

LA DISECCIÓN DEL RELIEVE EN LA PORCIÓN CENTRO ORIENTAL DEL SISTEMA VOLCÁNICO TRANSVERSAL

Por *José Lugo Hubp.**

Colaboradores *Juan Robles Padilla,***

*Alicia Eternod Aguilar,***

*Víctor Ortuño Ramírez,***

RESUMEN

Se presentan los resultados del análisis de la disección del relieve, tanto en longitud de talwegs por kilómetro cuadrado, como en profundidad de corte por erosión. Se reconoce la clara relación de las zonas de yacimientos hidrotermales con alto grado de densidad de disección equivalente a una mayor intensidad de fractura de las rocas.

SUMMARY

This paper show the results of the analysis of relief dissection, both the length of talwegs per square kilometer as well as depth cut by erosion. A clear relationship between zones of hidrothermal deposits and those with a high degree of dissection density is observed being the last equivalent to a greater intensity of fractures on rocks.

El territorio comprendido en este trabajo representa una superficie rectangular delimitada en sus extremos por los paralelos $18^{\circ}30'$ y $20^{\circ}15'$, y los meridianos $98^{\circ}20'$ y $100^{\circ}20'$ (Fig. 1). Se sitúa en su mayor parte en la estructura del Sistema Volcánico Transversal. Un área menor, una franja del extremo sur, de amplitud de 30 a 50 km, pertenece a la Sierra Madre del Sur.

En la zona cartografiada queda representada,

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

** Becarios del Instituto de Geografía de la UNAM.

al noreste, la cuenca endorreica de México, y al occidente de la misma se extienden cuencas acumulativas y cadenas montañosas volcánicas, rasgos dominantes del relieve de esta región. En los extremos del rectángulo se localizan, entre otras poblaciones, Pachuca, Hgo. al norte; Taxco, Gro. al sur; Angangueo, Mich. al oeste, y San Martín Texmelucan, Pue. al este.

Consiste este trabajo en la exposición de resultados del análisis cuantitativo de la disección del relieve, así como en su interpretación con relación a diversos factores. La información se presenta en dos cartas morfométricas: una de la densidad de la disección (Fig. 3) y otra de la profundidad de la misma (Fig. 4), y una carta

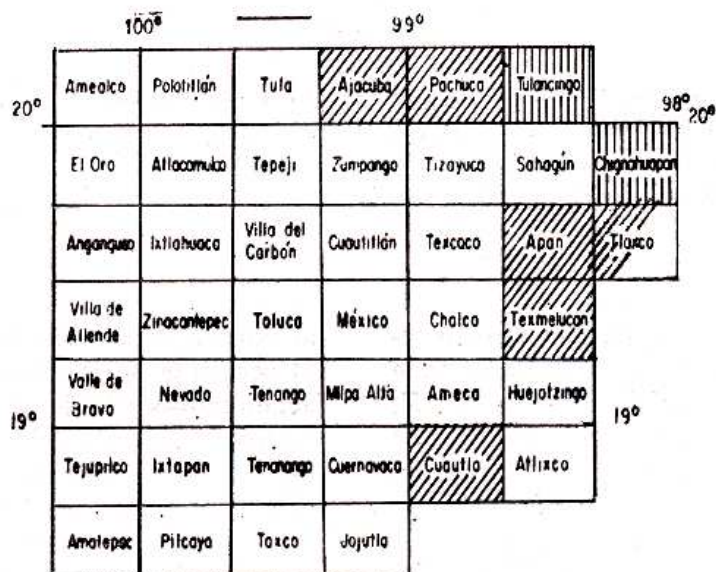
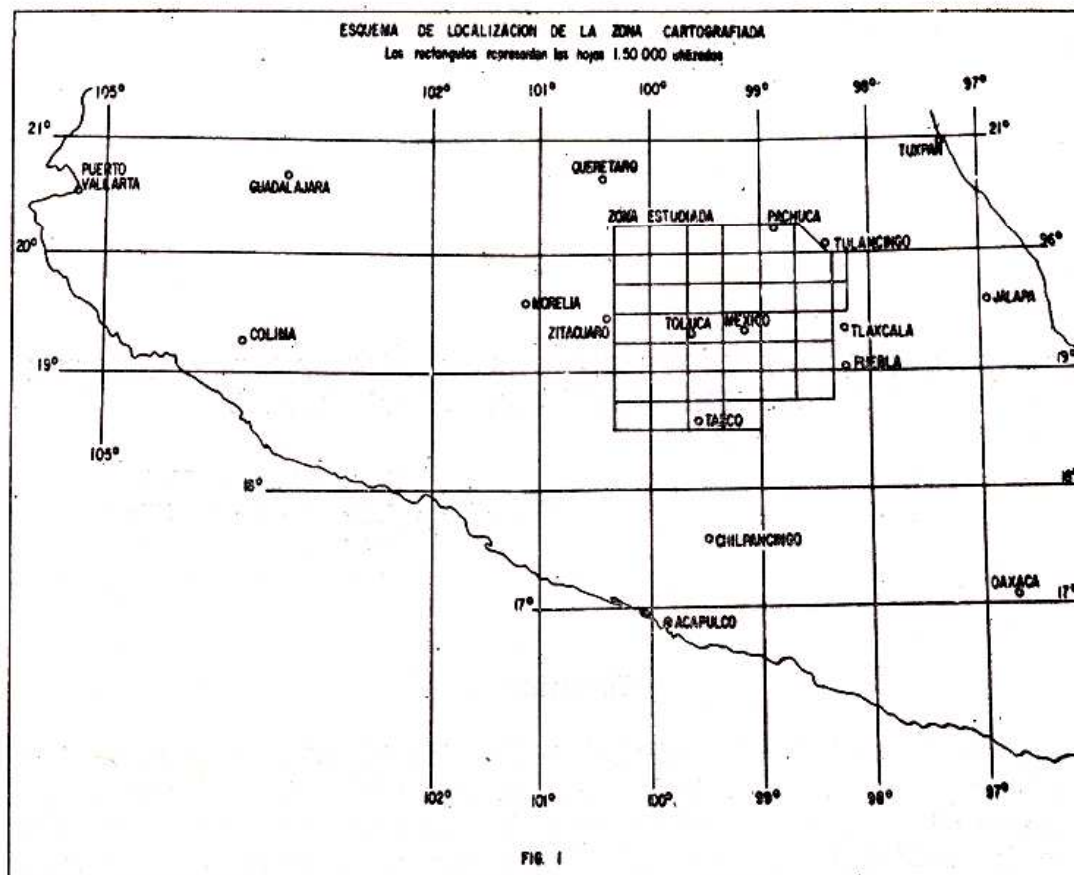


FIG. 2. RELACION DE CARTAS TOPOGRAFICAS UTILIZADAS EN LOS ANALISIS MORFOMETRICOS

	IMPRESAS, 1:50 000, DETENAL
	EDICION PROVISIONAL, DETENAL
	IMPRESAS, 1:100 000, SDN

CARTA DE LA DENSIDAD DE LA DISECCION.

PORCION CENTROORIENTAL DEL SISTEMA
VOLCANICO TRANSVERSAL

0 20 40 60 80 100

1:100,000

Fig.3

— S— SUMIDA MAESTRA

— AUTOLANES

— MIPYROS

— DIVISION DE LA CORDERA DE MEXICO

VALORES DE DENSIDAD DE DISECCION EN Kg./M²

0.01-0.05

0.06-0.10

0.11-0.15

0.16-0.20

0.21-0.25

0.26-0.30

0.31-0.35

0.36-0.40

0.41-0.45

0.46-0.50

0.51-0.55

0.56-0.60

0.61-0.65

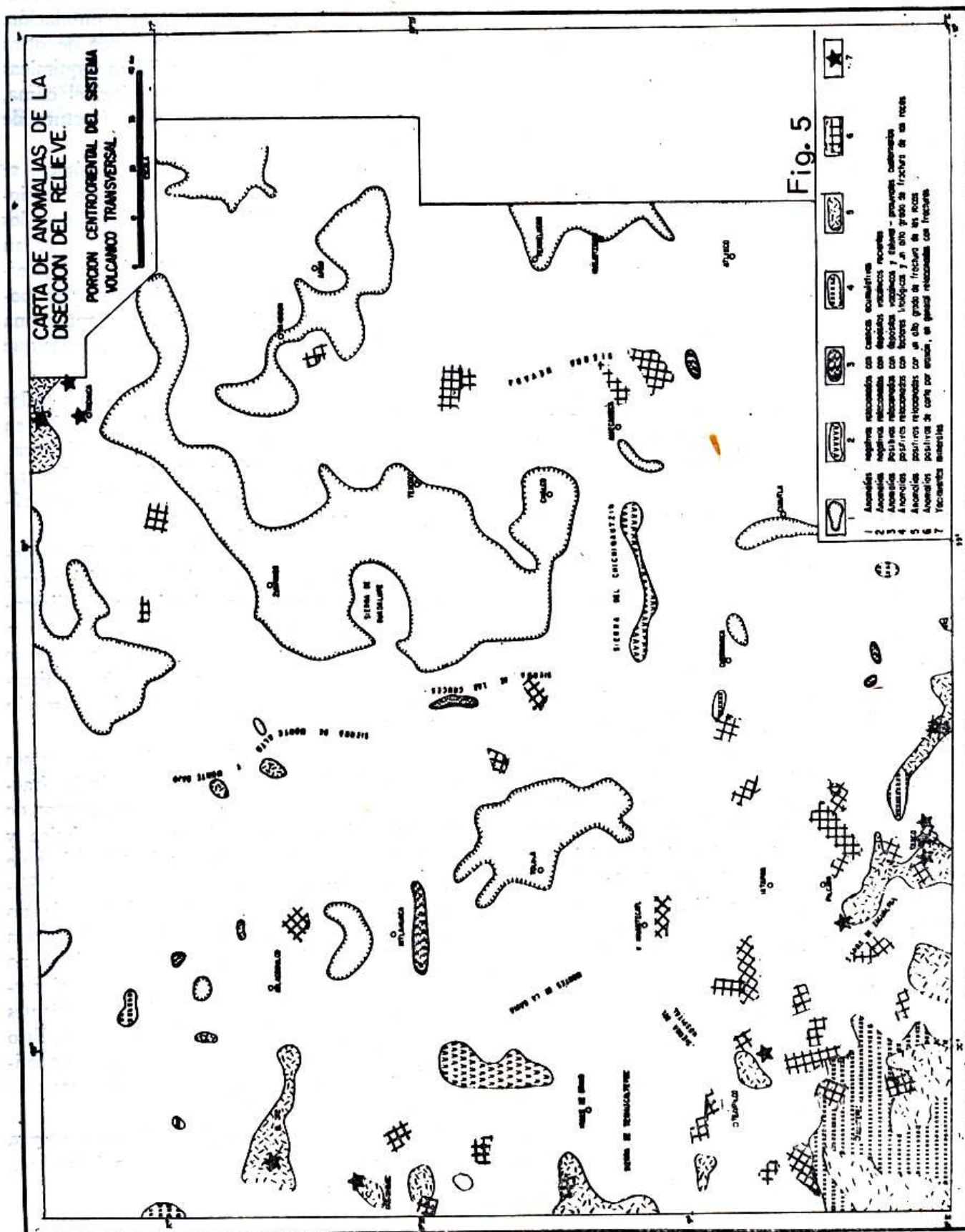
0.66-0.70

0.71-0.75

0.76-0.80

0.81-0.85

0.86-0.90



sintética de anomalías de la disección (Fig. 5). Los análisis morfométricos se hicieron sobre hojas topográficas, esencialmente a Esc. 1: 50 000, algunas de edición provisional, y solamente una pequeña zona del noreste se cubrió con cartas de la secretaría de la Defensa Nacional, a Esc. 1: 100 000 (Fig. 2).

La elaboración de las cartas temáticas consistió, en el primer caso, en la medición de la longitud total de talwegs en superficies de 20 km². Dividiendo la primera entre la segunda se obtiene el valor de densidad, que se anota en el centro de las superficies. Por medio de simple interpolación se obtienen valores complementarios, y trazando isolíneas se elabora la carta definitiva (Fig. 3).

La otra carta morfométrica, de la profundidad de la disección, se preparó dividiendo cada hoja topográfica en cuadrantes iguales, de 5 km². Para cada uno se determinó la profundidad máxima de corte por erosión (en m), y se configuró de acuerdo con una escala preestablecida, uniendo categorías afines inmediatas (Fig. 4).

Este procedimiento laborioso y prolongado es necesario, aun para la producción de una carta de escala pequeña, ya que estos métodos morfométricos exigen la utilización de escalas grandes de 1: 25 000 a 1: 100 000 (Polkanov, Polkanova, 1973).

Antecedente de este trabajo es otro sobre la disección del relieve en el sur de la cuenca de México (Lugo Hubp, Martínez Luna, en prensa), artículo en que se expone la metodología aplicada, expuesta por los autores mencionados en el párrafo anterior. El trabajo original se llevó a cabo en una escala grande 1: 50 000 y se redujo, para su publicación, a otra pequeña, casi 1: 000 000.

La disección del relieve de la Tierra, por agentes exógenos (el agua y el hielo principalmente), es un proceso antagónico al endógeno creador. En conjunto son éstos los procesos morfogenéticos.

Es necesario considerar que, en el origen de las formas principales del relieve del territorio cartografiado, han actuado esencialmente el vulcanismo del neógeno-cuaternario y el tectonismo creador de montañas plegadas en el terciario medio-tardío. Tenemos, así, en el primer caso, un proceso endógeno acumulativo, y en el segundo, otro de levantamientos. Ambos dan lugar

a superficies del terreno de pendientes diversas que favorecen en mayor o menor grado los procesos exógenos de la erosión y la acumulación. En la primera, la intensidad depende de otros factores, como las propiedades físicas y químicas de las rocas, la estructura geológica, el clima, la edad del relieve y el grado de fractura de las rocas, entre los principales.

En lo que se refiere al factor litológico, se aprecia, por ejemplo, que las tobas se erosionan con mayor rapidez que las andesitas o los basaltos, y las lutitas y los esquistos presentan mayor grado de erosión que las calizas. Las estructuras son también determinantes: los potentes estratos de calizas masivas presentan una resistencia considerablemente mayor que las que han sufrido intensas deformaciones.

El clima juega un papel importante por las precipitaciones pluviales, cuyas intensidades en mm, promedio anual, varían de 400 a 1 500 mm. En este caso la zonalidad climática vertical no es más importante que la localización geográfica (ver tabla No. 1).

En la zona en estudio tienen amplia representación las formas holocénicas y pleistocénicas consistentes en lavas, piroclastos y sedimentos aluviales y lacustres. La erosión se presenta con intensidades diversas en rocas de un mismo tipo, pero de edad diferente. Así, el factor tiempo es fundamental en el estudio de la región objeto de este trabajo.

Un control especial ejercen sobre los procesos exógenos del intemperismo y la erosión las fracturas de las rocas, ya que, como elementos de debilidad, favorecen la destrucción química y mecánica de éstas. Si bien en los depósitos de piroclastos, de amplia representación en el Sistema Volcánico Transversal, su influencia no es sustancial —por lo menos mientras no cortan en sentido vertical la capa de materiales no consolidados—, lo contrario sucede en el sustrato rocoso, donde la mayoría de las corrientes está controlada por las rupturas del mismo. Esto se aprecia con claridad en los basaltos, andesitas, calizas y esquistos de la porción suroeste de la zona en estudio.

Las formas del relieve predominantes en esta región de plegamiento y volcanismo joven son, esencialmente:

1. Cadenas montañosas plegadas, terciarias, constituidas por rocas sedimentarias y meta-

- sedimentarias mesozoicas que representan estribaciones y ramales del gran sistema montañoso de la Sierra Madre del Sur. Se extienden al suroriente de la hoja (Valle de Bravo y Tejupilco) y en toda la franja del extremo sur, de Amatepec a Atlixco.
2. Cadenas montañosas volcánicas neogénicas cuaternarias, con predominio en su constitución de rocas intermedias y básicas. Son de dimensiones diversas: Sierra de Las Cruces, Sierra de Guadalupe, Sierra Nevada, Sierra de Chichinautzin.
 3. Elevaciones montañosas aisladas tales como el Xinantécatl, los conos de Santa Catarina, Cerro Gordo y una infinidad de volcanes cuaternarios.
 4. Planicies lacustres cuaternarias, con materiales aluviales y volcánicos, desmembradas por el volcanismo moderno. Las principales son las de México, Toluca e Ixtlahuaca.
 5. Zonas transicionales o de piedemonte, cuaternarias, constituidas por materiales deluviales y proluviales, así como volcánicos. Se extienden al pie de las grandes cadenas montañosas: hacia el valle de Cuernavaca, en Atlacomulco, en Ixtapan, en las márgenes occidental y oriental de la planicie de la cuenca de México.

La consideración de estas estructuras es importante, ya que los valores de disección se presentan generalmente en una zonificación que caracteriza a las unidades orográficas. Por esto, los valores absolutos no expresan siempre una escala de intensidades de erosión, y para mejor evaluación es necesario relacionar el proceso con el relieve. Leontiev y Richagov (1979) consideran que un valor elevado de profundidad de disección, para una planicie, es de 5 a 10 m; en los lomeríos de 50 a 100, mientras que para un territorio montañoso 100 a 250 m representan un corte débil, y uno profundo supera los 500 m.

La carta de la densidad de la disección correspondiente a la zona en estudio (Fig. 3) muestra valores de kilómetros de longitud de talwegs por kilómetro cuadrado, en una secuencia de cero a 6.5. Los extremos máximos y mínimos son, en sí, las anomalías positivas y negativas. La explicación de la carta se puede resumir en los siguientes puntos.

1. Las densidades más bajas, de cero a 500 m/km² corresponden a cuencas acumulativas lacustres, aluviales y deluvial-proluviales. En casos especiales se relacionan con lavas y material piroclástico reciente, mismo que por su juventud y alta permeabilidad no ha permitido el desarrollo de la erosión más que en un grado incipiente.
2. Las cadenas montañosas volcánicas poseen zonas de máximas intensidades de la disección (3.5), esto en la parte media-alta de una de sus vertientes, fenómeno que se reconoce en el extremo sur de la Sierra Nevada (Popocatepetl), en las sierras de Las Cruces y de Monte Alto y Monte Bajo, entre Tepeji y Cuernavaca; en la Sierra de Pachuca y en las inmediaciones de las poblaciones de El Oro y Angangueo, y en otras elevaciones montañosas.
3. Mayor grado de disección muestran las rocas sedimentarias y metasedimentarias que constituyen estructuras plegadas de alturas y extensiones diversas. Esto es claro en la región de Valle de Bravo y al sur de la misma, incrementándose precisamente hacia la Sierra Madre del Sur, bien representada en las hojas Amatepec, Pilcaya y Taxco. Así, los valores que resultan elevados en las cadenas montañosas volcánicas, son normales para esta zona (en Tejupilco son mayores de 3 km/km²) y se acrecientan hacia las hojas del sur.
4. En las cadenas montañosas volcánicas predominan las densidades de disección de 1.5 a 3, con amplia representación en las laderas, así como en las planicies transicionales de piedemonte. Aunque en estas últimas estructuras las cifras más comunes son de 0.5 a 2.5.
5. Si bien las densidades más altas se localizan en las estructuras plegadas, esto no significa que sea un rasgo propio de las rocas sedimentarias. Las calizas, bien expuestas en las hojas de la franja sur (Fig. 2), presentan cierta uniformidad en su disección, con valores de 1.5 a 2.5 (Fig. 3).

El área cartografiada, por sus dimensiones regionales permite reconocer una clara correspondencia en la disección del relieve y las estructuras orográficas. Obviamente, los límites no corresponden con precisión, ya que se trata de

una zonificación. Se puede apreciar la fidelidad de la exposición de las cuencas acumulativas principales (Fig. 3 y Fig. 5), así como la orientación de las cadenas montañosas mayores, de este a oeste y de norte a sur.

De acuerdo con lo anterior, la disección del relieve es un proceso complejo que depende de muchos factores, y sería un procedimiento erróneo atribuirlo a uno solo, ignorando otros y su interrelación. Es necesario tener en cuenta la evolución geológica de la zona en estudio, sobre todo la etapa neotectónica (neógeno-cuaternario), misma en que debe haber continuado la actividad orogénica, y, como una respuesta, la erosión se intensifica. El volcanismo es también característico de esta etapa, pero su diferencia fundamental con la formación de montañas plegadas radica en que en este caso se trata de movimientos ascendentes, y en aquél de acumulaciones en la superficie provenientes del interior de la Tierra. Por esto, en el relieve volcánico el ciclo de erosión no muestra una continuidad o secuencia, ya que ha sido alterado e interrumpido continuamente.

El factor tiempo es, así, fundamental para establecer la correlación entre las edades relativas de las formas y su grado de erosión. Esto es notable especialmente en las rocas volcánicas tales como las de la Formación Tepoztlán, donde la disección contrasta por sus valores de hasta 3.5 con los de las rocas más jóvenes que las cubren parcialmente, con densidades, incluso, de cero.

El clima juega también un papel de gran importancia, pero sin ser un factor definitivo. Se puede citar como ejemplo el volcán Popocatepetl, en especial su vertiente sur, donde la disección alcanza intensidades de 3 y 3.5, a pesar de la extraordinaria juventud de los materiales que componen el cono (activo en tiempos históricos). Es obvio que las intensas precipitaciones nivales y pluviales, aunadas a una litología de materiales no consolidados ha favorecido el desarrollo de la erosión. Sin embargo, esto no es una regla: en el Xinantécatl la densidad de la disección es, en promedio, de 2 a 2.5. Asimismo, la influencia del factor clima es insuficiente para explicar la intensidad de la erosión, en caso de que se considere ésta solamente de acuerdo con las condiciones actuales. En un tiempo de 10 000 años que abarca el holoceno, el clima ha cambiado sustancialmente, haciéndose más

seco, extinguiéndose los lagos, retrocediendo los glaciares; o sea, la erosión ha disminuido gradualmente en la intensidad.

La diversa resistencia de las rocas al intemperismo y a la erosión es otro factor de importancia. Pero no basta considerar a la roca en sí y sus propiedades mecánicas. Influye la estructura en que se encuentra (pliegue, intrusivo, acumulación volcánica, etc.), su pendiente, y, naturalmente, edad y condiciones climáticas. En las rocas volcánicas, por ejemplo, la disección es fuerte cuando el relieve no es de gran juventud, pudiéndose reconocer densidades de disección hasta de 3.5, sobre todo donde son potentes los depósitos de materiales no consolidados del tipo de los piroclastos: en las laderas de las montañas y en las zonas transicionales de piedemonte (Sierra de Las Cruces, piedemonte de Cuernavaca y de Atlacomulco, etc.). Las rocas extrusivas muestran densidades de disección de 2.5 a 3.5 (Sierra de Guadalupe y Angangueo, respectivamente).

En el caso de las rocas sedimentarias y metamórficas influye no tanto la roca como su estructura; las cadenas montañosas constituidas por calizas masivas de la región de Cuernavaca, Cuautla y Atlixco muestran valores de disección ligeramente superiores a 2.5. En lo que se refiere a las rocas metamórficas (filitas y esquistos) se reconocen cifras mayores de 3, pero incrementándose hacia el suroeste de la hoja, en la región de Amatepec-Pilcaya, donde superan los 3.5. Es difícil atribuir esta anomalía a un factor puramente litológico o estructural. Obviamente, la neotectónica, junto con los anteriores, puede explicar este fenómeno.

Por último, hay que mencionar un factor más complejo que influye decisivamente en la disección del relieve: el grado de fractura de las rocas. Son precisamente las formas disyuntivas las que fijan la posición de las escorrentías; la evolución de la forma erosiva depende en mucho de la profundidad y magnitud de la fractura. Pero en la región cartografiada es necesario hacer una distinción: en las amplias superficies cubiertas de piroclastos, lavas jóvenes y materiales no consolidados lacustres, aluviales, deluviales y proluviales la influencia de las fracturas es secundaria: la red fluvial se manifiesta en configuraciones radiales (en los conos volcánicos) y paralelas (en las planicies de piedemonte).

Sin embargo, una vez que las corrientes cortan los depósitos jóvenes, en el sustrato rocoso pasan a ser controladas por fracturas; esto ha sido reconocido en varios valles erosivos de las sierras de Las Cruces y Nevada.

En las zonas donde la cubierta de materiales no consolidados es escasa, la red fluvial está fijada casi en su totalidad por las fracturas (primarias y secundarias, pequeñas someras y extensas profundas). Los casos más representativos son la Sierra de Pachuca, las zonas de El Oro, Angangueo, Valle de Bravo, Tejupilco, Amatepec, Pilcaya y Taxco. Por esto, la densidad de la disección del relieve es, indirectamente, un reflejo de la intensidad de fractura de las rocas, factor que guarda estrecha relación con otros, como los planos de estratificación y de flujo, espesor de las capas, posición e inclinación de los planos axiales, etc. Esto se reconoce con mayor claridad en una franja que se extiende al suroeste de la hoja, donde predominan las densidades mayores de 3.

Así, a partir del análisis de la red fluvial se infiere simultáneamente el grado de fractura de las rocas. La importancia económica radica, entre otras cosas, en que es uno de los criterios geomorfológicos que se utilizan en la búsqueda de yacimientos hidrotermales (Anañev, 1973).

Las zonas de anomalías positivas —una vez que se han eliminado los factores litología y clima— se interpretan como zonas sometidas a tensiones mayores (*op cit*). Los yacimientos minerales controlados por fisuras muestran un campo mayor de concentración de éstas que las zonas contiguas (Nievski, 1979). En el territorio que comprende este estudio se encuentran importantes yacimientos minerales de tipo hidrotermal (Fig. 5). Su relación con el grado de fractura de las rocas es clara, se aprecia en la carta de anomalías, lo que evita recurrir a descripciones detalladas. Un caso claro es el de Angangueo en donde el intenso grado de fractura se reconoce no solamente por la red fluvial, sino también en la carta geológica 1: 50 000 del mismo nombre (E14A26, DETENAL, 1978). Coincidencias precisas entre anomalías positivas y yacimientos se encuentran en El Oro, Zacualpan, y Pachuca (Mineral del Monte), y aproximadas en Sultepec y Taxco. Naturalmente, el grado de fractura no es el único que influye en la disección, pero se infiere como predominante sobre los

demás: litología, estructura, clima y edad de las rocas.

Como complemento a la carta de la densidad de disección se elaboró la de profundidad, misma que, a diferencia de la anterior, que considera el proceso de la erosión en plano, ésta lo hace en perfil. La síntesis de la numerosa información que proporciona esta carta morfométrica se señala en los siguientes puntos:

1. Se aprecia un claro predominio de los valores de corte por erosión menores de 20 m. En amplias zonas ellos son equivalentes a cero, en las planicies lacustres y fluviales de Toluca, México, Puebla y Ajacuba. De hasta 20 m tienen amplia expresión en las localidades volcánicas jóvenes y en las planicies inferiores de piedemonte (Fig. 4, Fig. 5).
2. Las categorías de 20-40 y 40-100 m se presentan cubriendo amplias zonas de las sierras de Las Cruces y Monte Alto y Monte Bajo. Asimismo, se extienden en la Sierra Nevada, en el límite nororiental de la cuenca de México, al sur de Tulancingo, y en las elevaciones montañosas del occidente, conocidas como Sierra de Sultepec, Sierra del Hospital y Montes de la Gavia. En las zonas transicionales de piedemonte se reconocen ampliamente estos valores de corte por erosión.
3. La disección vertical de 100-200 m, aun cuando está presente en las zonas transicionales, es más representativa de las principales cadenas montañosas, en especial las del suroeste de la hoja, así como las sierras de Las Cruces, Pachuca y Nevada.
4. La siguiente categoría, de 200 a 300 m se sitúa esencialmente en las laderas montañosas, pero con mayor desarrollo en las cadenas plegadas, de rocas sedimentarias y meta-sedimentarias. En muchos casos, sobre todo en elevaciones aisladas, la profundidad de erosión está controlada por fracturas importantes, como en Angangueo.
5. Los valores de corte por erosión mayores de 300 m representan puntos aislados, dispersos en la hoja. Se localizan en las laderas de las montañas más altas o más antiguas, o ambas, aunque las cifras de más de 400 m —a excepción de la cañada de Nexpayantla en el Popocatepetl— se sitúan todas en la porción sudoccidental de la hoja, donde domina el

relieve de cadenas montañosas plegadas. En sí, corresponden en su gran mayoría a lineamientos que han favorecido el trabajo de la erosión. Esto se aprecia en las cartas topográficas a Esc. 1: 50 000.

Este proceso de erosión está controlado por todos los factores que han sido señalados en el desarrollo de este trabajo. Sin embargo, las anomalías positivas muestran con fidelidad las zonas de fractura principales, donde la erosión, favorecida también por las condiciones litológicas y climáticas ha tenido un desarrollo mayor que en las porciones contiguas. Es importante también señalar que los valores de corte por erosión no se toman como absolutos, sino en relación con la estructura en que se encuentran (elevaciones montañosas, piedemonte, planicie de nivel de base). En esta última estructura geomorfológica no se reconoce la disección vertical, debido al intervalo de las curvas de nivel, de 10 y 20 m (serían necesarias de 2 metros).

El análisis de la disección vertical del relieve tiene numerosas aplicaciones, pero vamos a mencionar sólo aquella que se relaciona con los objetivos de este trabajo: su importancia en la exploración de yacimientos hidrotermales, ya que éstos se presentan en las fracturas de las rocas, y ellas, a la vez, facilitan el desarrollo de la erosión: es importante este tipo de análisis morfométrico, sobre todo en la ampliación de las exploraciones de los yacimientos ya conocidos, porque la erosión vertical lo mismo puede poner al descubierto un yacimiento, que removerlo completamente. Asimismo, en la búsqueda de yacimientos hidrotermales es éste un criterio auxiliar en la determinación de lineamientos, límites de bloques y presencia de actividad neotectónica.

Con el fin de sintetizar la información contenida en las cartas morfométricas, y establecer una correlación entre la disección del relieve y los yacimientos hidrotermales, se elaboró la carta de anomalías (Fig. 5), misma que explica el origen de los valores máximos y mínimos —en especial de densidad de disección— en relación con diversos factores inferidos del análisis de diversas cartas temáticas, geológicas y climáticas, así como de publicaciones existentes sobre los yacimientos minerales principales. Todos estos parámetros se indican en la tabla No. 1.

Resulta de especial interés la correlación de los yacimientos minerales principales con el grado de disección equivalente, en principio, a la densidad de fractura de las rocas. Así, al vaciar sobre la carta de la densidad de disección los puntos correspondientes a los yacimientos de Pachuca, El Oro, Angangueo, Sultepec, Zacualpan y Taxco se pudo observar una correlación precisa o aproximada, en todos los casos, con altos valores de disección. En la tabla No. 1 se señalan las anomalías geomorfológicas, tanto positivas como negativas, y una serie de elementos, asociados a las mismas, que influyen en las formas del relieve. Son éstos, básicamente, los que han permitido inferir la influencia, mayor o menor, del grado de fractura de las rocas en el proceso de la erosión.

A continuación se dan algunas características de los yacimientos minerales más importantes en la zona en estudio.

En todos los casos se trata de yacimientos hidrotermales, especialmente de poca profundidad (epitermales). Los de Taxco consisten en Pb, Zn, Ag y Au en vetas que rellenan fracturas en los esquistos, calizas y clastos (Fries Jr., 1956). Las formas disyuntivas que controlan la mineralización son de rumbos NW y N, aunque hay también orientaciones al W.

En el distrito minero que comprende la región de Pachuca (El Chico, Mineral del Monte), la mineralización contiene Au, Ag, Pb y Zn, principalmente, en rocas volcánicas como dacitas, andesitas y riolitas (Geyne, 1956). Los sistemas de fractura dominantes son NW y N.

En Angangueo se produjo la mineralización por el relleno de fisuras de las andesitas, cuya orientación es predominante al noreste (Mercado Reynoso, Cervantes Juárez, 1978). Se explotan los mismos minerales que en los casos antes señalados.

En Sultepec la mineralización, consistente en sulfuros secundarios ricos en plata, se encuentra en vetas de orientación N60W en rocas andesíticas (Medina de la Paz, 1977).

Los Yacimientos de Zacualpan están contenidos en fisuras de orientaciones N-S y NW-SE (Limón González, 1977), en rocas andesíticas. Se extrae Pb, Zn y Ag.

En el Oro de Hidalgo, Méx., las condiciones no son muy diferentes: se extrae también Au, Ag, Pb y Zn. Los cuerpos minerales están contenidos en las fisuras de un sustrato andesítico.

Las orientaciones principales de las disyunciones son noreste. (Reniery, 1955).

Se puede apreciar que en los yacimientos mencionados hay denominadores comunes: extracción de los mismos minerales útiles, originados en condiciones hidrotermales de poca profundidad, generalmente en rocas volcánicas y en estructuras donde predominan las orientaciones NW, N y W.

El análisis morfométrico de 40 cartas topográficas a Esc. 1: 50 000, de la porción centro-oriental del Sistema Volcánico Transversal, complementado con la consideración de otros parámetros, permite establecer las conclusiones siguientes.

1. El análisis —cualitativo o cuantitativo— de la disección del relieve no sólo es la base de los estudios geomorfológicos, en especial los de tipo estructural, sino tiene gran aplicación en la agricultura, como medio para cuantificar la erosión; en problemas relacionados con la construcción de grandes obras de ingeniería, y en otros casos.
2. En su relación con los yacimientos minerales de tipo hidrotermal, la erosión, considerada en planta y en perfil, es un criterio importante en la exploración destinada a estable-

cer zonas favorables para ser estudiadas con mayor detalle.

3. El método no puede considerarse como único o independiente, sino que debe complementarse con estudios geológicos. Asimismo, es recomendable proseguir con estudios geomorfológicos más profundos que permitan señalar bloques, lineamientos u otros elementos como domos, que permiten orientar las exploraciones (Lukashov, Lijacheva, 1973; Koncheva, 1973; Anañiev, 1973).
4. En la zona cartografiada se aprecian relieves de gran juventud (depósitos clásticos cuaternarios, y volcánicos), por lo que las estructuras disyuntivas se encuentran ocultas total o parcialmente. En otros casos la erosión ha modelado las fracturas principales, mostrando mayor intensidad en las zonas mineralizadas conocidas.
5. Aplicando el método a una pequeña porción del territorio mexicano, muestra su utilidad toda vez que ejemplifica la "expresión geomorfológica" de los yacimientos de tipo hidrotermal de Pachuca, Angangueo, El Oro, Zacualpan y Taxco. Asimismo, se señala la conveniencia de estudiar con más detalle la región comprendida en las hojas topográficas Pilcaya y Amatepec, en la búsqueda de yacimientos minerales.

TABLA No. 1

I	II	III	IV	V	VI	VII
1	Amealco	2900	Andesitas	Cadena montañosa	800	+15
2	Polotitlán	2250	Proluvión	Lomerío	600	-3
3	Polotitlán	3300	Andesita	Volcán	700	+6
4	Ajacuba	2050	Aluvión	Planicie	800	-3
5	Pachuca	2400	Aluvión	Planicie	400	-6
6	El Oro	3000	Andesita	Cadena montañosa	900	+15
7	Atacomulco	3100	Andesita	Cadena montañosa	800	+20
8	Atacomulco	3100	Andesita	Cadena montañosa	900	+15
9	Tepeji	3100	Andesita	Cadena montañosa	1000	+15
10	Tepeji	2600	Proluvión	Piedemonte	800	2-6
11	Zumpango	2250	Lacustre	Planicie	745	-0.5
12	Tizayuca	2110	Lacustre	Planicie	600	-2
13	Angangueo	3300	Andesita	Cadena montañosa	900	+15
14	Angangueo	3400	Andesita	Cadena montañosa	900	+15
15	Ixtlahuaca	2550	Lacustre	Planicie	800	-0.5
16	Ixtlahuaca	2600	Proluvión	Piedemonte	800	-6
17	Apan	2500	Lacustre	Planicie	625	-0.5
18	Texcoco	2250	Lacustre	Planicie	625	-0.5
19	Villa Allende	3000	Basalto	Volcán lavas	950	0-6
20	Toluca	2600	Lacustre	Planicie	800	-0.5
21	México	2240	Lacustre	Planicie	745	-0.5
22	Texmelucan	2280	Aluvión	Planicie	875	-2
23	Valle de Bravo	2100	Esq.-And.	Cadena montañosa	1400	+2
24	Tenango	2560	Lacustre	Planicie	1260	-0.5
25	Milpa Alta	3200	Basalto	Cadena montañosa	1200	+3
26	Amecameca	2470	Aluvión	Planicie	1000	-2
27	Tejupilco	2600	Riol.-Esq.	Cadena montañosa	1300	+15
28	Tejupilco	1700	And.-Esq.	Cadena montañosa	1500	6-15
29	Cuernavaca	2600	Riolita	Cadena montañosa	1060	+20
30	Cuautla	1290	Aluvión	Planicie	980	-6
31	Amatepec	1400	Aluvión	Cadena montañosa	1500	+15
32	Amatepec	2300	Aluvión	Cadena montañosa	1500	+15
33	Amatepec	1600	Aluvión	Cadena montañosa	1420	+15
34	Pilcaya	2000	Lutitas	Cadena montañosa	1400	+15
35	Taxco	1900	Esq.-Lut.	Cadena montañosa	1400	+15
36	Taxco	1500	Lut.-Riol.	Cadena montañosa	1200	+12
37	Jojutla	1500	Lutita	Cadena montañosa	1000	+6
38	Jojutla	1100	Lutita	Cadena montañosa	1000	+6
39	Pachuca	2900	Andesita	Cadena montañosa	950	+6

I, número correspondiente a las anomalías de la carta No. 5; II, nombre de la hoja 1: 50 000 en que se localizan; III, altura sobre el nivel del mar (m); IV, tipo de roca predominante; V, forma del relieve; VI, precipitación media anual en mm; VII, pendiente media, dada en grados (los signos +, -, indican que el valor es mayor o menor).

BIBLIOGRAFÍA

- Anañiev, G. S., "El Análisis de la disección del relieve en la búsqueda de mineralizaciones hidrotermales". En: *Geomorfología de exploración*, pp. 124-131, Ed. Misl, Moscú, 1973 (en ruso).
- Fries Jr., C., *Bosquejo geológico de la región entre México, D. F. y Taxco, Gro.* Congreso Geológico Internacional, Excursiones A4 y C2, pp. 11-36, México, 1956.
- García, E., *Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM, México, 1973, 246 p.
- Geyne, A. R., *Las rocas volcánicas y los yacimientos argentíferos del Distrito Minero de Pachuca-Real del Monte, Edo. de Hgo.* Congreso Geológico Internacional, Excursiones A9 y C12, pp. 47-57, México, 1956.
- Koncheva, N. T., "Los métodos geomorfológicos para el reconocimiento de estructuras dómicas en la búsqueda de mineralización endogenética". En: *Geomorfología de exploración*, pp. 124-131, Ed. Misl, Moscú, 1973 (en ruso).
- Limón González, M., *Geología del área de Sultepec-Zacualpan, Edo. de Méx.* Tesis, Ing. Geol. ESIA, IPN, 1977, 61 p.
- Lukashov, A. A., Lijacheva, E. A., "Análisis de secciones de bloques neotectónicos en el estudio de los yacimientos minerales endogenéticos". En: *Geomorfología de Exploración*, pp. 112-123. Ed. Misl, Moscú, 1973 (en ruso).
- Medina de la Paz, J., *Geología y yacimientos minerales del Distrito Minero de Sultepec, Edo. de Méx.* Tesis, Ing. Geol., ESIA, IPN, 1977, 71 p.
- Mercado Reynoso, J., Cervantes Juárez, M. *Geología superficial del Distrito Minero de Angangueo, Mich.* Tesis, Ing. Geol. Facultad de Ingeniería, UNAM, 1978, 80 p.
- Nievski, V. A., *Fisuramiento tectónico de campos mineros y yacimientos*. Ed. Niedra, Moscú, 1979, 224 p. (en ruso).
- Polkanova, V. B., Polkanov, V. P., "Las cartas de la intensidad de la disección del relieve". En: *Aplicación de los métodos geomorfológicos en las investigaciones geológico-estructurales*. Ed. Niedra, Moscú, 1970, pp. 40-43 (en ruso).
- Reniery, S. A., *Informe geológico de la región auro-argentífera de El Oro, Méx. y Tlalpujahua, Mich.* Tesis, Ing. Geol., Facultad de Ingeniería, 1955, 62 p.

CARTOGRAFÍA

1. Hojas topográficas 1: 50 000: E14: A16, A17, A18, A19, B11, B12, A26, A27, A28, B21, B22, B23, B23, A36, A37, A38, A39, B31, B32, A46, A47, A48, A49, B41, B42, A56, A57, A58, A59, B51, B52, A66, A67, A68, A69, F14, C86, C87, C88, C89, D81. DETENAL, México.
2. Hojas geológicas 1: 50 000: E14: A17, A18, A19, B11, B12, A26, A27, A28, A29, B21, A36, A37, A38, A39, B31, A46, A47, A48, A49, A56, A57, A58, A59, B51, B52, A66, A67, A68, A69, F14: C86, C87, C88. DETENAL, México.
3. Hojas topográficas 1: 100 000: 14Qe11, 14-Qe12. Secretaría de la Defensa Nacional, México.
4. Cartas de climas de la República Mexicana 1: 500 000: I4Q: III, IV, V y VI CETENAL-Instituto de Geografía, UNAM, 1970.