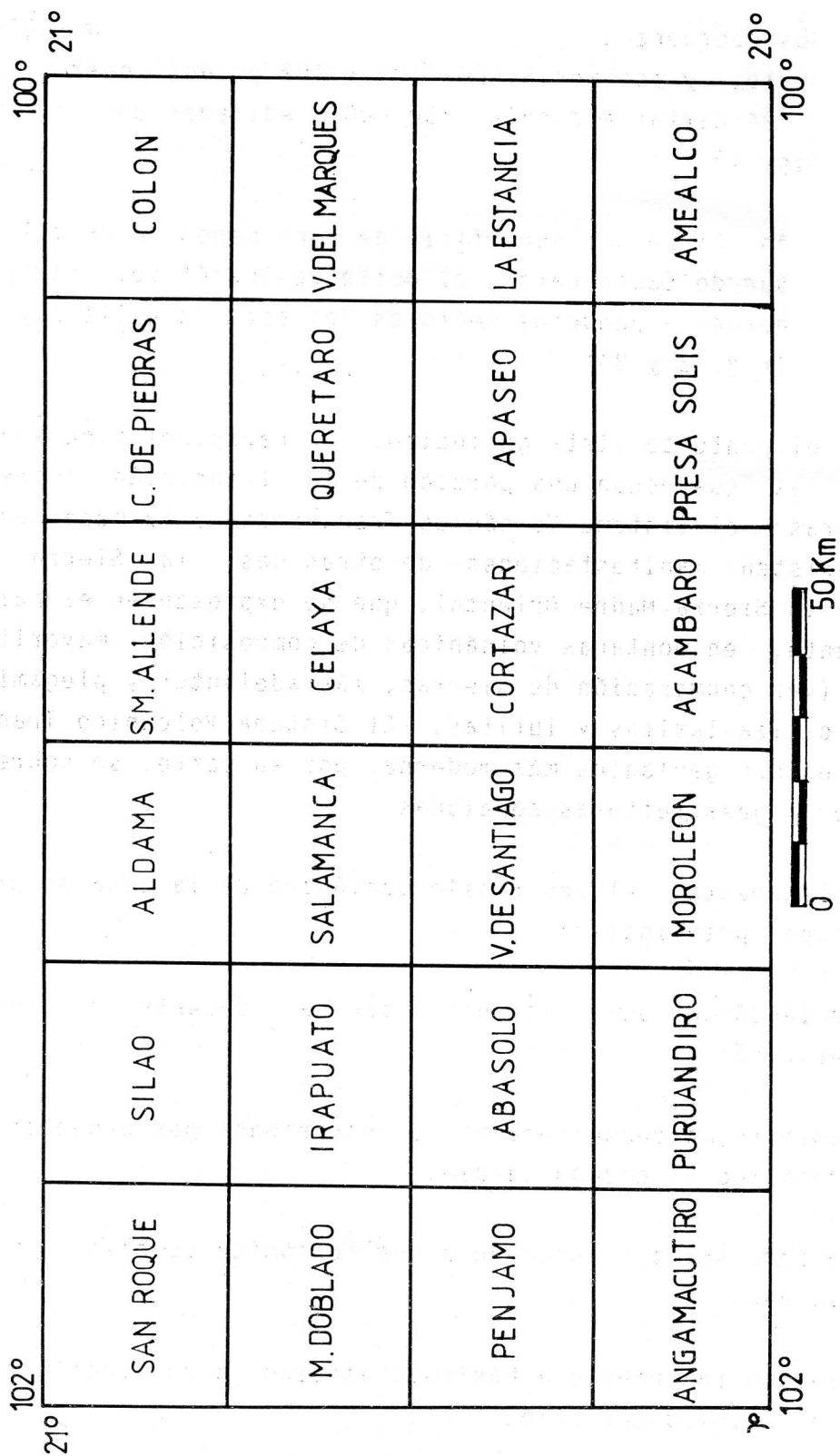


Fig.1 Relación de cartas 1:50,000 que integran la zona en estudio.

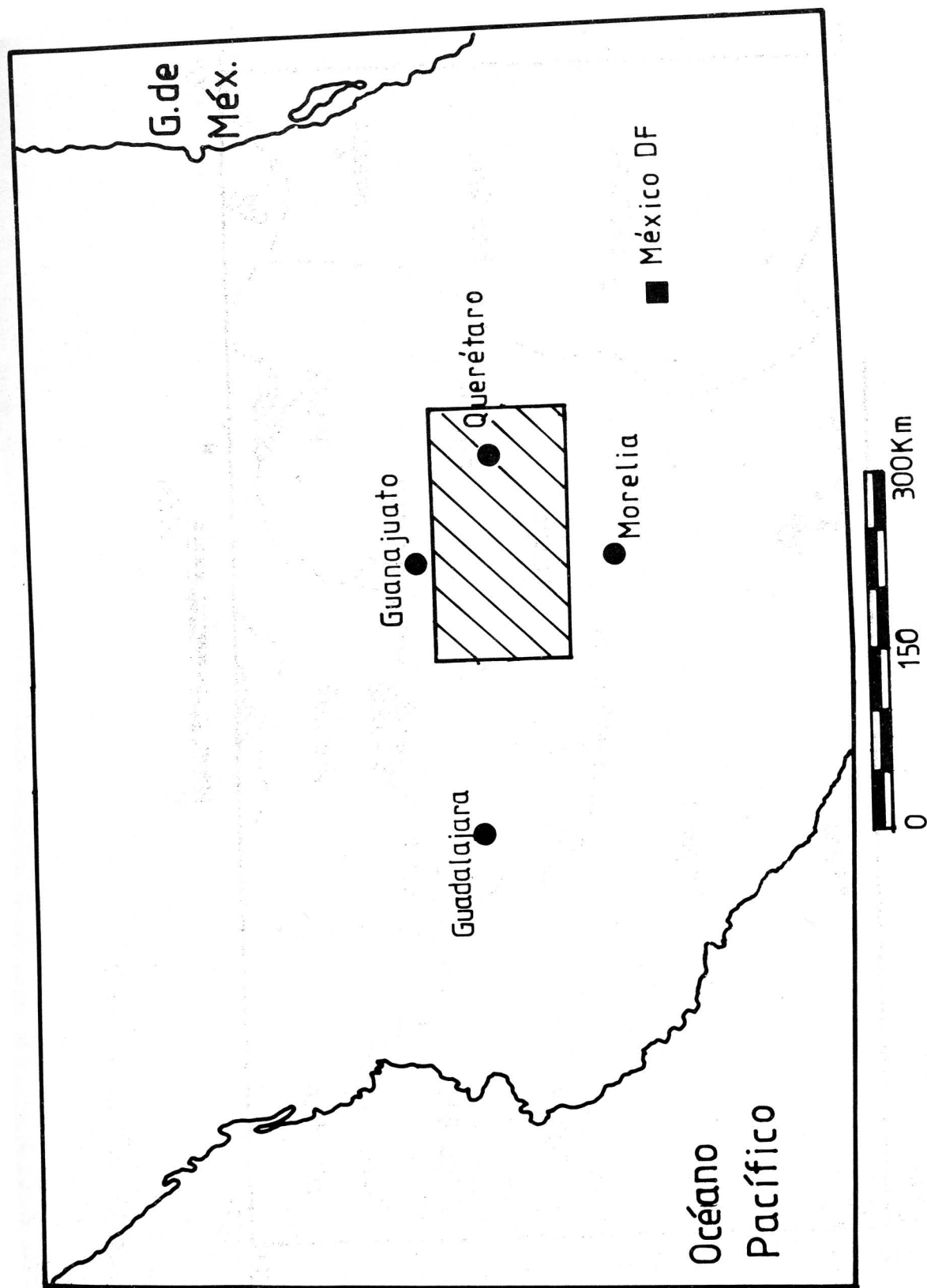


Fig.2 Localización de la zona en estudio en el contexto nacional

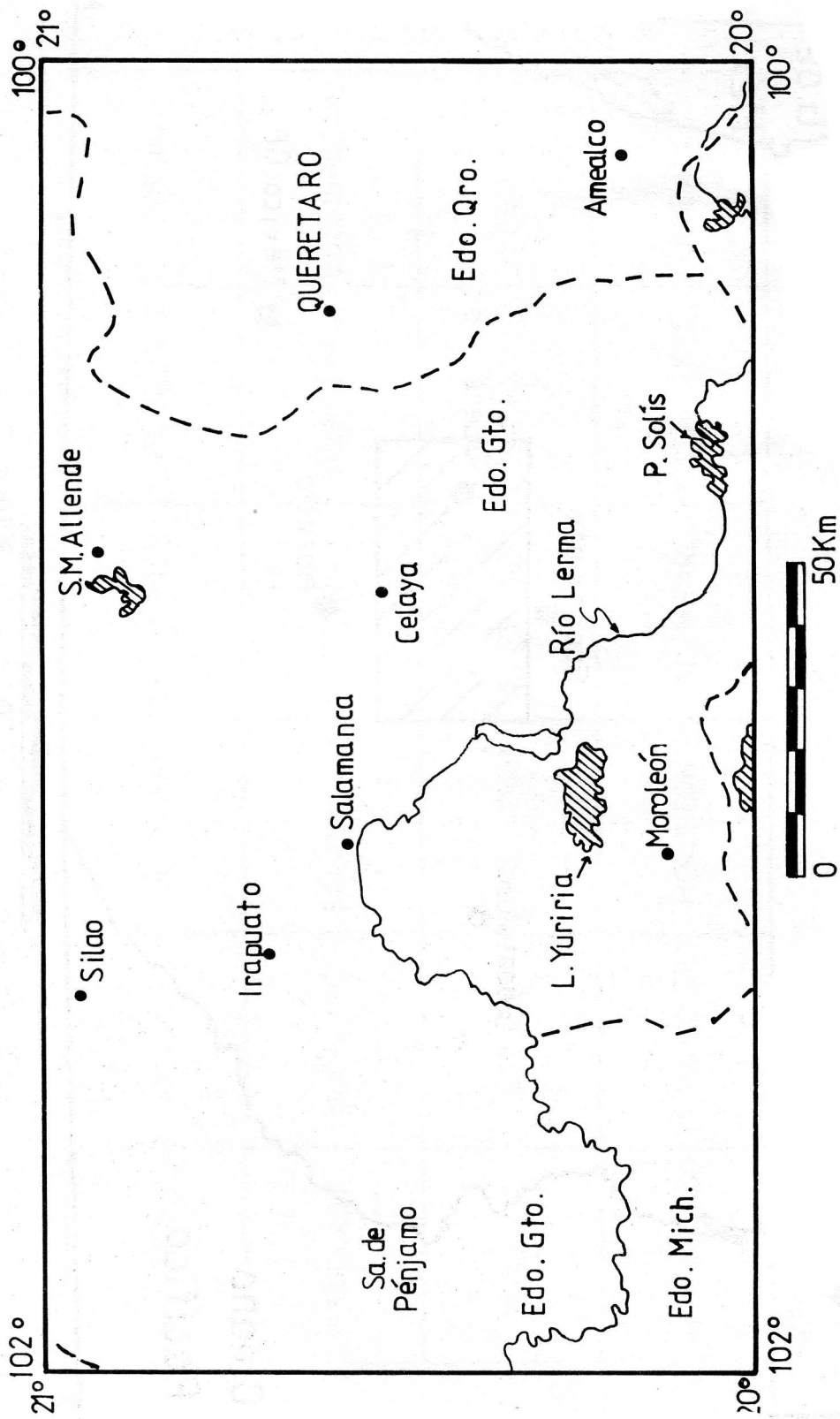


Fig.3 La zona en estudio

Desde el punto de vista fisiográfico, la región se localiza en la parte meridional de la Altiplanicie Mexicana (o mesa central), que en este caso se presenta desmembrada por las formaciones montañosas vinculadas con las dos sierras Madre, al norte de la hoja, y con el Sistema Volcánico Transversal, al sur.

El paisaje natural, intensamente afectado por la influencia antrópica, expresa el predominio de la gran planicie de nivel de base, El Bajío, de entre 1 700 y 2 000 m. de altitud, desmembrado por las mencionadas estructuras montañosas. La mayoría son 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, con altitudes que rebasan los 3 000 m. (Co. Siete Cruces, 3 050; Co. Los Rosillos, 3 180 m.).

En el extremo noreste destacan las estribaciones volcánicas occidentales de la Sierra Gorda de Querétaro. Se trata de una serie de estructuras, 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", 1:500 000, editada por el Instituto de Geografía. En el oeste y sur se encuentran, 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 a 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 caracterizados por una actividad económica de mercado muy dinámica, tanto en agricultura y ganadería como en la industria de transformación.

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

3. CARTOGRAFIA MORFOMETRICA Y GEOMORFOLOGICA

A continuación se describen y analizan las cartas morfométricas y geomorfológicas (que se adjuntan fuera de texto, con su escala reducida para efectos de publicación).

3.1 MORFOMETRIA

3.1.1 Carta de Densidad de la Disección.

a). Anomalías negativas (valores de 0 a 0.5 km/km²). 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/km²). Ampliamente distribuidos en toda la carta. Corresponden a: 1) Porciones inferiores de las elevaciones montañosas en general, con pendientes 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, 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/km²). 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 la intensa fractura la responsable de esta anomalía positiva.

3.1.3 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. Los encontramos en: 1) Las formas volcánicas plio-cuaternarias, en mesas y laderas lávicas 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). Espacialmente 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 Guanajuato, al centro-norte de la hoja, y Gorda, de Querétaro, en el noreste; asimismo, en las sierras de Pénjamo, 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 aquellas 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.

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 tiene lugar 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 formas volcánicas del pliocuaternario.

3.2 CARTA GEOMORFOLOGICA

A esta escala de trabajo, la delimitación de las unidades geomorfológicas adquiere las características de una zonificación en la que se considera la interacción de los factores estructura, procesos y edades.

Se utiliza una clasificación genética que es, además, taxonómica: las formas se agrupan, sucesivamente, en grupos, clases y tipos.

A continuación se describen las formas zonificadas, de acuerdo con su encuadramiento en dicha clasificación.

I. Relieve Endógeno.

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 de Demant (1978, 1981), 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 traduce 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 zonas adyacentes. Allí es donde se registra el más alto grado de concentración de estructuras volcánicas monogénicas cuyas erupciones han modificado esencialmente las condiciones

hidrológicas preexistentes. Su gran concentración sobre alineaciones NE/SW y NW-SW indica una zona de debilidad de la corteza que permitió el ascenso de magmas de manto. Según apuntan Silva (1979) 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 (maares), indicados como "hoyas" por la toponimia. De las siete hoyas presentes la más importante, por sus dimensiones, es la de "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.

Estos maares 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 efusivos 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. Cuitzeo representa una evidencia actual en 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 hidrografía

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 mayor erosión, se ve atenuada por la dureza y resistencia del mismo, así como por las bajas pendientes. 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

Es el factor tiempo el esencial agente en este grupo. El mismo abarca dos clases que a continuación se detallan.

2. Relieve volcánico-denudatorio. Esta clase corresponde a formas volcánicas muy afectadas por la erosión 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, 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 poligenéticos de grandes dimensiones, 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 características 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 volcán 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 volcánicas 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 (ausencia de superficies cumbresales planas). 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 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, en sus bordes con proceso de erosión regresiva, menos intensos que los mencionados anteriormente. Algunas están asociadas a fallas regionales, con rumbos NNW-SSE 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 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 caracteriza por estar relacionada 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) 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 fractura 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. Todas se encuentran cubiertas o flanqueadas, o ambas cosas, por los vulcanismos del terciario y cuaterna-

rio, y tienen 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 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 de 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 fractura 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 aún 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 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 vulcanismos 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 postorogénicos. El único que alcanza expresión en la cartografía geomorfológica es el que rodea al 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

Abarca tres clases que a continuación se detallan.

4. Relieve denudatorio. En nuestra zona se verifica un solo tipo correspondiente a esta clase.

4.1 Valles erosivos profundos. Corresponden a zonas de altos valores de profundidad de la disección y a densidades de medias a altas. Los factores que los controlan son: el grado de fractura de las rocas; la litología y el tiempo de exposición a los agentes exógenos.

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. 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 alterados por materiales piroclásticos, generalmente retrabajados por el escurrimiento o depositados, asimismo, en medio lacustre. En la cartografía geológica de INEGI esta categoría aparece como "suelo residual"; indica una alteración, además, de los procesos de pedogénesis (interrupción, sepultura 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 para 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 los depósitos de los antiguos lagos del cuaternario originados en una época de balance hídrico

favorable, que posteriormente fueron afectados por emanaciones volcánicas, cambios climáticos, y lentamente fueron desecándose y drenando hacia el oeste, a través del antiguo Lerma.

Estas planicies se originaron por la tectónica pliocuaternaria, también responsable del vulcanismo del Sistema Volcánico Transversal. Son grábenes 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 posteriormente fueron afectadas por procesos volcánicos más recientes que las desmembraron, alterando completamente la hidrografía, como ya se indicó anteriormente.

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 (aluviales 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 INEGI como arenisca-conglomerado, conglomerado y arenisca, aunque a veces se caracterizan por un alto contenido de material piroclástico, intercalado con conglomerados, ambos con diferentes grados de retrobajo fluvial o lacustre, o ambos.

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 al también 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 en la categoría 5.2 se han agrupado las planicies fluviales y lacustres no diferenciadas, estas últimas 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 INEGI 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 protectora contra 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 y materiales adyacentes.

Debido a su mayor antigüedad relativa (paleógeno), 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 de 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-cuaternaria, 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 oligomioceno (Demant, Silva, op.cit.), alineada sobre el sistema de fallas San Miguel Allende-Querétaro-Taxco, 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.

4. EXPOSICION FINAL

1. A partir del establecimiento de los procesos dominantes formadores y modeladores podemos aportar elementos para la reconstrucción de la evolución geomorfológica y dinámica actual en la

zona en estudio. Así, la porción septentrional de la carta se caracteriza por el dominio 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 el dominio de los procesos endógenos formadores, básicamente el vulcanismo plio-cuaternario.

2. La disposición del Lerma y tributarios 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 provisional, se puede intentar reconstruir 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 Pénjamo. 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, Pénjamo, Angamacutiro, 1:50 000).

Algo similar ocurre con el río La Laja, al abandonar la presa Allende, con rumbo N-S. Lo mantiene hasta la ciudad de Celaya, aproximadamente, donde encuentra formaciones volcánicas cuaternarias, que lo han obligado a reconocer E-W, flanqueándolas, hasta 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, aparentemente sobreimpuesto a una lava cuaternaria.

En el caso del Lerma es más difícil intentar esta reconstrucción. Sin embargo, puede apreciarse cómo, 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. Ha ejercido una importante función de modelado sobre el relieve, y su curso y actividad 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).

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 a esta escala debido a las intensas acumulaciones piroclásticas sucesivas que contribuyen a enmascarar su 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 correspondieron a cuencas lacustres anteriores hoy desecadas.

3. Como ya se indicó anteriormente, este tipo de trabajos permite detectar áreas o sectores problemáticos. En este caso, uno de los problemas más importantes en la dinámica natural y social es

la alternancia de etapas de sequías e inundaciones en la planicie. Esto tiene lugar en una región donde buena parte del avenamiento natural está controlada por canales de riego. La carta geomorfológica regional proporciona información básica suficiente como para abordar una nueva investigación que considere los problemas indicados, mediante un cambio imprescindible de escala y metodología.

4. Finalmente, vale la pena insistir en la importancia de las cuencas lacustres cuaternarias. Sus sedimentos y materia orgánica han generado los excelentes suelos agrícolas que caracterizan El Bajío. Su estudio en detalle, su ubicación y correlación dentro del marco constituido por el resto de las cuencas lacustres del centro de México es de vital importancia en el fortalecimiento de los estudios del cuaternario mexicano desde un punto de vista paleoambiental.

Se agradece la colaboración del Dr. José Lugo y la revisión crítica de las Dras. Laura Maderrey, Silvana Levi y Sofía Puente.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez Jr., M. 1949. "Tectonics of Mexico". The Bulletin of The American Association of Petroleum Geologists. Vol. 33, No. 8.

Alvarez Jr., M. 1961. "El mecanismo del ciclo tectónico mexicano". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. 13, Nos. 7 y 8.

Bocco, G. 1983. Estudio geomorfológico de la región comprendida en la carta Querétaro 1:250 000. Tesis de maestría. FFyL. UNAM. México.

Bocco, G. y J. L. Palacio P. 1983. "Utilidad de la cartografía geomorfológica en la evaluación y planeación del territorio". Anuario de Geografía (En prensa). FFyL. UNAM. México.

Bryan, K. 1943. "Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México en relación con los cambios climáticos". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo 13. México.

Carbonell, M. 1970. "Bosquejo Geológico de la Sierra de Querétaro". Minería Prehispánica en la Sierra de Querétaro. CNRR. México.

Demant, A. 1978. "Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación". Revista. Vol. 2, No. 2. I. De Geología UNAM. México.

Demant, A. 1981. L'Axe Néo-Volcanique Transmexicain. Etude Volcanologique et Pétrographique. Signification Géodynamique. Tesis doctoral.

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

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

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

Lugo H., J. 1981. "La disección del relieve en la porción centro-oriental del Sistema Volcánico Transversal". Boletín No. 11. I de Geografía. UNAM. México.

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

Segerstrom, K. 1961. "Geología del suroeste del estado de Hidalgo". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. 13, Nos. 3 y 4. México.

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

Secretaría de Programación y Presupuesto (INEGI). 1980. Síntesis Geográfica de Guanajuato (y Anexo Cartográfico). México.

Waitz, P. 1943. "Reseña Geológica de la cuenca del Lerma". Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Tomo 58, Nos. 51-52. México.

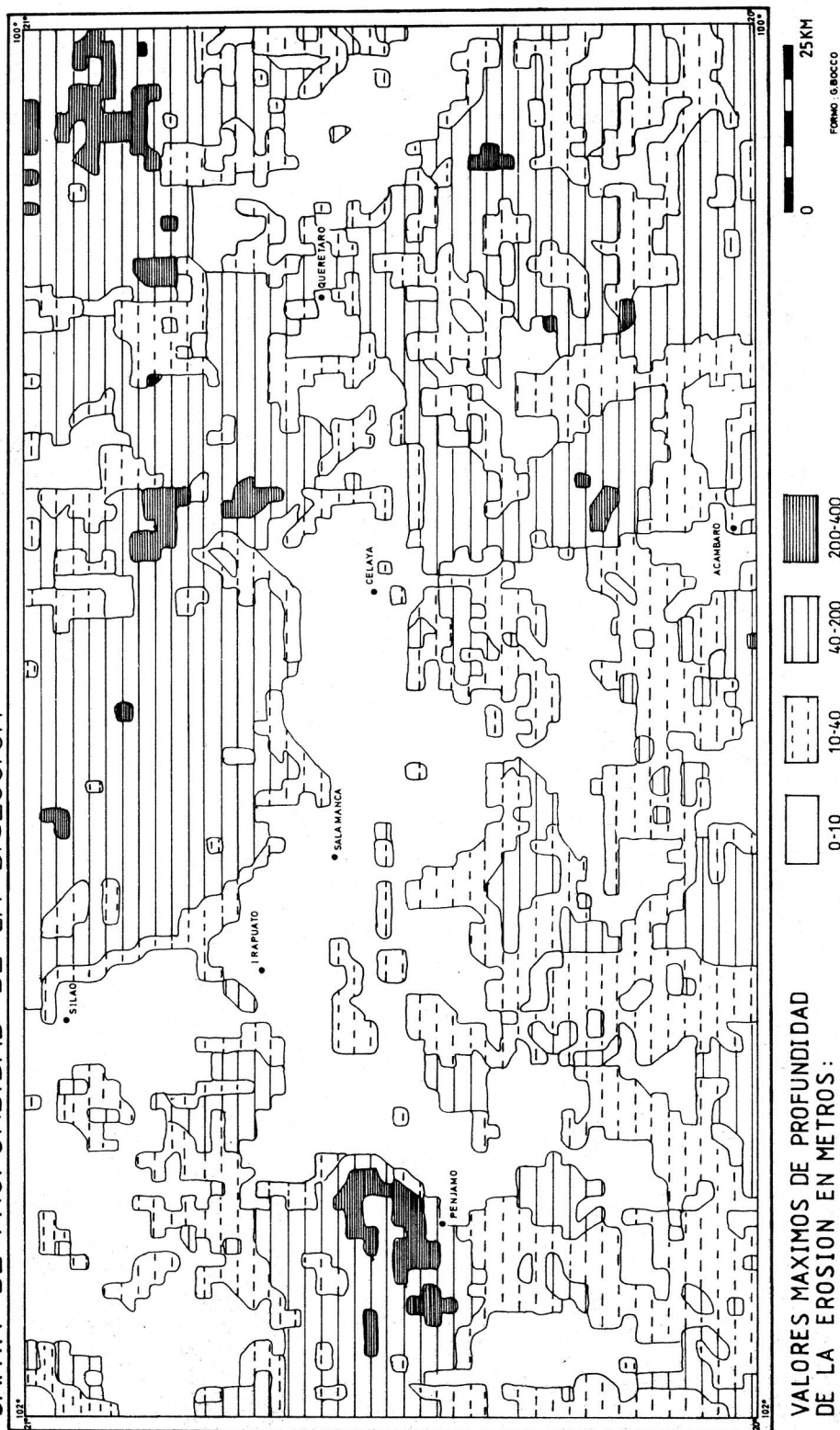
CARTOGRAFIA

Instituto de Geología (UNAM). 1970. Cartas Geológicas de los estados de Querétaro y Guanajuato. 1:500 000. México.

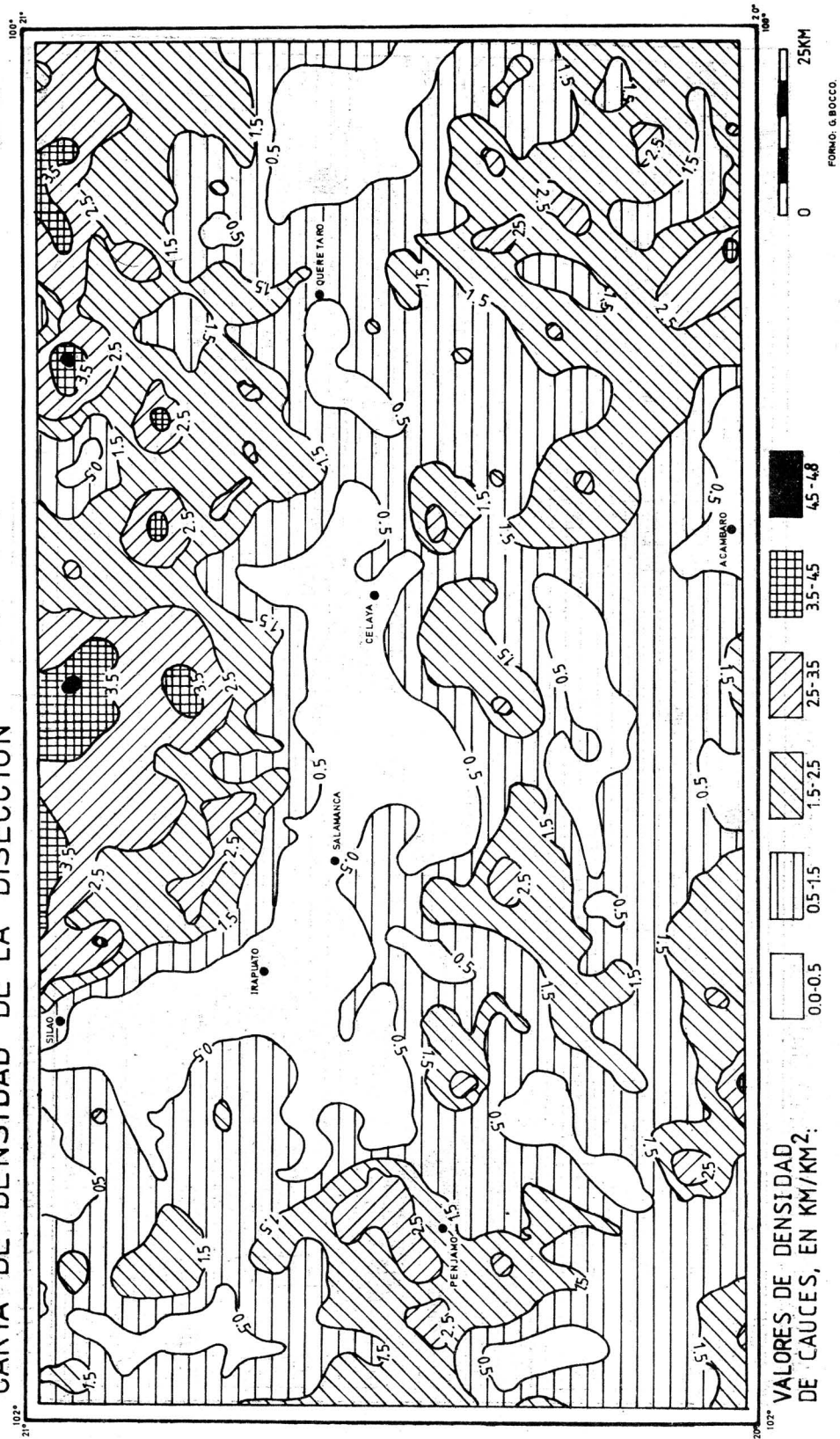
Instituto de Geografía (UNAM). Carta Climática Querétaro. 1:500 000. México.

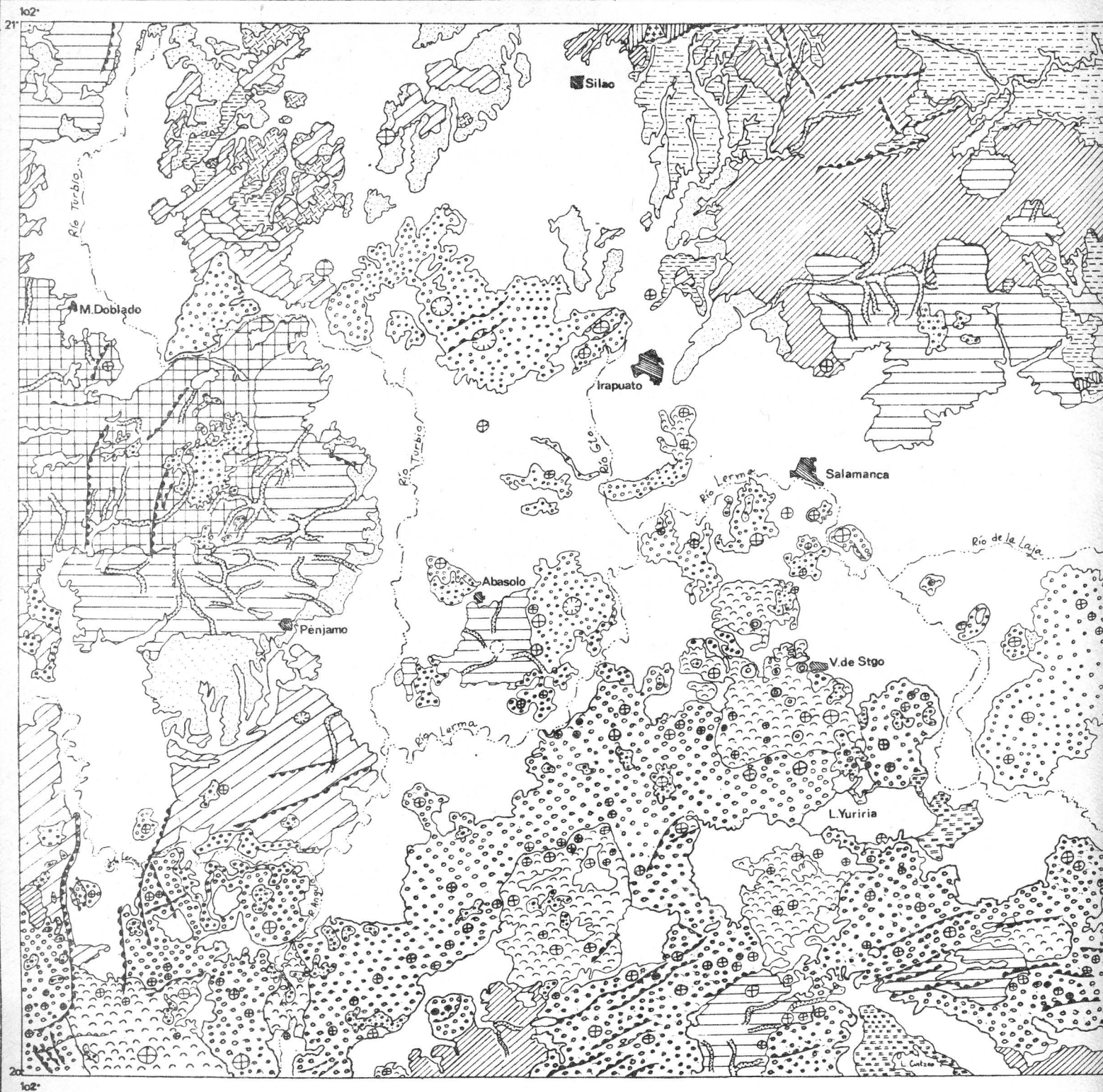
Secretaría de Programación y Presupuesto (INEGI). 1970. Cartas topográficas y geológicas, 1:50 000: F 140 C 51 a C 56; C 61 A C 66; C 71 A C 76; C 81 A C 86. Carta Topográfica Querétaro. 1:250 000.

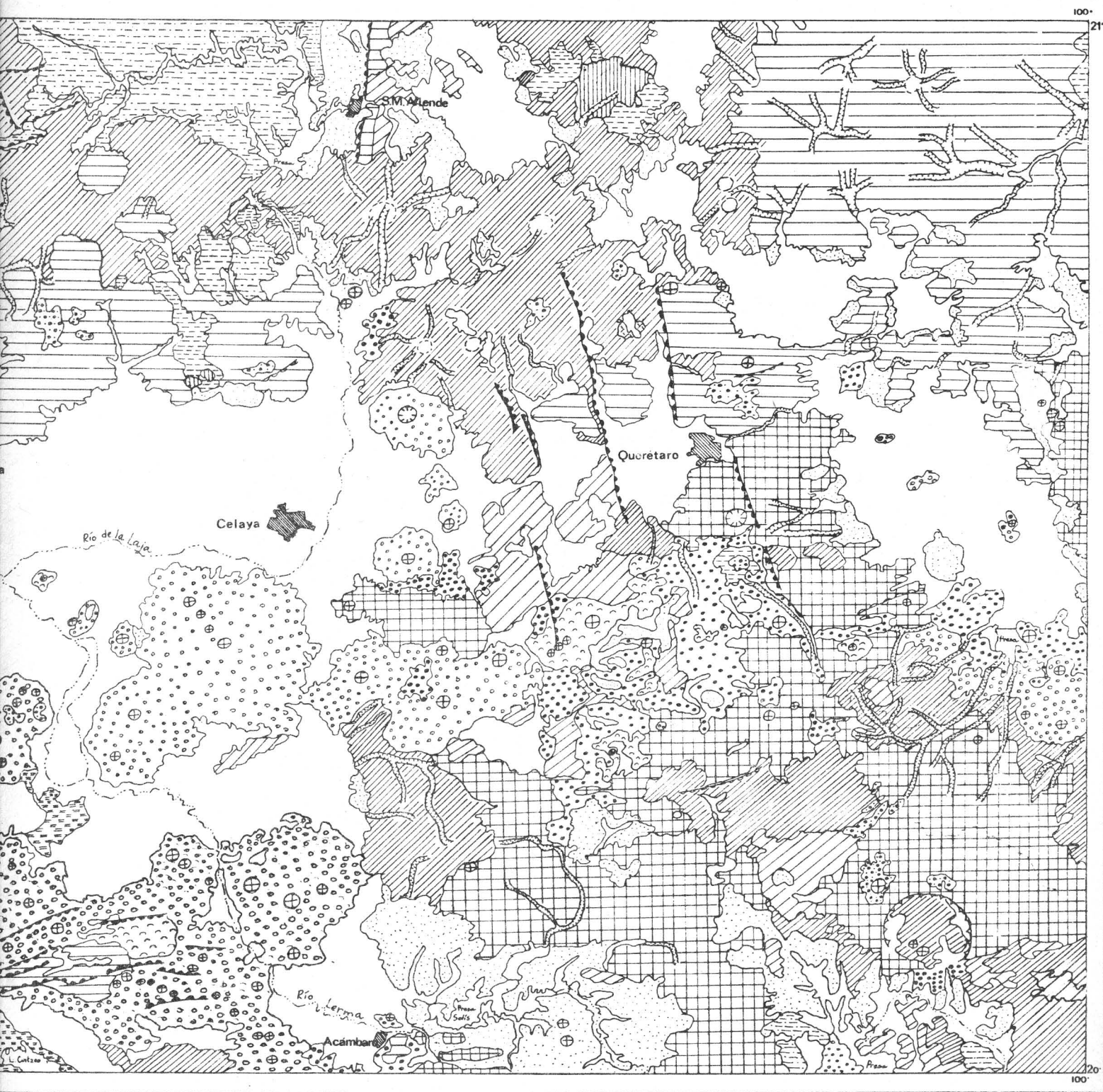
CARTA DE PROFUNDIDAD DE LA DISECCION

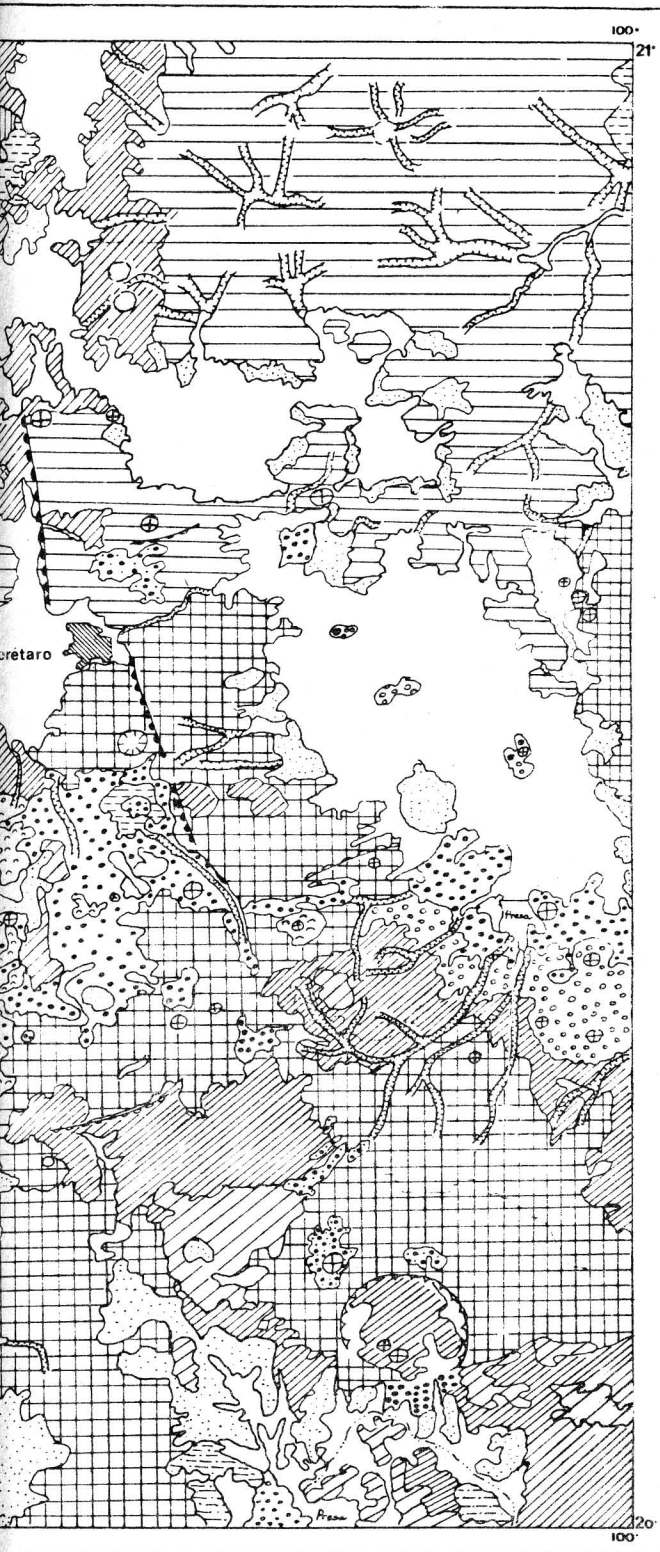


CARTA DE DENSIDAD DE LA DISECCION









LEYENDA

RELIEVE ENDOGENO

- Coladas y mesas de lava
- Laderas volcánicas con disección débil
- Sup. de mat. piroclástico con " "

RELIEVE ENDOGENO MODELADO

- Sup. volcánicas con disección fuerte
- Laderas volcánicas con disec. " "
- Mesas volcánicas con disección media
- Formas complejas de relieve volcánico
- Laderas de montañas plegadas c/d. fuerte
- Lad. mont. pleg. c/disección de media a débil
- Laderas metamórficas c/disección fuerte
- Laderas de montañas intrusivas

RELIEVE EXOGENO

- Valles erosivos profundos
- Valles fluviales alterados por piroclastos
- Planicies y terrazas fluviales y lacustres
- Superficies de piedemonte c/disección débil
- Planicies lacustres
- Sup. de piedemonte con disección fuerte

SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS

- Volcanes poligenéticos
- " monogénéticos
- " denudados
- Calderas
- Escarpe de falla
- Caldera de Amealco
- Cuerpos de agua
- Centros urbanos