

GEOMORFOLOGÍA APLICADA AL REORDENAMIENTO DE LAS
ACTIVIDADES TURÍSTICAS EN EL EJIDO SAN
CRISTÓBAL TOLANTONGO, HIDALGO

Por José Luis Palacio Prieto*

Colaboradores Mirta Martínez Aréchiga*
Eulalia Ribera Carbó*
Alfredo Hernández Briones**
Ángel Huerta Rincón**
Mario Pérez Quintana**
Héctor Román Antúnez**

RESUMEN

El presente trabajo es un estudio geomorfológico detallado de la zona turística aledaña a las grutas de Tolantongo, Hidalgo, en donde los procesos gravitacionales y fluviales constituyen un riesgo para la actividad de los paseantes.

A partir de la confección de cartografía geomorfológica detallada y del levantamiento de perfiles fluviales transversales, fueron detectadas áreas en donde estos procesos se llevan a cabo y áreas que, por sus condiciones generales, se encuentran exentas de peligro. Se propone utilizar estas últimas y restringir la permanencia del turista en las primeras durante la época de lluvias, cuando la caída de bloques y la presencia de avenidas son más frecuentes.

SUMMARY

This paper is a detailed geomorphological study of the "Grutas de Tolantongo" tourists area, in the state of Hidalgo, where risky gravitational and fluvial processes are present.

Starting from a detailed geomorphological mapping, risky and non-risky areas were detected, where these processes, are taking place and which due to their general conditions, are not exposed to them. A rational use of these, during the rainy season, is proposed.

INTRODUCCIÓN

El paisaje juega un papel de gran importancia en la recreación. Dicha importancia se refleja en el creciente número de áreas

* Instituto de Geografía, UNAM.

** Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

destinadas a esos fines, sean parques nacionales, monumentos naturales, parques ecológicos, etc. que surgen como resultado de las demandas de zonas de esparcimiento por parte de la población. La necesidad de la recreación ha planteado el problema de la elección de lugares idóneos en donde los aspectos socioeconómicos, como la preferencia de la población o los diferentes intereses que existen sobre un área dada, constituyen puntos prioritarios. No menos importante es la evaluación del paisaje.

En algunos países se han desarrollado metodologías específicas para la evaluación del medio físico y elegir, finalmente, los lugares que ofrezcan mayores ventajas y menos riesgo (Leopold, 1969; Cooke y Doornkamp, 1974). Dichas metodologías constituyen una de las bases de los estudios de evaluación paisajística que, según Howard y Remson (1978) pueden ser de dos tipos o, bien, concebirse en dos etapas que son los estudios globales y los particulares ("comprehensive" y "functional" en el original). Los estudios globales implican la consideración de todas las variables, desde socioeconómicas hasta físicas. En los estudios particulares, por el contrario, interesa la evaluación individual de las variables y la definición de su papel en el conjunto. Entre tales variables, las de carácter físico constituyen un grupo fundamental, y entre ellas se cuenta al relieve como una de las más importantes.

La importancia del estudio del relieve con fines de planeación turística se establece básicamente en dos sentidos. En primer lugar, el relieve es un recurso panorámico (Owen, 1977). En este sentido, la morfología constituye un atractivo que influye definitivamente en la valoración estética del paisaje, además de ser factor importante en el comportamiento de otras variables del medio, tales como la vegetación, la hidrología o el clima. Ejemplos de éstos son la Barranca del Cobre, la Sierra de Tepoztlán o los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, por citar sólo unos casos.

En el otro sentido, el estudio del relieve y los procesos de su evolución y dinámica actual permiten la zonificación de riesgos de diverso grado a los que puede exponerse la actividad del paseante. Dichos riesgos se encuentran representados de manera más común por los procesos de remoción en masa (derrumbes, desplazamientos de rocas y detritos, flujos del terreno, etc.) y por los de carácter fluvial (avenidas, inundaciones).

Un ejemplo de lo anterior se presente en el ejido de San Cristóbal Tolantongo, estado de Hidalgo, en donde los derrumbes y los estragos causados por las avenidas han ocasionado una merma importante en el flujo de paseantes, lo cual ha repercutido, a su vez, en la economía de alrededor de 100 ejidatarios y sus familias, que tienen en el turismo su principal fuente de ingresos.

A raíz del aumento en el número de derrumbes y daños derivados, en el área más frecuentada por los paseantes, la subdelegación estatal de la secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) propuso, como respuesta a las demandas de los ejidatarios, un plan de conservación y aprovechamiento de las grutas de Tolantongo y su en-

torno, el cual implica diferentes acciones encaminadas a un uso más diversificado de la zona turística mencionada (SEDUE, 1984). Dentro de dicho plan se considera, asimismo, la construcción de diversas obras de infraestructura turística, proyectadas por la Facultad de Arquitectura (Autogobierno) de la UNAM. Hasta la fecha, sin embargo, dichas obras no han sido realizadas, aunque algunos estudios, principalmente sobre la vegetación, se han venido llevando a cabo por parte de técnicos de la antes citada secretaría.

Dadas las características del problema, en este estudio se plantean los siguientes objetivos generales:

Reconocer los procesos geomorfológicos exógenos en el área turística del ejido de San Cristóbal Tolantongo;

Evaluar y jerarquizar los riesgos actuales y los potenciales ligados a la dinámica de las formas del relieve y señalar, en lo posible, alternativas de solución a los mismos;

Zonificar los diferentes riesgos geomorfológicos en el área mencionada, para coadyuvar en el ordenamiento espacial de las actividades turísticas.

Planteados el problema, los objetivos y las principales características de la zona, puede apreciarse que el adecuado tratamiento del estudio requiere del mayor detalle posible. Por ello se hizo necesaria la elaboración de un tipo de cartografía que permitiera captar aquellos rasgos geomorfológicos que pudieran relacionarse con la actividad desarrollada en la zona turística en estudio. Para esto se confeccionó, con el fin de evaluar la dinámica geomorfológica, cartografía de gran detalle, específicamente "croquis geomorfológicos" (Palacio, 1985). Con base en estos croquis, fueron elaborados los referentes a la litología, uso del suelo y vegetación, y dinámica fluvial y de laderas. Por otro lado, con el fin de complementar la información sobre la dinámica del lecho fluvial, fueron levantados 24 perfiles transversales del lecho, en aquellos puntos en que se consideró de interés para la explicación. Del análisis de esta información resultó la caracterización geomorfológica de la zona estudiada.

Aunque este estudio es un análisis particular del comportamiento de la variable geomorfológica y no una evaluación global del medio, las sugerencias propuestas intentan ajustarse a la realidad social y económica. Se han propuesto alternativas de solución consideradas como factibles, que mejoran, a nuestro parecer, las condiciones de seguridad, y limitan, así, los riesgos mediatos e inmediatos ligados a la dinámica de las formas.

I. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA GENERAL DE LA ZONA EN ESTUDIO

La zona en estudio corresponde al área turística de las grutas de Tolantongo, a unos 45 km al NE de Ixmiquilpan, en el estado de Hidalgo (Fig. 1). Se ubica en la porción baja de la cuenca del río que da nombre a las grutas, que se desarrolla en el contacto entre

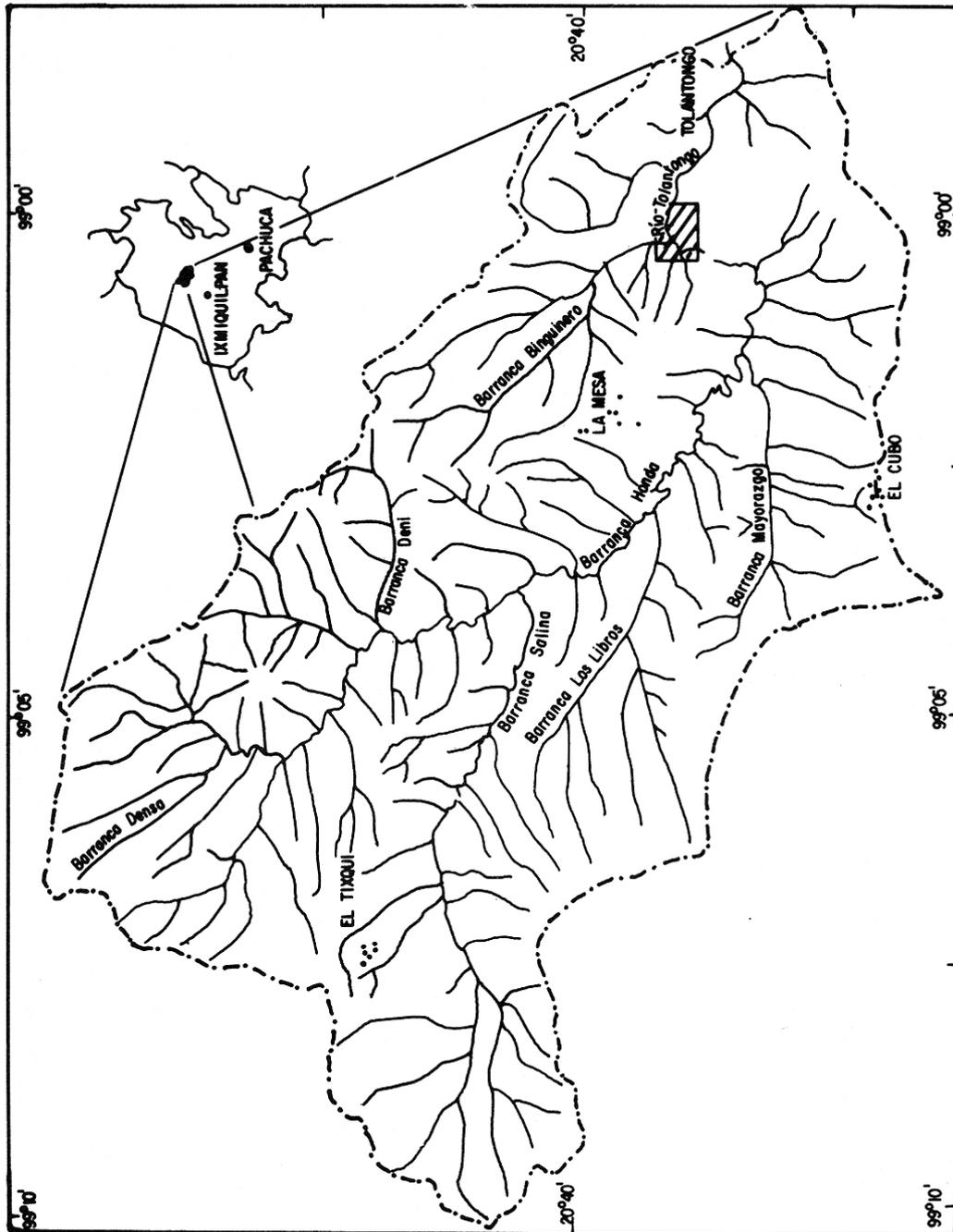


Figura 1. LOCALIZACION DE LA ZONA EN ESTUDIO

 Area turística de las grutas de Tolantongo

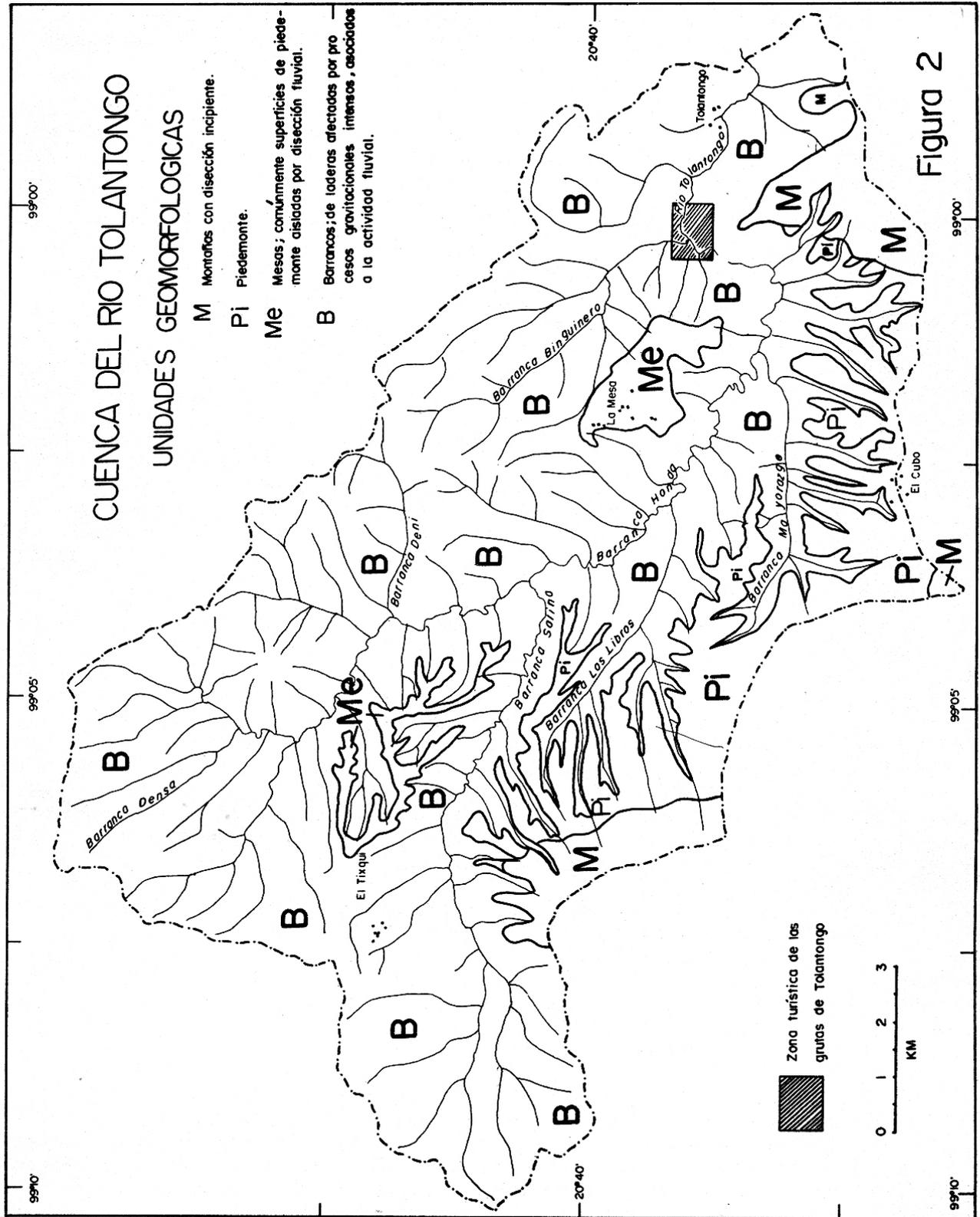
las provincias de la Altiplanicie Meridional y la Sierra Madre Oriental. Dicha localización explica los fuertes contrastes geomorfológicos que han influido en forma definitiva en el atractivo panorámico del lugar.

Buena parte de la cuenca del río Tolantongo se encuentra surcada por profundos barrancos que discurren de manera general con una dirección W-E, desarrollados principalmente sobre lutitas y calizas cretácicas fuertemente plegadas, que ocupan la mayor parte de su superficie (Figs. 2 y 3). Las zonas planas, ubicadas en las partes centro-oriental y meridional de la cuenca constituyen remanentes de antiguos piedemontes extensos, cuyas dimensiones han sido reducidas a partir de la activa erosión y remoción en masa llevadas a cabo en las laderas y cabeceras de los barrancos antes mencionados. Estas planicies se encuentran constituidas por lentes de conglomerado interestratificado con capas calcáreas y lacustres, cuya edad corresponde al terciario tardío (INEGI, 1983). Otros tipos de roca, de carácter andesítico, se presentan al NE y en el extremo occidental; en el norte de la cuenca, por otro lado, afloran rocas intrusivas (granodiorita), aunque con una extensión considerablemente menor a las sedimentarias antes referidas. Por último, pueden observarse, en algunos puntos, derrames basálticos columnares bien conservados en el fondo de la barranca Los Libros (no se mapearon dada su reducida extensión). El intenso modelado erosivo palpable en la mayor parte de la cuenca y en la zona turística de las grutas en particular, se relaciona también con las condiciones climáticas, de suelo y de vegetación.

La cuenca recibe en promedio unos 800 mm de lluvia anualmente (INEGI 1983a), siendo superior (1 200 mm) en las partes elevadas de la cuenca (a unos 2 600 m) y menor hacia su desembocadura (700 mm) en el extremo este (a unos 1 300 m). De esta lluvia, la mayor parte se concentra, en muchas ocasiones de manera torrencial, en los meses de agosto y principalmente en septiembre. Dada la dispersión de la vegetación en las laderas de las barrancas, y la presencia de suelos arcillosos producto de la descalcificación de las rocas calcáreas, se presenta una clara tendencia al escurrimiento superficial, altamente perjudicial a la agricultura que en la mayor parte de la cuenca carece de técnicas de conservación apropiadas.

Por otra parte, el acarreo de grandes volúmenes de sedimentos finos y la fuerte pendiente de los lechos fluviales influyen en el incremento de la competencia de las corrientes torrenciales, lo que permite la remoción de bloques de tamaño considerable (hasta 3 m de diámetro). Esto determina un alto poder abrasivo en los flujos de agua, que socavan rápida y eficazmente las márgenes y provocan frecuentes desplomes a lo largo de los barrancos.

Los procesos antes señalados son sumamente comunes en la porción alta y media de la cuenca, por lo que puede entenderse que en la porción baja de la misma, a la altura de la zona turística de las grutas, los mecanismos de modelado no sólo erosivos, sino también acumulativos, representan un problema interesante que afecta de diversas maneras la actividad de los paseantes.



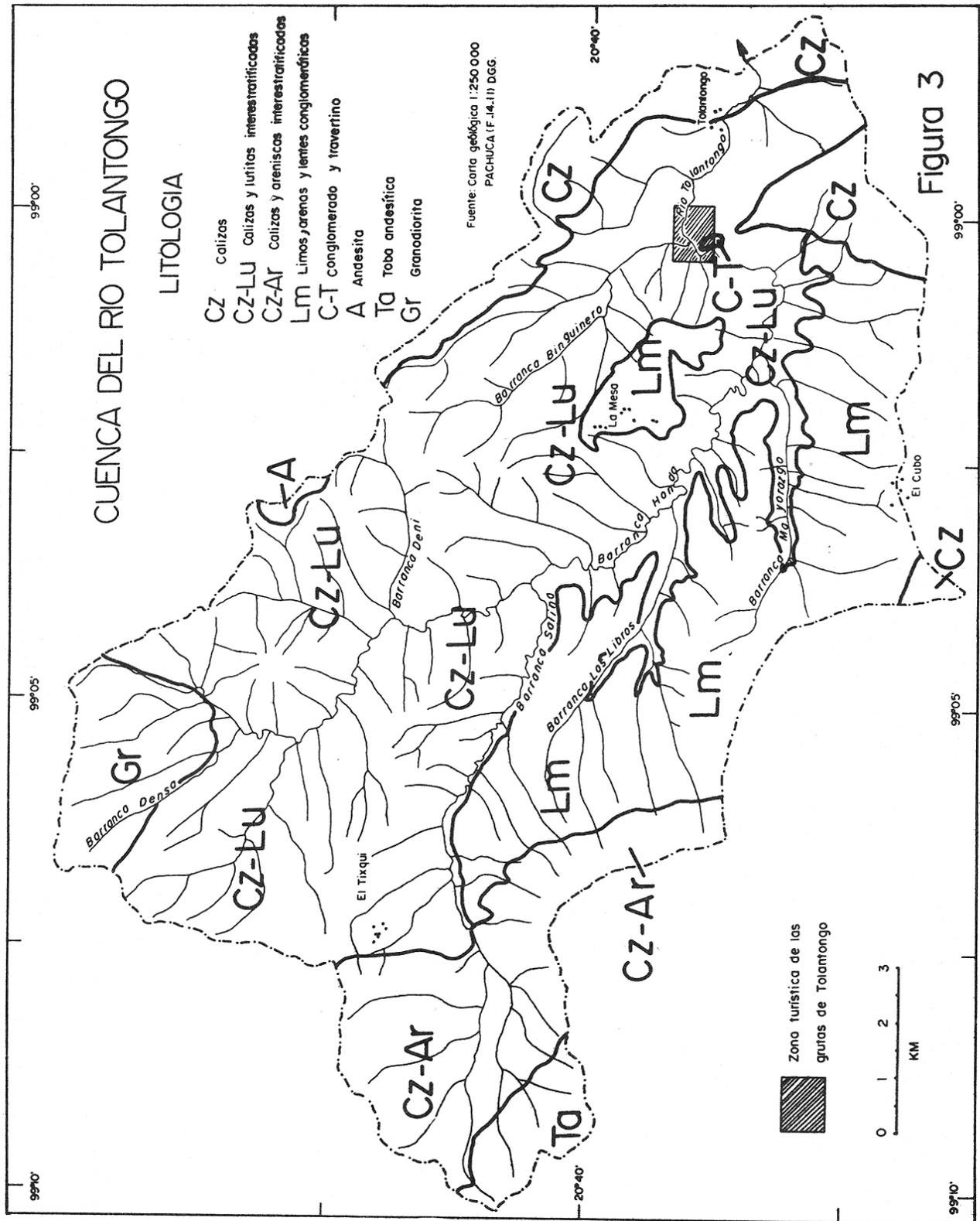


Figura 3

II CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA TURÍSTICA DE LAS GRUTAS DE TOLANTONGO

La zona particular en estudio cubre una superficie de aproximadamente 40 hectáreas (0.4 km²) y se localiza hacia el SE de la cuenca referida en el apartado anterior, a unos 4 km de su desembocadura (Fig. 2). El sector del río que constituye básicamente la zona estudiada se ubica entre los 1 260 y los 1 400 m de altitud y posee una pendiente media de unos 4° - 5° en el lecho fluvial (aproximadamente 10%); en su entorno, las laderas, fuertemente inclinadas, alcanzan altitudes entre 1 600 y 1 900 m.

Desde el punto de vista geológico, se aprecia el predominio de rocas sedimentarias de diferentes edades (Fig. 4). Las más antiguas y más ampliamente distribuidas son del cretácico superior y corresponden a calizas interestratificadas con lutitas (localmente aparecen pizarras) fuertemente plegadas, con buzamientos comúnmente superiores a los 30°, y en ocasiones sensiblemente verticales, principalmente sobre la margen fluvial izquierda; también en la zona cercana a las grutas, sobre la margen derecha, se aprecian estratos de caliza con buzamiento de alrededor de los 80°.

Otra unidad geológica es la constituida por bloques de caliza de hasta 3 m de diámetro, semirredondeados algunos de ellos, que se encuentran cementados y cubiertos con carbonatos de calcio (travertino) que atestiguan una actividad hidrotermal que continúa hasta nuestros días, como lo manifiesta el flujo de agua caliente proveniente de las grutas. Esta unidad constituye un antiguo piedemonte disecado por la acción erosiva fluvial, depositado discordantemente sobre las calizas plegadas. Presenta escarpes abruptos, por lo general, y se localiza en la porción SW de la zona estudiada, bordeando la cañada alrededor de las grutas. Su edad corresponde al terciario temprano (?). Algunos bloques de travertino y de caliza provenientes de esta unidad pueden observarse en el lecho fluvial.

La tercera unidad corresponde a los depósitos aluviales recientes. Se trata, por lo común, de depósitos heterométricos derivados de la actividad torrencial del agente de transporte, como se aprecia en el lecho del Arroyo Seco y los bancos aluviales a lo largo del lecho. En la porción más baja, al oriente, puede apreciarse, sin embargo, la existencia de un depósito aluvial más fino y homogéneo sobre la margen fluvial derecha. Puede observarse, finalmente, a diferencia de los 3 sectores restantes, la casi virtual ausencia de depósitos aluviales en el sector más cercano a las grutas, dada la mayor pendiente del lecho fluvial y la consecuente competencia del río que impiden la acumulación importante de sedimentos en dicho sector.

Por otro lado, la orientación de las laderas, así como la dinámica de los procesos geomorfológicos, interviene en el comportamiento general de la vegetación (Fig. 5). En las porciones medias y bajas, principalmente, que muestran una clara orientación W-E, las laderas que miran hacia el norte (margen fluvial derecha) muestran

Los llanos de San Juan están formados, principalmente, de material de relleno del pleistoceno y reciente, con una pequeña área intrusiva de calizas del cretácico que se localiza al sur de los llanos de San Juan; también se localizan, en medio del material de relleno, intrusiones volcánicas del cenozoico superior y del cenozoico medio.

El clima es seco estepario, con lluvias escasas que predominan durante el verano. Al norte de los llanos, la temperatura media anual es inferior a 18°C , y la media mensual de algunos meses es superior a 18°C . En esta parte de los llanos de San Juan se nota la influencia del Cofre de Perote que impide el paso de humedad proveniente del Golfo, por lo que bajan por sus laderas vientos secos y fríos.

Al sur, la temperatura media anual y media mensual de todos los meses es inferior a 18°C . Esta zona está influida por la sierra de Quimixtlán, que forma parte de la Sierra Madre Oriental, la cual actúa como barrera produciendo una sombra eólica.

La hidrografía de esta región es muy exigua, localizándose pequeños escurrimientos que vierten sus aguas en la laguna de Teotlalcingo que forma parte del distrito de riego de Oriental. En esta zona se localiza también el axalapasco de Alchichica, que es un cráter de explosión ocupado por una laguna.

La parte más baja de los llanos de San Juan tiene suelos de grupo xerosol y, rodeando a éstos, yermosoles. Gran parte de estos terrenos son estériles, con afloraciones salinas y de tequesquite.

La otra región socioeconómica, que presenta el mismo intervalo de clase de menos de 1.02 en el nivel de similitud de salud, es la de San Pedro Cholula, al occidente de la de Puebla. La región de San Pedro Cholula forma parte de la región natural de la Sierra Nevada que, a su vez, es parte del Sistema Volcánico Transversal, el cual atraviesa la República Mexicana con una dirección oeste-este. La Sierra se extiende de norte a sur; al occidente del valle de Puebla tiene una extensión de más de cien kilómetros y es un gran elemento de relieve continuo.

La formación de las montañas en la República Mexicana ha obedecido a poderosos esfuerzos tangenciales, de plegamientos y otros de afallamiento originados, en parte, por la presión debida al espesor de antiguos sedimentos del cretácico y de otros posteriores. El modelado de principios del terciario es la base del relieve actual, y la fractura que dio origen al Iztaccíhuatl es anterior a la del Popocatepetl y se encuentra en la misma dirección de éste.

El clima de la zona es templado húmedo con lluvias en verano, y la temperatura media del mes más cálido es inferior a 22°C excepto en las partes elevadas de la Sierra donde se localiza el clima "polar" de alta montaña, principalmente en el Popocatepetl y en el Iztaccíhuatl, los cuales presentan nieves perpetuas.

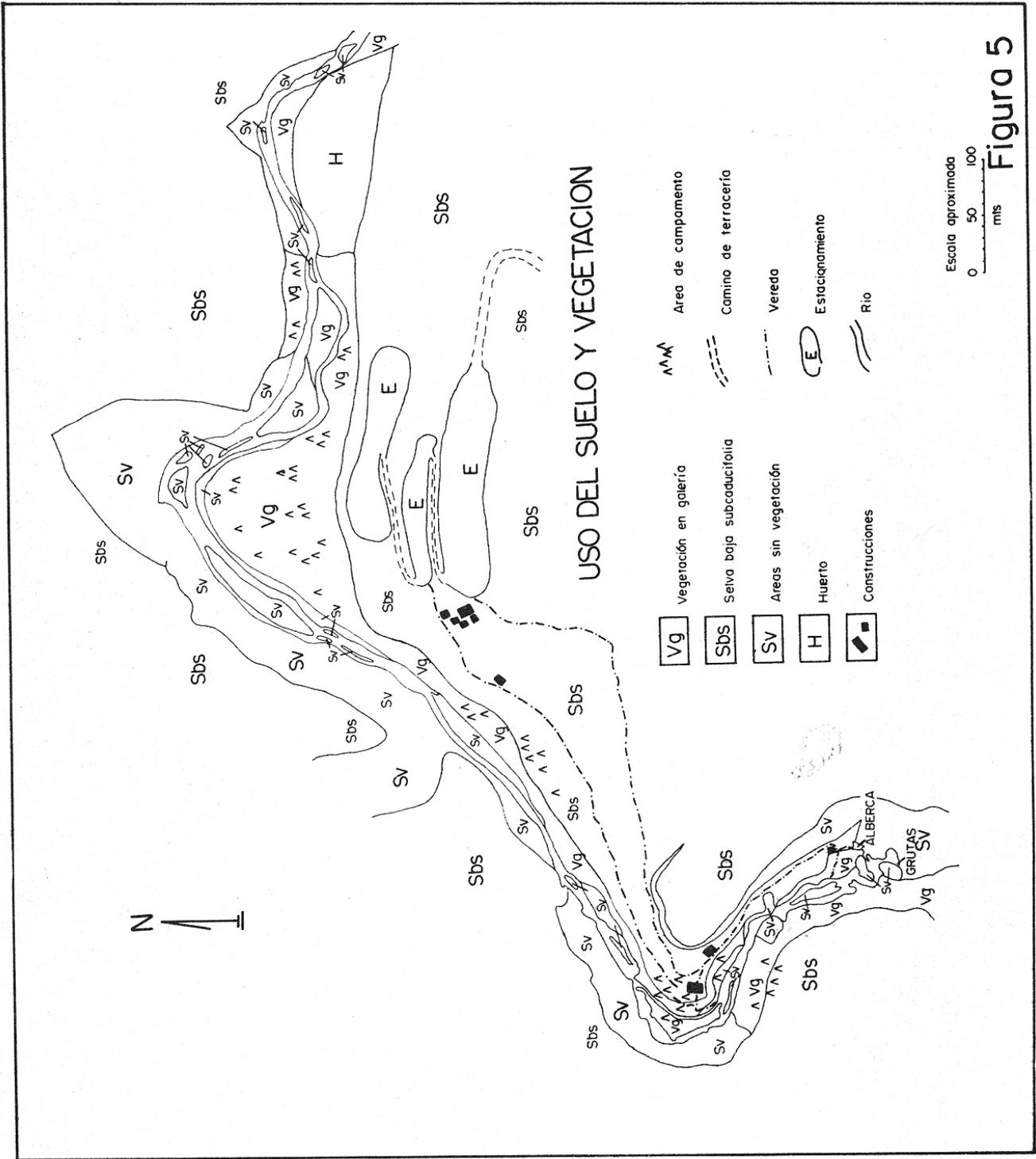


Figura 5

condiciones de humedad más propicias para el desarrollo de suelos y, consecuentemente, la vegetación es más densa. Sobre la margen izquierda de estos sectores las laderas reciben mayor insolación, lo que aunado al ataque lateral de la corriente fluvial y los procesos de remoción en masa ocasiona que la vegetación se encuentre más dispersa. Aunque diferente en densidad, la vegetación en ambos márgenes es de selva baja caducifolia, destacando entre sus elementos principales la chaca (*Bursera spp*), palo mulato (*Bursera simaruba*), viejito (*Cephalocereus senilis*), mezquite (*Prosopis sp*), huizache (*Acacia sp*), guamuchil (*Phithecollobium dulce*). Este tipo de vegetación cubre la mayor parte de las laderas que circundan al río Tolantongo en toda el área estudiada.

Otro tipo de vegetación, en este caso relacionado con la humedad proveniente del curso fluvial, ha sido considerado como vegetación en galería, destacando entre sus componentes, además de los antes mencionados, el amate (*Ficus sp*).

La densidad y desarrollo de esta vegetación es también variable, lo que se relaciona en este caso con la actividad fluvial que define áreas más y menos activas. En las primeras, la vegetación es menos densa y de menor talla, dado que las inundaciones torrenciales impiden su desarrollo. Así, la densa vegetación que se aprecia en el sector más cercano a las grutas, define laderas que comúnmente se encuentran exentas de la actividad fluvial torrencial, pero donde la humedad es suficientemente elevada como para permitir el desarrollo de árboles de talla importante.

También existen amplias zonas en donde la vegetación se encuentra virtualmente ausente debido a la intensidad de los procesos fluviales y gravitacionales, lo cual puede apreciarse mejor en la parte media de la zona en estudio, donde la velocidad de la pedogénesis (generación de suelos) es muy inferior a la de la morfogénesis (erosión-acumulación), lo que crea condiciones desfavorables al desarrollo de la vegetación (fitoinestabilidad, según Tricart y Kilian, 1982).

Las actividades agrícolas, dadas las condiciones topográficas y geomorfológicas en general, se restringen únicamente a una pequeña área correspondiente a un banco aluvial de sedimentos finos ubicado en el extremo oriente. En este caso, se produce, principalmente para fines de autoconsumo, maíz y algunos frutales como plátano, mango, aguacate, nogal, zapote, naranja y otros.

Por último, para el tipo de turismo que se lleva a cabo en la zona, que incluye sobre todo actividades de campismo, no se cuenta con infraestructura turística, salvo algunos vestidores, comedores y comercios. Las áreas destinadas a campamento se ubican principalmente en los sectores medio y alto del río (Fig. 5) y las vías de acceso son básicamente peatonales a partir de los estacionamientos situados en el sector central.

III. LA DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA

La zona ha sido dividida, para su mejor estudio, en cuatro sectores que son, de la parte alta a la baja del río: El Paraje, El Huamúchil, La Ortiga y El Chote (Fig. 6). Los criterios utilizados para dicha división se basan esencialmente en las distintas manifestaciones de los procesos geomorfológicos y en la escala de trabajo inicial (1:500). Así, mientras que el primer sector de los mencionados se distingue por la mayor ocurrencia de derrumbes y la casi total ausencia de depósitos aluviales, los demás sectores se caracterizan por diferentes grados y variedades de acumulación sedimentaria y remoción de detritos sobre sus laderas. Cabe indicar que, en general, la división utilizada coincide con la percibida por los lugareños, lo que representa cierta ventaja en el sentido de la eventual consideración de las recomendaciones emanadas de este estudio.

a. Sector El Paraje.

Corresponde este sector a la porción más alta del río Tolantongo en la zona considerada, a partir de las grutas hasta el punto de control topográfico 6 (Fig. 6). Es en este sector en donde resurgen las corrientes termales subterráneas, a través de una caverna de unos 40 m de longitud que corresponde a las Grutas de Tolantongo, mismas que constituyen el principal atractivo del lugar.

La dinámica de los procesos geomorfológicos en este sector se encuentra claramente relacionada con la topografía y con las condiciones litológicas. En primer lugar, es aquí en donde las laderas poseen las pendientes más abruptas, comúnmente de 90°, o, bien, cercanas a este valor, sobre todo en la margen derecha. Asimismo, el lecho fluvial posee en la porción más cercana a las grutas (puntos de control 1 al 3) numerosas rupturas de pendiente (Fig. 6).

Debido a lo anterior, desde el punto de vista fluvial, la corriente tiende a desarrollar principalmente un trabajo erosivo vertical, lo que explica la casi total ausencia de depósitos aluviales en el sector, dada la elevada competencia del río favorecida por la pendiente de su lecho. Lo anterior puede observarse en los perfiles transversales más cercanos a la gruta (Fig. 7, perfiles B,C,D,E). Los bancos aluviales que llegan a presentarse (Fig. 7, perfiles A,F,G, y H) muestran una acumulación aluvial heterométrica, resultado de la actividad torrencial del río. Así, con el aumento súbito del gasto (principalmente durante agosto y septiembre) los sedimentos removidos en grandes cantidades, son depositados a partir de la pérdida, también súbita, de la competencia fluvial, una vez que cesa la crecida, con lo cual el material se acumula sin clasificarse claramente. Por lo general, estos bancos aluviales son cubiertos durante las crecidas.

La dinámica fluvial, en diferentes puntos de este sector afecta notablemente la acción de los procesos gravitacionales sobre las laderas constituidas por calizas y lutitas plegadas. Los ejemplos más representativos de ello han sido registrados en los perfiles A y

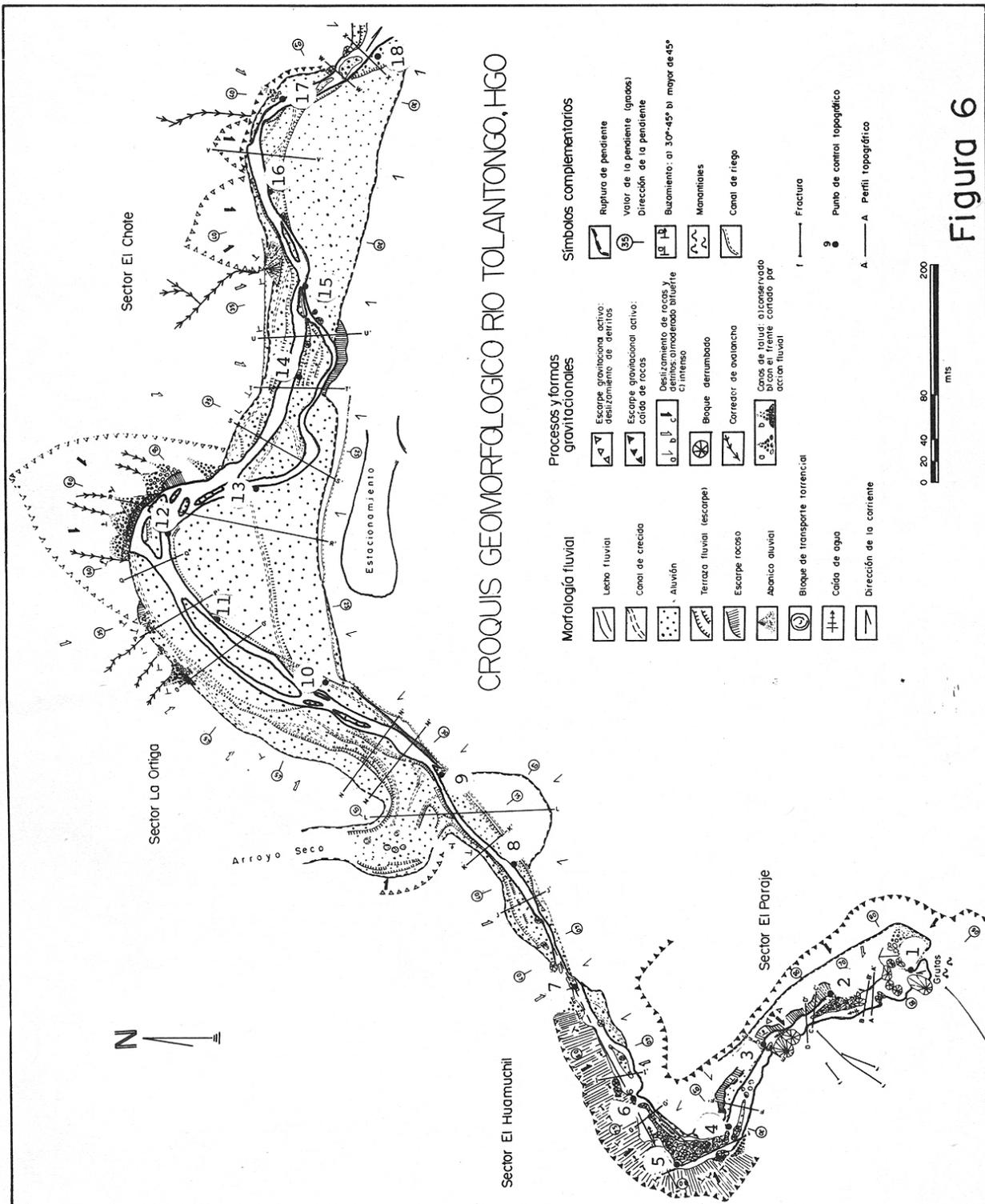


Figura 6

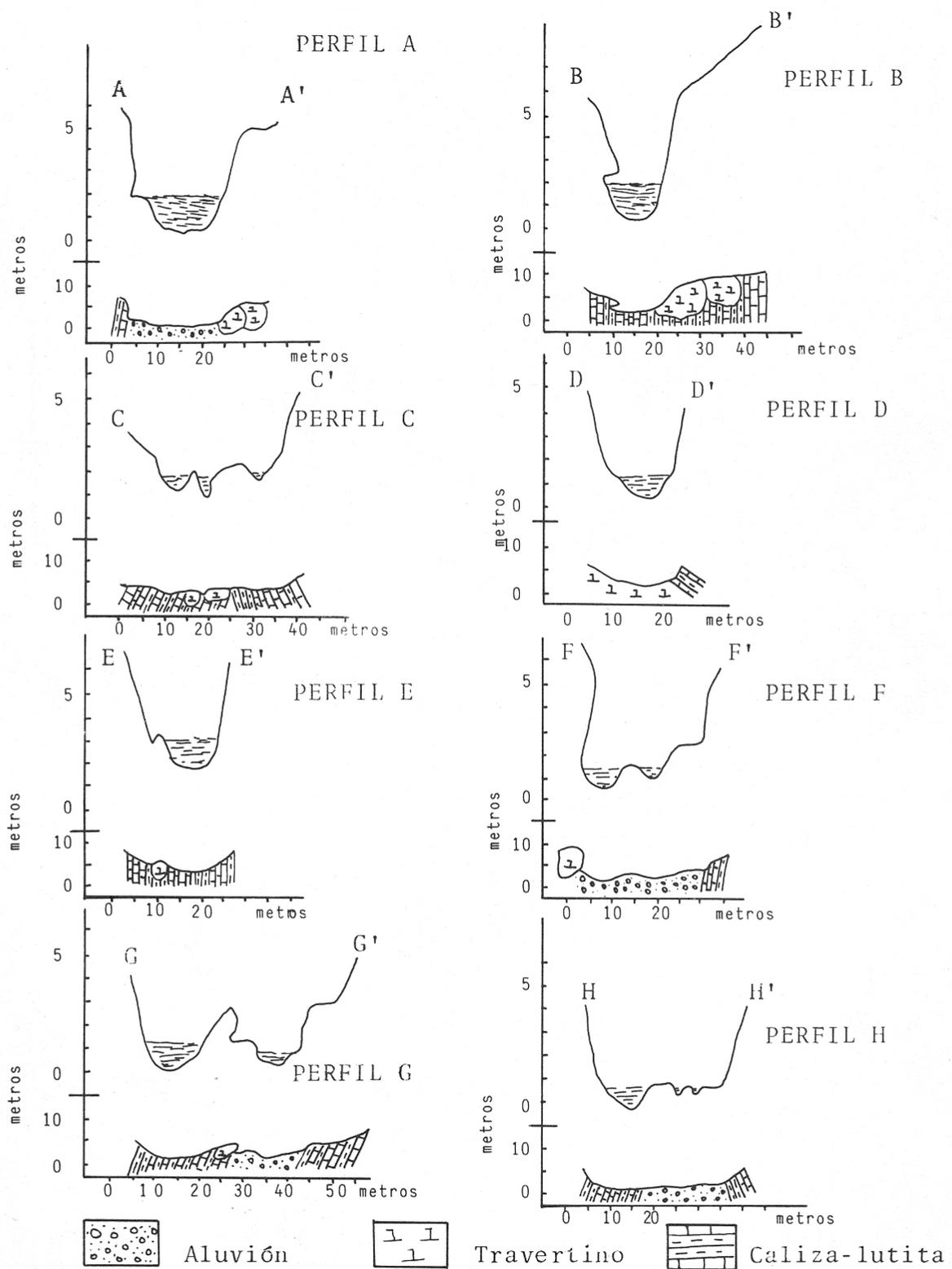


FIGURA 7. Perfiles topográficos y geol6gicos del sector El Paraje.

B (Fig. 7); en éstos se aprecian los estragos causados por la acción lateral del río sobre la margen izquierda, lo que a la larga tiende a debilitar la ladera y provocar derrumbes de consideración. Sin embargo, dadas las características litológicas, en el tramo comprendido entre los puntos de control 1 y 3 (Fig. 6) esta acción lateral no parece constituir actualmente un problema de consideración. Por el contrario, en el sector comprendido entre los puntos de control 4 y 6 (Fig. 6) se observa una actividad importante sobre las laderas, claramente relacionadas con la socavación lateral llevada a cabo por el río. En primer lugar, se trata de una margen exterior en una curvatura fluvial pronunciada. La desviación angular en la dirección de la corriente se debe al cruce de dos fracturas, una NW-SE y otra NE-SW; a lo largo de la primera se desarrolla la cañada que comprende propiamente al sector "El Guamúchil". En el cruce de ambas fracturas la actividad fluvial ha socavado eficazmente la base de la ladera provocando la aparición de un escarpe vertical coincidente con los planos de estratificación de calizas cuyo pronunciado buzamiento a favor de la pendiente facilita la remoción de rocas y detritos (Fig. 7, perfil G).

Otro proceso importante en el sector son los derrumbes provenientes de la unidad de conglomerado y travertino que bordea gran parte de la cañada, desde la zona de las grutas hasta el punto de control topográfico 6 (Fig. 6), abarcando la totalidad de la margen derecha.

Ya en esta década han sucedido derrumbes mayores. Uno de ellos se produjo en el contacto entre el conglomerado y la caliza subyacente, propiamente en la cabecera de la cañada (al SE del punto de control 1 (Fig. 6)). En este caso, la sobresaturación de agua en el contacto litológico explica el movimiento en masa. Dicho derrumbe cubrió buena parte de una alberca construida por los ejidatarios.

En septiembre de 1984 un bloque de grandes dimensiones se desprendió al SW del punto de control 1 (Fig. 6), cayendo justo frente a la entrada de la gruta. Los cambios en el flujo de la corriente proveniente de la citada gruta, debido a la semiobturación provocada por dicho bloque, ocasionaron, en agosto-septiembre de 1985, el derrumbe de nuevos bloques (el punto de control topográfico 1 fue desplazado debido a la socavación de base).

Por lo que puede observarse, en este sector el fenómeno de derrumbes no se circunscribe únicamente a los últimos años. Sobre el lecho fluvial puede observarse un sinnúmero de bloques de diverso tamaño provenientes de la unidad conglomerática (Fig. 7, perfiles A, B, C, E, F y G), algunos de los cuales han sido localmente transportados; ello da idea, por otro lado, de la magnitud de la competencia del río durante las crecidas.

Los mecanismos de modelado gravitacionales en esta unidad de conglomerado se derivan de su gran capacidad de infiltración, gracias a lo cual el agua disuelve los carbonatos cementantes y comienza a escurrir subsuperficialmente a lo largo de los planos de estratificación, debilitando la estructura. Se anuncian, así, futuros derrumbes

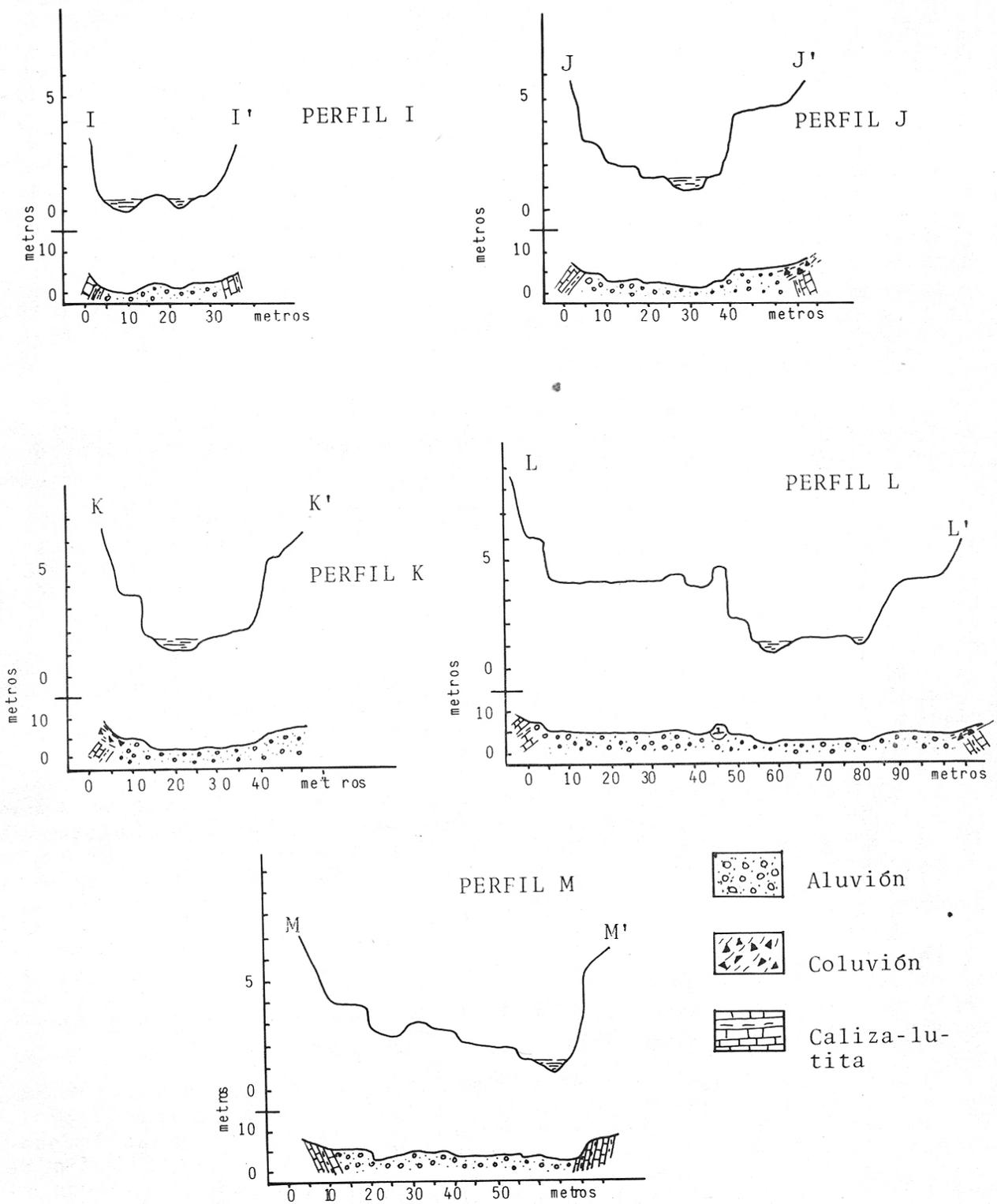


FIGURA 8. Perfiles topogr3ficos y geol3gicos del sector El Huam3chil.

Desde el punto de vista de los procesos gravitacionales sobre las laderas, también se observan diferencias notables con respecto al sector anterior, aunque siguen apreciándose bloques derrumbados provenientes de la unidad de conglomerado y travertino, principalmente entre los puntos de control 7 y 6 (Fig. 6). Se manifiestan deslizamientos de detritos (principalmente de lutitas), más importantes sobre las laderas de la margen izquierda que sobre la derecha. Ello se debe a que la vegetación sobre esta última margen es sensiblemente más densa que en la primera, lo que se deriva, en parte, de la orientación y el hecho de que el conglomerado situado al SE del sector aporta humedad subsuperficial gracias a su gran capacidad de infiltración, permitiendo, así, la aparición de suelos más desarrollados. Otra diferencia notable con respecto al sector anterior, es la pendiente de ambas vertientes, considerablemente menor, lo que contribuye al cambio en el comportamiento de los procesos gravitacionales.

c. Sector La Ortiga.

Es en este sector (Fig. 6) en donde las formas acumulativas alcanzan su máximo desarrollo dentro de la zona estudiada, debido al comportamiento meándrico del río (Fig. 9).

Entre los puntos de control 9 y 11 (Fig. 6) pueden apreciarse, sobre la margen izquierda, distintos niveles de terraza que atestiguan diferentes crecidas del río (Fig. 9, perfil N) que fueron moderando los sedimentos aportados por el Arroyo Seco; también esto se observa en el perfil M (Fig. 8) en el sector El Guamúchil. La altura de la terraza más alta es de unos 3 m sobre el canal de estiaje; dicha terraza se prolonga alrededor de 200 m, hasta la altura del punto de control 11 (Fig. 6). En toda esta porción, entre los puntos de control 9 y 11 (Fig. 6) el río se encuentra bordeado por bancos aluviales (Fig. 9, perfiles N, O, P y Q) y presenta un patrón anastomosado que, en realidad, se continúa a lo largo de todo el sector.

A la altura del punto de control 12 (Fig. 6), lugar en donde el río describe una curvatura pronunciada, los depósitos aluviales sobre la margen exterior (izquierda) desaparecen debido a la mayor competencia de la corriente. Se presenta, entonces, una margen erosiva de ataque, entre los puntos de control 12 y 13 (Fig. 6), que provoca inestabilidad en la ladera dando lugar a una intensa actividad gravitacional (Fig. 9, perfil R). Dicha actividad se traduce en la formación de conos de talud formados por bloques, de tamaño considerable, y detritos menores que son removidos por el río en las posteriores crecidas. A partir del punto de control 13 (Fig. 6), el río vuelve a discurrir entre bancos aluviales.

Sobre la margen derecha, formando básicamente la porción interna del meandro, pueden definirse también terrazas (Fig. 9 perfil R) que atestiguan las distintas etapas de acumulación y las inundaciones que llegan a afectar al lóbulo del meandro. Con el fin de evitar estas inundaciones periódicas, los ejidatarios levantaron el nivel de la margen fluvial derecha entre los puntos de control 10 y 11 (Fig. 6), para evitar el desbordamiento y contar con un área más extensa para campamento. El levantamiento del nivel de esta margen

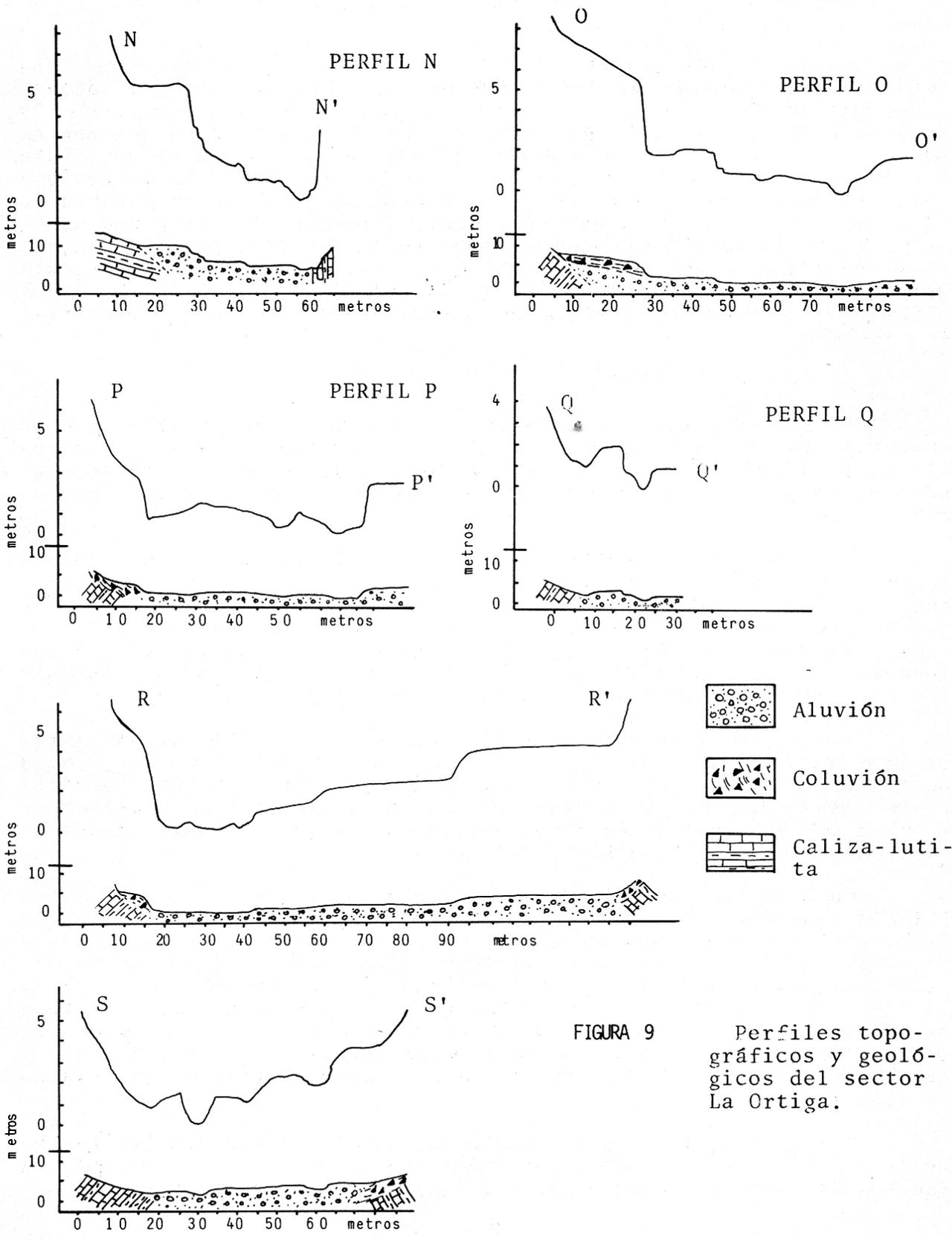


FIGURA 9

Perfiles topogr3ficos y geol3gicos del sector La Ortiga.

se llevó a cabo mediante la acumulación de rocas, con maquinaria pesada.

Desde el punto de vista de los procesos gravitacionales y formas derivadas, además de los provocados directamente por la socavación lateral del río, ya mencionados, se presentan conos sobre la margen izquierda (Fig. 9, perfiles O y P), a la altura de los puntos de control 11 y 12 (Fig. 6), desarrollados en la ruptura de pendiente y gracias al aporte de material a lo largo de corredores de avalancha. Es importante, en resumen, la actividad gravitacional sobre la totalidad de la margen izquierda, acentuándose en la curvatura meándrica y siendo considerablemente menor en la derecha, por las razones de orientación y pendiente, entre otras, ya referidas. Sobre esta margen, a partir de la dinámica gravitacional tan activa, la SEDUE (1984) ha sugerido la siembra de especies nativas para estabilizar la ladera.

d. Sector El Chote.

Se presentan, en general, condiciones semejantes al sector anterior; las formas acumulativas aluviales poseen un amplio desarrollo y las formas y procesos gravitacionales se encuentran relacionados con la socavación de base de las laderas llevadas a cabo por el río (Fig. 6).

El elemento más destacado del sector lo constituye una importante acumulación aluvial dispuesta sobre la margen fluvial derecha, entre los puntos de control 15 y 18 (Fig. 6). A diferencia de los bancos aluviales descritos hasta ahora, en este caso se presenta una capa superficial de sedimentos finos que ha permitido contar con una zona de cultivo importante para los lugareños y que, además, durante las crecidas se encuentra exenta de la acción fluvial.

Aguas arriba de este depósito aluvial, los bancos muestran toda una serie de terrazas producto, como en casos anteriores, de la acción erosiva fluvial llevada a cabo durante las crecidas de diferente magnitud (Fig. 10 perfiles T y U). El exceso de material en transporte, que aquí se ha acumulado, hace que la corriente tienda al anastomosamiento en gran parte del sector.

Como en el sector La Ortiga, la sinuosidad descrita por la corriente ocasiona la aparición en la margen externa (izquierda), a la altura del punto de control 17 (Fig. 6), de un escarpe erosivo debido a la socavación de base sobre la ladera (Fig. 10, perfil V). Dicha socavación provoca la inestabilidad de un amplio sector de la ladera, que se traduce en una intensa remoción de detritos y la formación de un talud coluvial que constituye una importante fuente de sedimentos. Todo ello se ve favorecido, además, por la pendiente y orientación de la ladera, que ocasiona un comportamiento disperso de la vegetación.

Por último, como en el sector anterior, son comunes los corredores de avalancha, mismos que constituyen un rasgo de interés en función del aporte de sedimentos a la llanura de inundación.

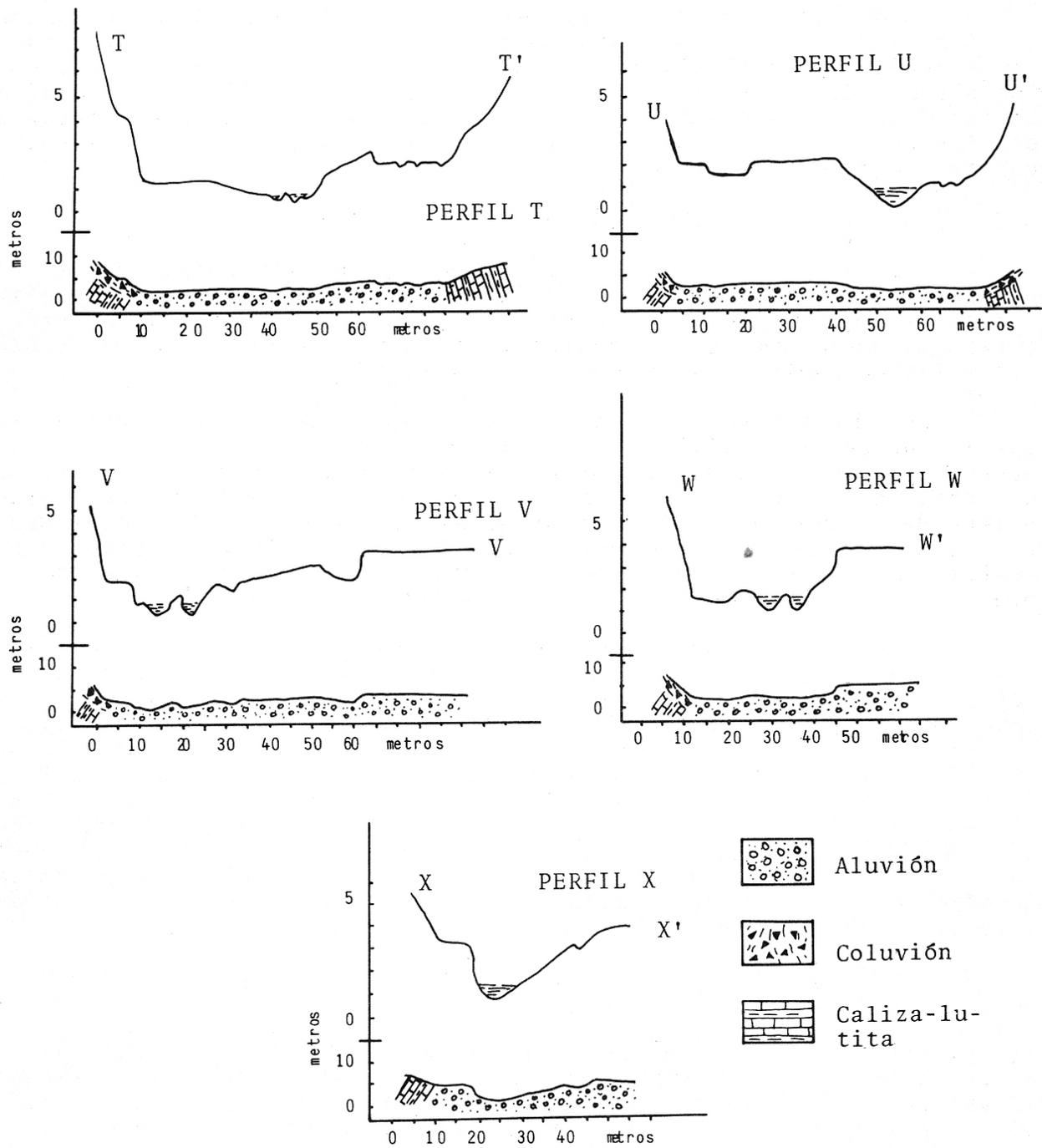


FIGURA 10 . Perfiles topogr3ficos y geol3gicos del sector El Chote.

Como puede apreciarse en general, los procesos de modelado de las formas del relieve más importantes por su frecuencia e intensidad corresponden a los fluviales y gravitacionales, en algunos casos, estos últimos determinados por los primeros. Dada su distribución y la ubicación de las áreas turísticas más frecuentadas, se hace necesario considerar una serie de alternativas que permitan a los paseantes contar con mayor seguridad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez reconocidos los procesos de modelado y las formas del relieve derivadas, presentes en la zona de interés turístico, y definidas las causas que rigen su dinámica, se hacen necesarias alternativas que permitan, en lo posible, atenuar efectos negativos tanto sobre los paseantes como sobre los lugareños.

Por lo tratado en los capítulos anteriores puede apreciarse que los procesos fluviales y de remoción en masa, que afectan actualmente a la zona turística estudiada, son resultado de la evolución geomorfológica normal en la que el hombre no ha participado. Esto quiere decir que los derrumbes actuales, por ejemplo, son consecuencia de la inestabilidad provocada por la conjunción de diversos elementos naturales que en este momento hacen que el fenómeno se presente con mayor frecuencia e intensidad.

Dentro de los aspectos que han definido el comportamiento actual de los procesos geomorfológicos se encuentran la litología, la posición geológico-estructural de los estratos, la pendiente, la vegetación, la orientación de laderas y la acción hídrica y fluvial.

De la acción conjunta de dichos aspectos se derivan fundamentalmente los riesgos de carácter geomorfológico en el área, entendiéndose como tales los procesos del relieve y formas derivadas que afectan, de manera media o inmediata, la actividad humana. Dichos riesgos quedan englobados en dos grupos: los fluviales, básicamente inundaciones, y los gravitacionales, representados por la caída de rocas y el deslizamiento de detritos (Fig. 11).

El riesgo fluvial se deriva básicamente de las condiciones generales de la cuenca alta. Las condiciones de impermeabilidad debidas a la litología, vegetación y uso del suelo, aunadas a la torrencialidad de las lluvias, impiden la infiltración y favorecen el escurrimiento en gran escala. Estas condiciones hacen prácticamente imposible la disminución del gasto en el río, por lo que las alternativas se reducen, en la zona de estudio, a la delimitación de aquellas áreas afectadas comúnmente durante las crecidas, y a la ubicación temporal de dicho fenómeno con el objeto de permitir o no algunas actividades del paseante, como sería, básicamente, pernoctar en áreas sujetas a este riesgo, durante los meses lluviosos (agosto-septiembre). A este respecto, pueden observarse áreas exentas de inundación y áreas afectadas durante las crecidas. Se sugiere, entonces, el uso alternado de dichas áreas, según la temporada del año, lo que no mermaría el turismo, dado que la época de mayor

afluencia es precisamente la temporada seca (noviembre-mayo), y sí brindaría mayor seguridad al paseante. En este renglón, el sector El Guamúchil, La Ortiga y El Chote presentan áreas extensas sin riesgo de inundación; la desventaja de ofrecer alternativas de campamento en estos sectores es la distancia que se debe recorrer hasta las grutas (principal atractivo del lugar) y la falta de un acceso directo, a lo largo del río, hasta las mismas.

El problema representado por los procesos gravitacionales es, como el anterior, de difícil solución, por lo que las alternativas que se sugieren van encaminadas a la adecuación de la actividad del paseante a la intensidad y ubicación de este proceso en el área.

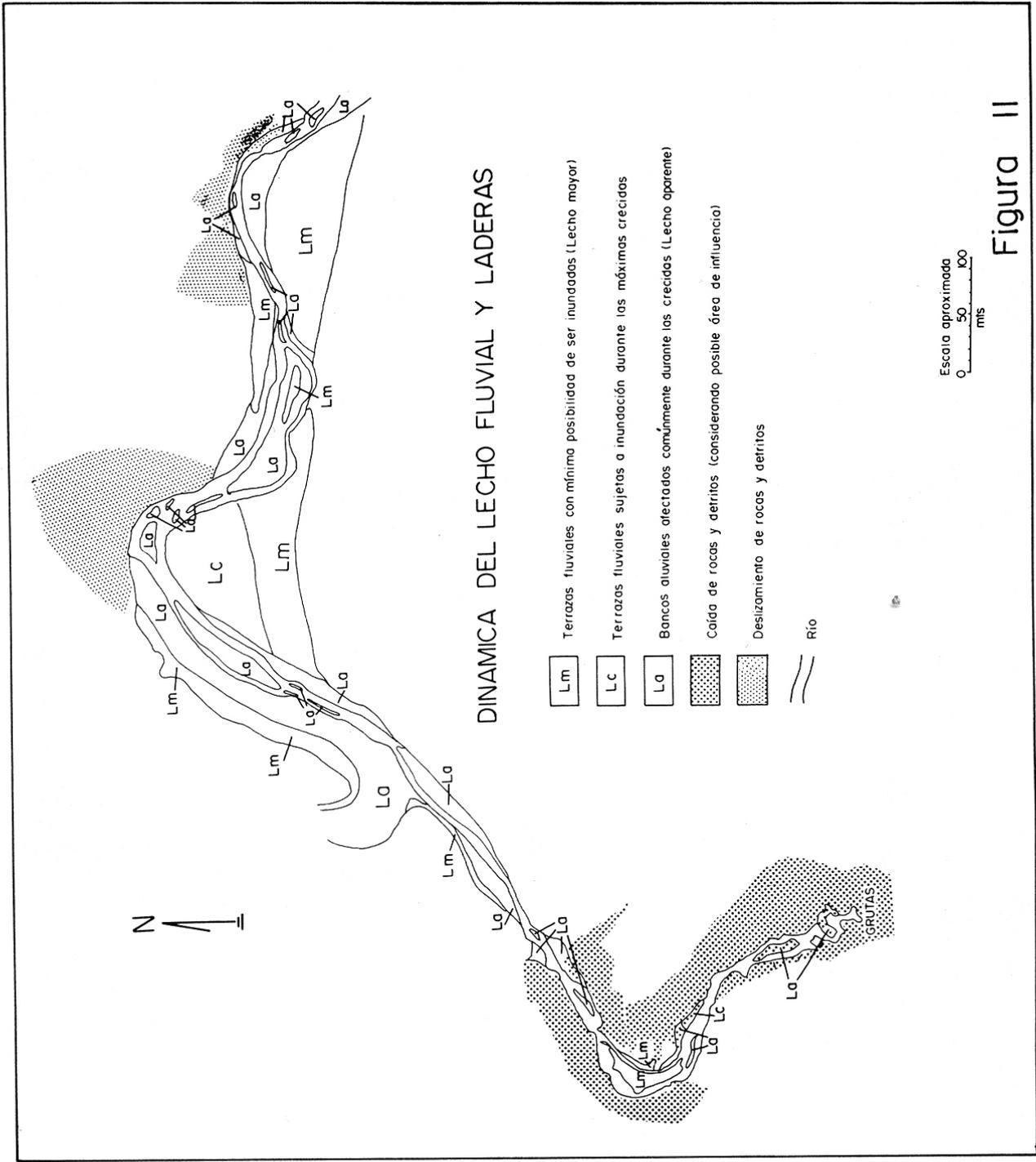
Los procesos gravitacionales se dividen en dos grupos: la caída de rocas y el deslizamiento de detritos; dichos fenómenos se encuentran relacionados con la disolución de carbonatos y la acción fluvial.

En el caso de la caída de rocas, el fenómeno constituye un serio problema en los alrededores de las grutas; es decir, en el área más frecuentada por los paseantes (Fig. 11). Es esta zona (sector El Paraje), sobre todo en la margen derecha del río, incluyendo la vía de acceso desde el estacionamiento, donde el riesgo de afectaciones por derrumbes es más alto, dada la presencia del conglomerado en escarpes fracturados y activos. La margen izquierda parece estar menos expuesta a dicho fenómeno. Por lo anterior, es recomendable reducir en lo posible el tiempo de permanencia a lo largo del sector El Paraje que es, sin duda, el más visitado. Esta reducción en el tiempo de estancia es aconsejable al menos en la época de lluvias, cuando los derrumbes son más factibles debido a la saturación y consecuente sobrepeso en la estructura escarpada del conglomerado. Asimismo, en las temporadas de lluvias podría restringirse el pernoctar en esta área, pudiéndose utilizar para esos fines las áreas exentas de peligro de los tres sectores restantes, o, bien, dentro del sector El Paraje, en las terrazas de campamento ubicadas en el ejido La Mesa (margen izquierda del río en el sector El Paraje). Es importante insistir en este punto, dado el gran número de personas que pernoctan en este sector en el que, además, se ubican comedores y sanitarios.

Por otro lado, hay que hacer notar que, aunque en contados casos, algunas de las terrazas de campamento en este sector no están exentas de una eventual crecida del río.

El deslizamiento de detritos asociado a la socavación de base causada por el río ciertamente no conlleva riesgos inmediatos, aunque sí puede ocasionar algunos problemas a futuro, básicamente en los sectores La Ortiga y El Chote. A diferencia de los procesos antes referidos, en este caso sí existe participación antrópica.

Los ejidatarios introdujeron modificaciones a la margen derecha del río, a la altura de los puntos de control 10 y 11 (Fig. 6, sector La Ortiga). Dichas modificaciones se llevaron a cabo con objeto de evitar inundaciones en el lóbulo del meandro y contar con una superficie más amplia para campamento. Objetivamente, esta modifica-



ción impide el flujo de agua a través de canales de crecida, entre las barras de meandro, a lo largo del lóbulo y, consecuentemente, el gasto se concentra sobre el lecho normal únicamente. Esto ha ocasionado el aumento de la competencia del río y, asimismo, de la capacidad erosiva sobre la margen externa del meandro (entre los puntos de control 12 y 13, Fig. 6), lo que es causa de la incorporación de sedimentos que componen a los conos de talud en dicha porción (sector La Ortiga) y, en general, de la inestabilidad de la ladera. Dado que buena parte de los bloques incorporados a la corriente son de tamaño y peso considerables, éstos son transportados localmente, ocasionando que el lecho se vuelva cada vez más somero, lo que lleva implícito el aumento del riesgo a inundación, tanto de zonas de campamento como de la cultivada en el sector El Chote. Por tanto, es aconsejable la consideración de una serie de alternativas en aquellas laderas erosivas que aportan cantidades importantes de sedimentos. Es de interés asentar que la inestabilidad de estas laderas debe atacarse en su origen, es decir, en la socavación llevada a cabo por el río. La siembra de especies nativas sobre la superficie inestable, sugerida como solución, es una medida que de ninguna manera acabaría con el problema, toda vez que ataca la consecuencia del mismo, no su causa.

En primer lugar, debe considerarse la restitución de las condiciones originales en el lóbulo meándrico, entre los puntos de control 10 y 11 (Fig. 6); es decir, reabrir los canales de crecidas obturados con rocas. Si observamos el perfil R (Fig. 9) puede apreciarse a partir del río, sobre la margen derecha (a la derecha en el perfil), tres niveles de terraza. Los dos primeros se ven afectados durante las crecidas en la temporada de lluvias. La tercera terraza está prácticamente exenta de dichas crecidas y posee una superficie suficiente para dar cabida a los paseantes durante esa época (agosto-octubre), gozando de completa seguridad.

Por otro lado, puede considerarse la construcción de gabiones laterales a partir de las márgenes de ataque, con el objeto de impedir que el río remueva sedimentos de la ladera (Fig. 12). El costo de construcción de estos gabiones sería mínimo, toda vez que se requiere únicamente de rocas y malla de alambre, aunque es necesaria la asesoría de un ingeniero familiarizado con su edificación.

Como se mencionó en su oportunidad, las medidas sugeridas intentan adecuarse a las posibilidades económicas de los lugareños; su objetivo es brindar una alternativa a los problemas planteados por la dinámica de las formas del relieve y reducir, en lo posible, sus efectos negativos sobre el paseante y el lugareño. A este respecto, la cartografía geomorfológica detallada constituye una herramienta de gran utilidad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los ejidatarios de San Cristóbal Tolantongo su cooperación en la realización del presente trabajo.

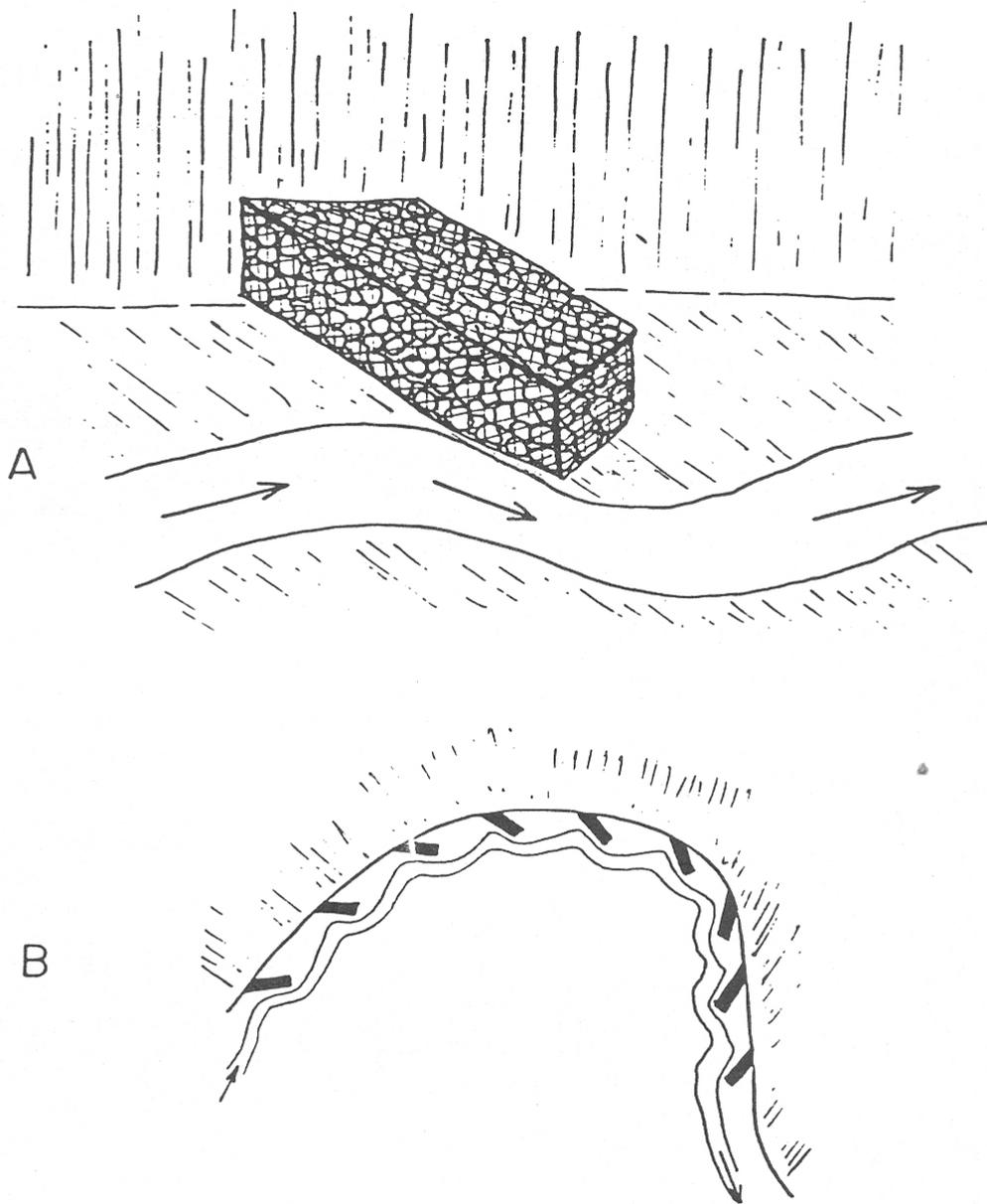


Figura 12. Gabiones. A) Se observa la posición del gabi6n lateral sobre la margen erosiva; la corriente se desvía y se elimina la socavaci6n lateral y el flujo de sedimentos. B) Vista en planta de una serie de gabiones laterales en una margen erosiva

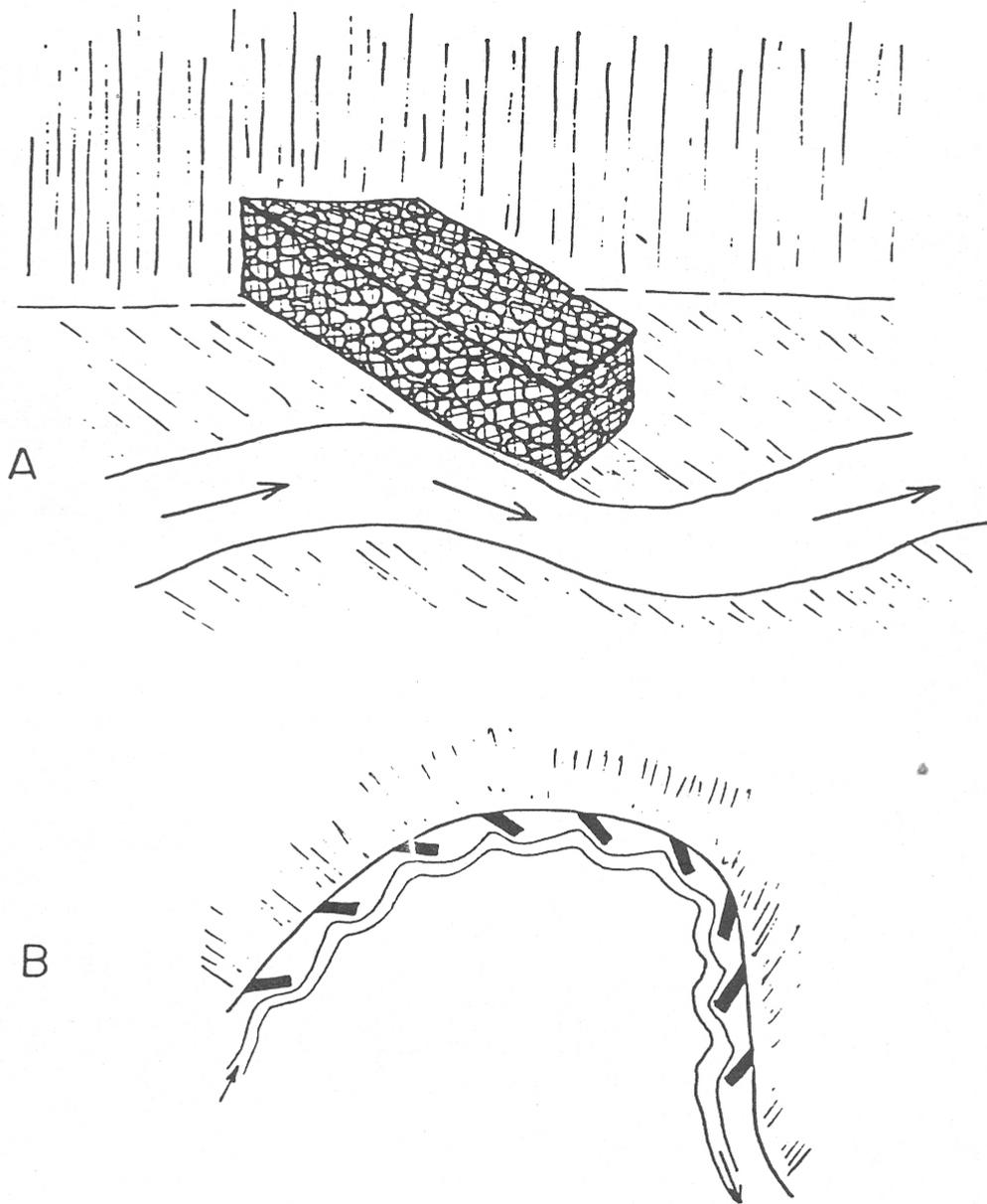


Figura 12. Gabiones. A) Se observa la posición del gabi6n lateral sobre la margen erosiva; la corriente se desvía y se elimina la socavaci6n lateral y el flujo de sedimentos. B) Vista en planta de una serie de gabiones laterales en una margen erosiva

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cooke, Ronald U. y John C. Doornkamp. 1974. Geomorphology in environmental management. Oxford: Clarendon Press.
- Howard, Arthur David y Irwin Remson 1978. Geology in environmental planning. New York: Mac Graw-Hill.
- Leopold, Luna Bergère. 1969. Landscape esthetics. Natural History, Oct. : 36 - 45.
- Owen, Oliver F. 1977: Conservación de recursos naturales. México: Pax-México.
- Palacio Prieto, José Luis 1985. El croquis geomorfológico: una alternativa en geomorfología. Serie Divulgación Geográfica, Instituto de Geografía.3.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Delegación estatal Hidalgo. 1984. Propuesta de conservación y aprovechamiento de las grutas de Tolantongo y su entorno. México: Delegación estatal.
- Segerstrom, Kenneth. 1963. Geology of South Central Hidalgo and Northeastern Mexico, Mexico. Geological Survey Bulletin, 1104-C: 87-162.
- Tricart, Jean L.F. y Jean Kilian, 1982. La ecogeografía y la ordenación del medio natural. Barcelona: Anagrama.

CARTOGRAFIA

- Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1983. Carta geológica 1:250 000. Hoja Pachuca, clave F-1411. México: el Instituto.
- _____ 1983. Carta de hidrología superficial 1:250 000. Hoja Pachuca, clave F-14-11. México: el Instituto.