

LA ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS Y SU APLICACIÓN EN ÁREAS DE ALTA MONTAÑA

David Palacios¹ y Javier de Marcos²

1.- Introducción

La cartografía geomorfológica aporta a la representación de las formas del relieve una explicación genética, combinando la expresión gráfica de los factores estructurales, características litológicas y disposición tectónica de las rocas con los resultados del modelado de los agentes de la meteorización. Los mapas geomorfológicos, además de explicar cómo se originaron las formas del relieve, deben indicar su secuencia cronológica, distinguiendo especialmente las formas que se están elaborando en la actualidad de aquéllas que son heredadas. Numerosos modelos cartográficos han tratado de aportar soluciones concretas a la difícil tarea de expresar gráficamente estos tres criterios: la estructura, la morfogénesis y el tiempo, aplicados a un mismo espacio.

La elaboración de un mapa geomorfológico concreto, permite delimitar áreas donde los procesos geomorfológicos son activos y conocer sus condicionantes morfoestructurales y morfogenéticos. Según las características de esos procesos se puede deducir la posibilidad de riesgos geomorfológicos para la actividad humana. En el presente trabajo se defiende la posibilidad y utilidad de una cartografía de riesgos

geomorfológicos de tipo cualitativo, donde se indica el tipo de proceso que puede generar el riesgo. Esta cartografía es complementaria a otra cuantitativa, basada en las posibilidades estadísticas de riesgo. La cartografía cualitativa de riesgos geomorfológicos resulta una importante ayuda en la toma de decisiones de la planificación territorial.

Cada espacio puede exigir la elaboración de un sistema propio de expresión, en función de sus características geográficas. Por ejemplo, los espacios de alta montaña son áreas donde los procesos geomorfológicos tienen una actividad intensa y, con frecuencia, adquieren carácter catastrófico.

En la primera parte del presente trabajo se exponen algunos de los modelos cartográficos más difundidos. En una segunda parte haremos una reflexión acerca de la metodología desarrollada y adaptada a las exigencias de las características geomorfológicas peculiares de las áreas de alta montaña. Como ejemplo de lo anteriormente expuesto se han seleccionado dos áreas de montaña muy contrastadas, una sierra templada granítica -el Macizo Central de Gredos- y unos grandes estratovolcanes tropicales -los volcanes mexicanos del Popocatepetl y Citlaltépetl-; sobre

1.- Departamento de A.G.R. y Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid

2.- Geotecma, S.L. Técnicos Ambientales

ellas se experimenta la expresión cartográfica de aquellos hechos geomorfológicos que se consideran esenciales.

2.- Características generales de la cartografía geomorfológica

La Geomorfología, como disciplina científica, tiene por objeto el reconocimiento, la clasificación y la explicación de las diferentes configuraciones que presenta la superficie externa de la litosfera, de cuya combinación resulta el relieve terrestre. (Muñoz, J. 1992). La plasmación gráfica de las múltiples formas, edad, material y procesos que han intervenido en su configuración, resulta necesariamente un trabajo complejo como fiel reflejo de la complejidad de la propia disciplina. (Tricart, J. y Kilian, J. 1982).

Consecuencia directa de esta dificultad es la propia definición de "mapa geomorfológico", existiendo diferentes definiciones en función de la amplia variabilidad en la formación de los autores y de la aplicación concreta a la que va destinada la cartografía. En síntesis, se puede entender que el mapa geomorfológico *"es un documento gráfico en el que están representadas de forma sintética todas las formas del relieve de una región. Se trata de una interpretación subjetiva del paisaje geomorfológico pero debe ser fácilmente referenciable sobre el terreno. El mapa debe incluir la representación de las formas del relieve, de modo individual o formando unidades territoriales, la génesis de los procesos, la evolución de las formas y el grado de equilibrio dinámico. La representación se hará a una escala adecuada con la textura del relieve y con la finalidad concreta de la repre-*

sentación, siguiendo a ser posible una metodología o normas generales". (Peña, J. 1995).

A pesar de los recientes y continuados intentos de sistematizar la elaboración de mapas geomorfológicos por diferentes equipos e instituciones científicas, en la actualidad aún no se cuenta con un método único para su realización. Aunque se puedan apreciar ciertos rasgos básicos que articulan la mayor parte de los mapas geomorfológicos, sin embargo predominan las adaptaciones personales o de cada equipo investigador en función de las necesidades propias del estudio.

- Un ejemplo de modelo cartográfico es el **mapa geomorfológico de Europa**, realizado a escala 1:2.500.000 mediante la leyenda propuesta por la Unión Internacional de Geomorfología (UGI). Este mapa se articula en torno a tres aspectos:
 - Tipos de relieve, organizados en cinco tipos altitudinales (0-30 m, 30-75 m, 75-300 m, 300-600 m, superiores a 600 m).
 - Relieves con base morfoestructural, subdivididos en subaéreos (de denudación, volcánicos, de deposición y mixtos erosión-sedimentación) y submarinos.
 - Formas especiales, diferenciando entre subaéreas (endógenas y exógenas) y submarinas.
- En el caso del **mapa geomorfológico de Francia**, el método propuesto se apoya en una serie de documentos:
 - Clasificación de los datos a representar en los mapas geomorfológicos, que está adaptada a las escalas del 1:20.000 y 1:50.000.
 - Anotación codificada que permite almacenar las observaciones recogidas (infor-

mación), sin tener que recurrir al vocabulario usual (que es confuso, impreciso e incluso contradictorio).

- Leyenda indicando los tipos de símbolos cartográficos correspondientes a los elementos de la anotación codificada, acompañada de una explicación de los criterios que permiten la identificación de las distintas unidades.

La leyenda gráfica de este mapa se articula de acuerdo a los siguientes contenidos:

1. Contexto estructural.

A. Tipo de región estructural: macizo antiguo, cobertera de zócalo, cordillera de plegamiento, piedemonte molásico y acumulación volcánica. La variable visual utilizada para representar este aspecto es el color.

B. Litología: la representación se descompone en dos: un signo que define el tipo de roca (letra); y una trama que indica el grado de cohesión.

C. Tectónica: disposición tectónica local y accidentes tectónicos, representados también por medio de signos determinados.

2. Contexto morfo-genético.

A. Sistemas morfo-genéticos: acciones marinas y litorales, acciones fluviales, acciones glaciares, dominio periglacial húmedo, dominio periglacial seco, dominio templado húmedo, dominio templado seco, dominio tropical y subtropical húmedo, dominio tropical y subtropical seco. La representación debe permitir diferenciar la aparición de sucesivas generaciones de formas, haciendo posible la percepción de la forma más reciente

antes que la más antigua. Para ello se opta por el uso de la variable visual valor, jerarquizando la intensidad del color.

B. Edad: cuando el uso de intensidades de color no permite distinguir más variantes de un sistema morfo-genético, pueden introducirse símbolos.

3. Formaciones superficiales. Representada mediante símbolos.

A. Origen del material y procesos de preparación: formaciones residuales, arenización, disgregación granular, esponjadura, fragmentación dirigida o mecánica.

B. Granulometría: tipos (bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas), proporción y composición de la matriz.

C. Consolidación: tipo (superficial débil, fuerte y general, en profundidad, etc.), naturaleza del cemento, espesor y morfo-scopia.

4. Formas del terreno representadas mediante símbolos

A. Formas endógenas: derivadas del volcanismo, tectónicas originales, estructurales y pseudo-estructurales, elementos subordinados del relieve volcánico.

B. Formas debidas a los agentes externos: vertientes, interfluvios, acciones eólicas, acciones fluviales, acciones litorales, marinas y lacustres, fenómenos kársticos, dominio glacial; dominio periglacial o crionival, dominios cálidos y secos.

- Otro modelo cartográfico de amplia difusión es el sistema del **International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences**

(ITC). Desarrollado en Holanda desde los años 40, define una cartografía sin normas rígidas y con una leyenda abierta y utilizable a cualquier escala.

Presentan varios tipos de cartografía:

1. Cartografía analítica, basada en la génesis como factor principal y estableciendo un orden jerárquico de la información:

- Morfografía: representada en forma de unidades geomorfológicas o símbolos lineales, en función de la escala.

- Morfogénesis: expresada mediante símbolos en color, agrupados en clases (estructural, volcánico, denudatorio, fluvial, lacustre-marino, glaciar, periglacial, eólico, kárstico y antropogénico-biológico).

- Morfoestructura-litología: indicado mediante tramas reticuladas de color gris o marrón claro.

- Morfometría: mediante la inclusión de curvas de nivel y cotas determinadas.

- Morfocronología: mediante letras que indican la edad.

2. Cartografía sintética, basada en el concepto de paisaje, incluyendo información geomorfológica, hidrológica, de suelo, vegetación y usos.

3. Mapas geomorfológicos pragmáticos de aplicación específica, fundamentalmente orientados a riesgos naturales (zonificación de áreas de riesgo, inundaciones, sísmicos, volcánicos, de montaña, de sequía, etc.).

Otros sistemas cartográficos con cierta difusión son los siguientes:

- **Mapas geomorfológicos polacos.** Desde mediados de siglo una serie de instituciones polacas y sobre todo el profesor Klimaszeski

desarrollan una intensa labor cartográfica con una marcada línea aplicada, centrandó su realización en escalas 1:50.000 y 1:25.000.

Mapas geomorfológicos rusos. Sistema desarrollado a mediados de los años 60, donde se establece la leyenda para las escalas 1:50.000 y 1:25.000. Se representan dos grupos de formas: las familias (en colores o sombras) y las formas simples (mediante símbolos y colores que indican génesis y actividad).

- La producción de **cartografía geomorfológica en España** tiene un claro sentido local, debido a la elaboración de la misma por diferentes investigadores o equipos de investigación relacionados con una zona concreta en la que centran su actividad. En consecuencia, existe abundante material cartográfico que, por lo general, está realizado en función de las características del territorio estudiado y de los objetivos de la investigación, presentando una ausencia de criterios comunes en su elaboración.

2.- Cartografía cualitativa de riesgos en alta montaña

La alta montaña es el ámbito geográfico donde los procesos geomorfológicos desarrollan una mayor actividad. Muchos de estos procesos están íntimamente ligados a la actividad tectónica que dan, o dieron, origen a la propia morfología montañosa. Así, se puede observar que el material triturado por las fallas facilita enormemente los procesos de erosión, y que la disposición de los estratos y, en general, de masas de roca dislocadas por la orogenia crea situaciones de alta inestabilidad. A la vez es preciso mencionar la importancia de la actividad endógena directa, ya sea sísmica o volcánica, que puede ser la

causa del desencadenamiento de grandes procesos catastróficos.

Otros procesos son consecuencia de la intensa deglaciación holocena que afecta a todos los sistemas montañosos terrestres. Los glaciares acarrean grandes masas de sedimentos que, en determinadas situaciones, se convierten en altamente inestables cuando los hielos desaparecen. Las morrenas laterales constituyen cordones en contra-pendiente que cortan laderas, normalmente muy inclinadas, y las morrenas frontales cierran valles, impidiendo la libre circulación de las aguas. Con la retirada del hielo, las laderas sufren un intenso proceso de descompresión, que facilita notablemente la aceleración de los procesos erosivos.

Los cambios bruscos de temperatura en el entorno de los 0°C genera, en alta montaña, una eficaz herramienta erosiva: la gelifracción, que arranca materiales de las paredes y los deposita en grandes taludes de gravedad. La nieve puede ser un sistema importante de transporte a través de la formación de grandes avalanchas. En cualquier caso, la nieve distribuye el agua en el sistema montañoso y facilita la organización de un drenaje torrencial sumamente agresivo en los periodos de deshielo. Las fuertes pendientes y la abundancia de materiales sueltos sobre las laderas facilitan la formación de movimientos en masa, ya sean deslizamientos, coladas de derrubios, desprendimientos o coladas de soliflucción.

La alta montaña es, por lo tanto, el espacio geográfico donde confluyen los mejores condicionamientos estructurales y los agentes erosivos más agresivos (Kienholz, H. et al. 1984). La fuerte pendiente, factor básico en la actividad geomorfológica, permite el mantenimiento constante de la acción erosiva, distribuida

en el espacio con desigual intensidad y con diferente forma de acción.

La cartografía cualitativa de riesgos es, en realidad, un mapa de la localización de los procesos. Indica el tipo de proceso en actividad y su intensidad. Esta cartografía es una deducción a partir de la realizada para la representación de las formas del relieve y su datación cronológica. Por lo tanto, el primer paso para la elaboración de una cartografía cualitativa de riesgos es la configuración de un mapa geomorfológico, donde se incluya, al menos, una cronología relativa. Se parte de la hipótesis de que el pasado y el presente influyen decisivamente en el futuro. Las áreas con formas heredadas son zonas inactivas y van a ser consideradas, por tanto, lugares de bajo o nulo riesgo potencial. Las áreas con formas actualmente en elaboración se pueden catalogar como zonas de riesgo, más o menos intenso según sea la categoría del proceso.

Si partimos de la hipótesis, aceptada de forma generalizada, de que los procesos erosivos, en especial los catastróficos, son mucho más intensos en los periodos inmediatos a la deglaciación (Church, M. y Ryder, J. 1972), nos podemos encontrar con la dificultad, a la hora de realizar mapas de riesgos en los sectores recientemente deglaciados, de que todas las formas son actuales, pero sólo algunas generan potencialmente riesgos. La solución a este problema es un minucioso trabajo de campo para llegar a comprender qué procesos se desencadenan exactamente con la retirada del hielo. Por este motivo, se pone el ejemplo de una montaña deglaciada a finales del Pleistoceno, la Sierra de Gredos (2.592 m), junto a otras que se están deglaciando en la

actualidad, los grandes estratovolcanes mexicanos, Popocatepétl (5.450 m) y Citlaltépetl (5.700 m).

3.- Formas del relieve y procesos geomorfológicos en el Macizo Central de Gredos.

La metodología utilizada en la realización de la cartografía geomorfológica y de riesgos en varias zonas de la Sierra de Gredos está basada en técnicas de fotointerpretación de fotografías aéreas a escala 1:18.000, apoyada en un minucioso trabajo de campo con el objeto de estudiar las diferentes formas, mediante análisis granulométricos, morfométricos, nivales y del tamaño y cobertura de líquenes.

Para la representación de las formas y áreas de riesgos se ha recurrido a símbolos y tramas en blanco y negro. El objeto es buscar la sencillez gráfica para facilitar la lectura cartográfica, pues debido al gran detalle que se puede alcanzar -la escala de trabajo es 1:10.000-, las formas a representar son numerosas y en la mayoría de las ocasiones de escasa entidad.

Las áreas para la realización de la cartografía geomorfológica a escala 1:10.000 han sido seleccionadas una vez conocido que cumplían estos dos criterios: estar ubicadas en zonas de alta o media montaña y haber estado afectadas por procesos glaciares durante el Pleistoceno.

En consecuencia, se analizan cuatro áreas agrupadas en dos ambientes: dos áreas de cabecera, que corresponden al Circo de Gredos -vertiente norte- y la cabecera de la Garganta Blanca -vertiente sur-, y dos zonas de media montaña, la garganta de Gredos y la del Pinar -ambas en la vertiente norte-, que corresponden

a los tramos medios y altos de esas gargantas y que coinciden con la máxima extensión glaciaria.

Las formas detectadas corresponden a tres secuencias morfogénicas diferentes:

- a) Morfología preglaciaria: Aparecen representadas por superficies alomadas recubiertas por un manto de alteración, afloramientos rocosos en zonas culminantes y pequeñas cuencas torrenciales.
- b) Morfología glaciaria y singlaciaria: pueden distinguirse formas de erosión glaciaria (rocas con pulimento glaciario, umbrales y depresiones, canales subglaciares, etc.), formas de sedimentación (cordones y depósitos morrénicos, depósitos fluvio-glaciares) y otras formas (nichos de nivación e incipientes glaciares rocosos).
- c) Morfología postglaciaria: aparecen numerosas formas que se desarrollan sobre las dos anteriores, fundamentalmente debido a la dinámica fluvial-torrenciales (pequeñas cabeceras torrenciales, terrazas y abanicos aluviales y conos en la salida de las canales) y a la dinámica de vertientes (lóbulos de soliflucción, conos de gravedad, debris flows, etc.).

A partir del trabajo realizado para la elaboración de la cartografía geomorfológica, y teniendo en cuenta que algunas de estas zonas son las más visitadas de la Sierra de Gredos, fundamentalmente para actividades deportivas -escalada y excursionismo- y recreativas -acampada vacacional y de fin semana o simple paseo-, se ha realizado una cartografía orientada a determinar las diferentes áreas y tipologías de procesos y los consiguientes riesgos existentes en estos ámbitos de alta y media montaña.

El primer paso ha sido distinguir las áreas consideradas sin riesgo geomorfológico. Éstas coinciden con los siguientes tipos de ámbitos:

- a) Superficies recubiertas por el manto de alteración, que en la actualidad se encuentran estabilizadas debido a la existencia de escasas pendientes y al factor protector de la vegetación que la recubre.
- b) Fondos rocosos de los valles, que se vieron sometidos a la intensa acción erosiva de la masa de hielo glaciar. En la actualidad presentan una gran homogeneidad y compacidad, con escasos desniveles y ausencia de material suelto o fracturado que pueda ser movilizado.
- c) Afloramientos rocosos compactos y pulidos por la acción glaciar en las partes medias e inferiores de las laderas.

El papel que juega la nieve es determinante para desencadenar algunos de los procesos más importantes relacionados con los riesgos naturales en estas áreas de montaña. La acumulación de nieve en las canales y grietas de las rocas, provoca desde aludes de mayor o menor envergadura, a la caída de piedras por gelifracción, sobre todo en las partes altas y paredes de los circos glaciares, tanto de la vertiente septentrional como de la meridional.

Otro grupo de procesos que suponen riesgos naturales están, igualmente, relacionados con la nieve, pero más concretamente con la fusión de la misma en época primaveral. El fuerte y rápido incremento del volumen de agua que circula por las vertientes, canales y fondos de valles, ocasiona la movilización de materiales sueltos en estas zonas, provocando caídas de piedras, deslizamientos, acarcavamientos,

inundaciones, etc. Estos efectos son más frecuentes e importantes en las gargantas, sobre todo en las laderas donde se localizan destacadas formaciones morrénicas, en las salidas de arroyos sobre los abanicos aluviales, y en las salidas de las canales sobre los conos de deyección de las mismas. Procesos similares son los provocados por las lluvias, que en ocasiones alcanzan fuertes intensidades en cortos periodos de tiempo.

Dentro de este amplio conjunto de procesos, que suponen un riesgo natural en las zonas estudiadas, es preciso hacer una mención especial a los debris flows -coladas de depósitos-, tanto por su espectacularidad como por su frecuencia. Los procesos de debris flows, conocidos localmente como "vejigas", son movimientos en masa que se inician por un deslizamiento homogéneo ante la alta presión hidrostática generada por sobresaturación de agua acumulada en una formación sedimentaria, y continúa como un flujo donde se mezcla toda la masa hasta reposar ante la pérdida de pendiente.

A pesar de ser un proceso que ha empezado a estudiarse recientemente en el área de la Sierra de Gredos, éste tiene una gran importancia al desarrollarse sobre formaciones muy variadas como morrenas laterales, conos de depósitos de gravedad, abanicos aluviales y, en especial, sobre el profundo manto de alteración que recubre la mayor parte de las áreas no glaciadas.

Estos procesos de debris flows además de constituir un riesgo en sí mismos, por la rapidez y capacidad de destrucción que tienen, mantienen durante algún tiempo un cierto grado de inestabilidad debido a las frecuentes caídas de

pedras al canalizar los torrentes provocados por las lluvias.

4.- Cartografía geomorfológica y de riesgos de Gredos.

Los mapas de riesgos del Macizo Central de Gredos se han deducido a partir de la cartografía de las formas del relieve.

En el mapa geomorfológico de la Garganta de Gredos (Fig. 1) se ha destacado la forma más antigua, la superficie de erosión granítica alterada -con trama gris- de tal manera que sirva de encuadre de las formas posteriores, que se encajan sobre ella. Las formas glaciares y singlaciares se dibujan con tramas suaves, diferenciando las formas sedimentarias -con tramas imitando sedimentos- de las formas erosivas -con tramas lineales-. Las morrenas laterales, que son las formas glaciares que van a desencadenar los procesos actuales más intensos, se trazan con líneas de un potente grosor negro, para destacar su importancia. Las formas postglaciares se dejan en blanco, con el objeto de aumentar el contraste con las formas anteriores. Cada forma se diferencia por dibujos lineales sin trama o en negro, en relación con la menor o mayor actualidad del proceso.

El mapa de riesgos de la Garganta de Gredos (Fig. 2) está basado en el mapa anterior, como ya se ha indicado. Las formas inactivas, o que no pueden ocasionar futuros procesos erosivos, se dibujan con tramas lineales. Las formas activas o con riesgo de reactivación se dibujan con tramas de puntos o geométricas. Las formas más activas se destacan con trama gris. Este sistema se puede aplicar a todas las áreas semejantes, lo que facilita su comprensión. Una muestra es la cartografía geomorfológica y de

riesgos realizada en la garganta paralela a la anterior, la Garganta del Pinar (Fig. 3 y 4).

El Circo de Gredos, cabecera de la Garganta de Gredos, se representa con un sistema cartográfico semejante al anterior (Fig. 5). En este caso la superficie de alteración se conserva mínimamente. Aquí, lo que encuadra el área es el límite del circo, que representa los límites de la cabecera glaciaria. Por este motivo se representa con un trazo grueso. Las formas más activas del Circo de Gredos son los conos de gravedad, por lo que se representan en negro para destacar su importancia. El mapa de riesgos (Fig. 6) resalta las áreas más activas con trama gris, que aquí son las áreas de erosión nival.

En las gargantas del sur los glaciares tuvieron una menor longitud. El mapa geomorfológico de la Garganta Blanca (Fig. 7) sintetiza el sistema utilizado en los mapas anteriores. El área donde se localizan las formas glaciares y postglaciares está encuadrada tanto por la trama gris de la antigua superficie alterada, como por los límites de la cabecera glaciaria. Las tramas lineales se dedican a las formas de erosión y las que imitan sedimentos a las formas sedimentarias. Especial atención se dedica a las morrenas, dado que serán origen de los procesos actuales más intensos. El mapa de riesgos (Fig. 8) sigue el mismo criterio que los anteriores, destacando con trama negra las áreas más activas, en este caso los canales de aludes.

5. Cartografía geomorfológica y de riesgos en los estratovolcanes Popocatepetl y Citlaltépetl (México).

Los grandes estratovolcanes mexicanos Popocatepetl y Citlaltépetl están cubiertos por glaciares desde su último gran periodo eruptivo

que, en ambos casos, terminó en el siglo XVII. Estos glaciares alcanzaron su máxima expansión a mediados del siglo pasado. Desde entonces han retrocedido drásticamente hasta tener en la actualidad un carácter residual. A medida que los glaciares retrocedían, los procesos erosivos aumentaban en las laderas previamente cubiertas por el hielo.

Para el planteamiento del problema es necesario exponer cartográficamente los grandes elementos geomorfológicos (Fig. 9). Los primeros mapas diferencian el relieve estructural, en este caso volcánico, del relieve morfogenético, en este caso glacial. La simbología diferencia las formas también por un criterio cronológico: el relieve volcánico se divide en Pleistoceno y Holoceno, y en el relieve glacial se diferencia el de la Pequeña Edad de Hielo (del Siglo XVII al XIX) y la extensión del glacial actual.

Como se ha explicado anteriormente, conocer la periodización de la retirada del glacial tiene gran importancia para delimitar las áreas de riesgo geomorfológico, ya que la actividad erosiva es más intensa cuanto más reciente es la retirada del hielo. El segundo paso es, por tanto, una cartografía donde se exprese los distintos periodos de disminución del glacial (Fig. 10). La relación es tan directa que la observación se puede hacer y expresar cartográficamente año a año (Fig. 11). En este mapa, se indica la disminución del glacial en un año con tramas grises, para destacar el elemento más importante de su contenido. Con tramas de líneas se cartografían los elementos estructurales, para facilitar la comprensión del contexto geomorfológico. Por último, con tramas con contenidos de dibujos imitando sedimentos, se

delimitan las áreas sedimentarias formadas con la retirada del hielo, que indican la importancia erosiva tras la deglaciación.

Para expresar la localización de estos procesos, el mapa debe ser auxiliado por bloques-diagramas. En este caso, para indicar la secuencia de los procesos, se han utilizado dos bloques-diagramas evolutivos con el objeto de representar la situación anterior y posterior a la retirada del hielo (Fig. 12 y 13).

Por último, el mapa de riesgos definitivo (Fig. 14) utiliza la misma gama de tramas descrita anteriormente, utilizando las tramas y dibujos más fuertes para destacar las áreas propiamente de riesgos.

Referencias:

- Church, M. and Ryder, J. (1972): Paraglacial Sedimentation: A Consideration of Fluvial Processes Conditioned by Glaciation. *Geol. Soc. America Bull.* 83, 3059-3072
- Kienholz, H. et al. (1984) Mapping of mountain hazards and slope stability. *Mountain Research and Development*, 3 (3): 195-220
- Palacios, D (1997) Hazards in relation to present deglaciation in Mexican Stratovolcanoes: Popocateptl, Ixtaccihualt and Citlaltepétl. In Rosenfeld, C.L. and Kalvoda, J. (Edi.) *Geomorphological Hazards in High Mountains areas*. Geojournal Library, Kluwer Academic Publishers. (En prensa).
- Palacios, D. y Marcos, J. de (1997.a). Natural hazards in a Granitic deglaciated mountain: Sierra de Gredos, España. In Kalvoda, J. (Edi.) *Geomorphological hazards in Extreme Environments*, Charles University Foundation. (En prensa).
- Palacios, D. y Marcos, J. de (1997.b) Deglaciation of Mexico's stratovolcanoes from 1994-95. *Journal of Glaciology*. (En prensa)
- Martínez de Pisón, E. y Palacios, D. (1997). El Glaciarismo en Gredos. En Gómez Ortíz, A. (Edi.) *El glaciarismo en España*. Geoforma. (En prensa).
- Muñoz, J., Palacios, D., and Marcos, J. de (1995): The influence of the geomorphologic heritage on present slope dynamics. The Gredos Cirque, Spain". *Pirineos* 145-146, 35-63.
- Muñoz, J. (1992): *Geomorfología general*, Ed. Síntesis, Col. Espacios y Sociedades, nº 4, 350 pp., Madrid.
- Peña, J. (1995): Los mapas geomorfológicos: características y tipos. En Peña, J. (Dir.): *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*, pp. 1-16, X Curso de geografía física, Univ. de Verano de Teruel, Albarracín.
- Tricart, J. y Kilian, J. (1982): *La eco-geografía y la ordenación del medio natural*, ed. Anagrama, 288 pp., Barcelona.

Requerido el Dr. Palacios acerca de algunas cuestiones de simbología y escala en la Cartografía Geomorfológica que se realiza en España, contestó que, como siempre, la escala depende de la información que se quiera ofrecer. Para procesos actuales, se prefiere la escala de detalle, 1:10.000, aproximadamente, aunque no se puede olvidar que el proceso se encuadra en un contexto geomorfológico general. En cuanto al uso del color, hay muchas escuelas que han realizado opciones, según las unidades estructurales y los procesos. En nuestro caso, y en ejemplos concretos, el color se utiliza para subrayar lo que se quiere destacar (por ejemplo, el "color cronológico"): se utilizan colores más apagados para el encuadre geomorfológico y colores más fuertes para destacar los elementos que se estudian en sí. Para dar mayor detalle, se utilizan los mapas símbolos lineales.

Con respecto a la utilización de programas de diseño gráfico, el Dr. Palacios puntualizó que no existe en ellos simbología geomorfológica de serie, porque se trata de unos mapas, hasta ahora, poco valorados. En nuestro caso, matizo, el Instituto Geológico nos ha cedido alguna simbología que ellos han elaborado, aunque otra la tenemos que elaborar nosotros con el propio programa. Este hecho se debe a que muchos programas vienen de Estados Unidos o de Canadá, donde la cartografía geomorfológica no existe. Sin embargo, otros centros, como el ITC, desarrollan una cartografía aplicable, sobre todo, al tratamiento de imágenes de satélite, aunque no lo sea a una cartografía de detalle.

Como es buen sabido, los sistemas cartográficos en geomorfología tratan de abordar la expresión de los siguientes aspectos: estructura, formas del relieve, morfogénesis, dinámica y evolución. Hasta el momento no se ha conseguido unificar criterios y han surgido diferentes escuelas. Un ejemplo sería la escuela rusa, que tuvo cierta fuerza en muchos países del antiguo bloque socialista.. Las soluciones son siempre múltiples, pero el problema es siempre el mismo: estructura, dinámica y cronología.

Por último, se le preguntó al Dr. Palacios sobre los últimos trabajos que se están realizando sobre simulación dinámica, para que no solamente se vean pinceladas de instantes, sino la interpolación entre los distintos momentos, es decir, la reconstrucción de la hipótesis de sucesión de estadios morfológicos. El Dr. Palacios respondió que cuando se estudian procesos dinámicos, como abanicos aluviales, la simulación dinámica se utiliza mucho, sobre todo en la escuela anglosajona. Es, sin embargo, en los estudios sobre tectónica activa y evolución de volcanes donde más se han desarrollado estos aspectos de la expresión gráfica.

Figura 1.- Mapa geomorfológico de la Garganta de Gredos. (Martínez de Pisón, E. y Palacios, D., 1997). Leyenda:

- 1.- Superficie cubierta por el manto de alteración
- 2.- Afloramientos rocosos no glacializados
- 3.- Cuenca de recepción torrencial
- 4.- Superficie cubierta por material morrénico disperso
- 5.- Cresta morrénica
- 6.- Afloramientos rocosos glacializados
- 7.- Umbrales glaciares
- 8.- Espolones rocosos glacializados
- 9.- Debris flows
- 10.- Conos de gravedad
- 11.- Abanicos aluviales inactivos
- 12.- Abanicos aluviales activos
- 13.- Lóbulos de soliflucción
- 14.- Terrazas y llanos de obturación
- 15.- Terraza fluvial alta
- 16.- Terraza fluvial baja
- 17.- Fondo aluvial

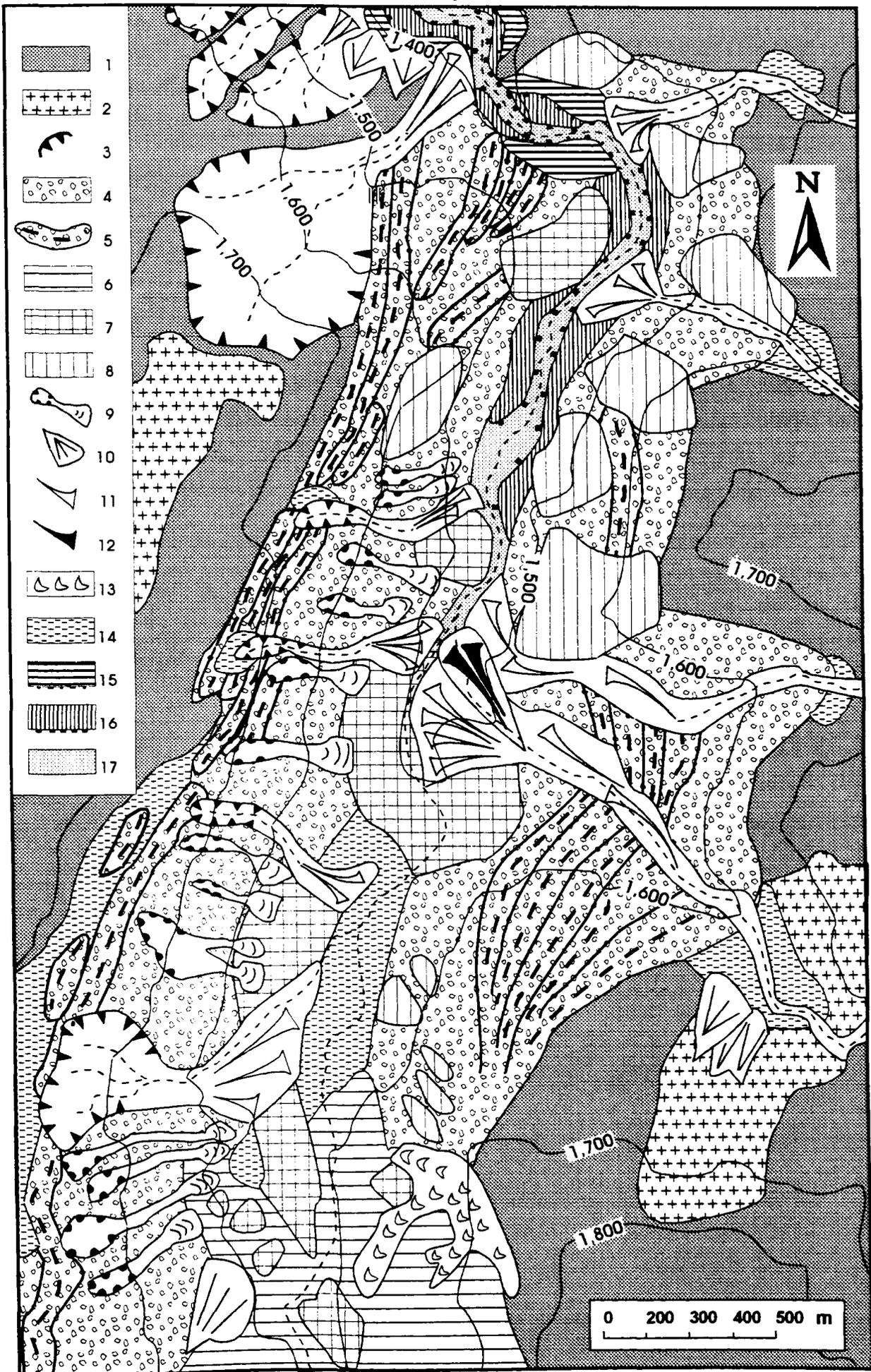


Figura 2.- Mapa de riesgos de la Garganta de Gredos. (Palacios, D. y Marcos, J. de, 1997.a). Leyenda:

- 1.- Área sin riesgos naturales en el manto de alteración
- 2.- Área sin riesgos naturales en el fondo rocoso del valle glaciario
- 3.- Área sin riesgos naturales en laderas rocosas
- 4.- Riesgos de inundación en áreas lacustres
- 5.- Riesgos de caídas de rocas y debris flows sobre materiales morrénicos
- 6.- Riesgos de inundación en el llano aluvial
- 7.- Riesgos de acarcavamientos
- 8.- Riesgos de deslizamientos sobre lóbulos de solifluxión
- 9.- Riesgos asociados con abanicos aluviales poco activos
- 10.- Riesgos asociados con abanicos aluviales activos
- 11.- Riesgos de caídas de rocas en conos de gravedad
- 12.- Riesgos de erosión torrencial sobre canales de debris flows
- 13.- Riesgos de formación de debris flows en canales de antiguos debris flows

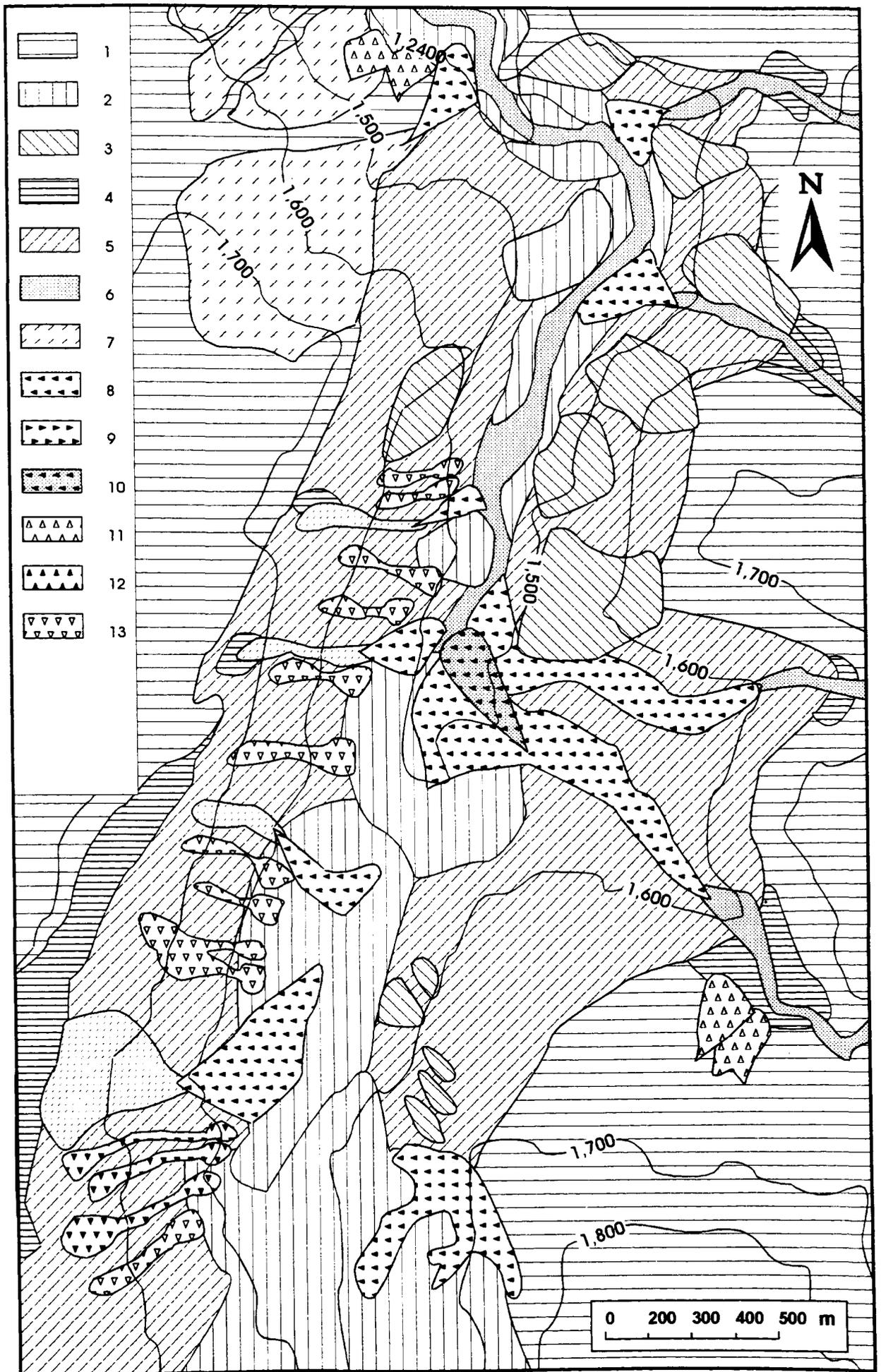


Figura 3.- Mapa geomorfológico de la Garganta del Pinar (Martínez de Pisón, E. y Palacios, D., 1997). Leyenda:

- 1.- Superficie cubierta por el manto de alteración
- 2.- Afloramientos rocosos no glaciarios
- 3.- Escalón tectónico
- 4.- Superficie cubierta por material morrénico disperso
- 5.- Cresta morrénica
- 6.- Espolones rocosos glaciarios
- 7.- Cuenca de recepción torrencial
- 8.- Áreas de formación de cornisas de nieve
- 9.- Debris flows
- 10.- Conos de gravedad
- 11.- Abanicos aluviales
- 12.- Corrientes de agua
- 13.- Lóbulos de solifluxión
- 14.- Terrazas y llanos de obturación
- 15.- Terraza fluvial
- 16.- Fondo aluvial

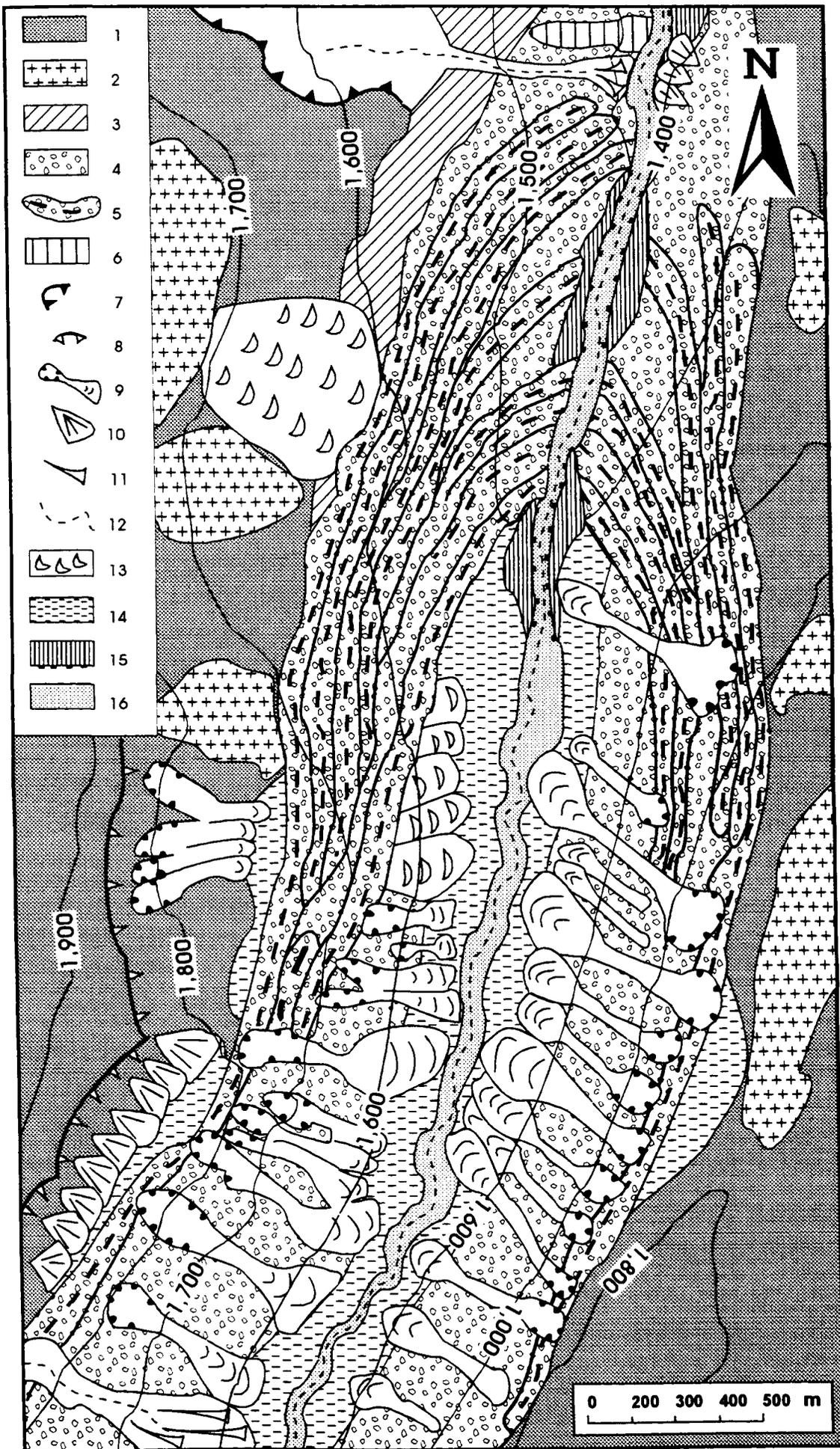


Figura 4.- Mapa de riesgos naturales de la Garganta del Pinar (Palacios, D. y Marcos, J. de, 1997.a). Leyenda:

- 1.- Área sin riesgos naturales en el manto de alteración
- 2.- Área sin riesgos naturales en el fondo del valle glacializado
- 3.- Área sin riesgos naturales en el escalón tectónico
- 4.- Riesgos de inundación en áreas lacustres
- 5.- Riesgos de caídas de rocas y debris flows sobre materiales morrénicos
- 6.- Riesgos de inundación en el llano aluvial
- 7.- Riesgos de acarcavamientos
- 8.- Riesgos asociados con abanicos aluviales activos
- 9.- Riesgos de deslizamientos sobre lóbulos de soliflucción muy activos
- 10.- Riesgos de deslizamientos sobre lóbulos de soliflucción poco activos
- 11- Riesgos de caídas de rocas en conos de gravedad
- 12.- Riesgos de erosión torrencial sobre canales de debris flows
- 13.- Riesgos de formación de debris flows en canales de antiguos debris flows

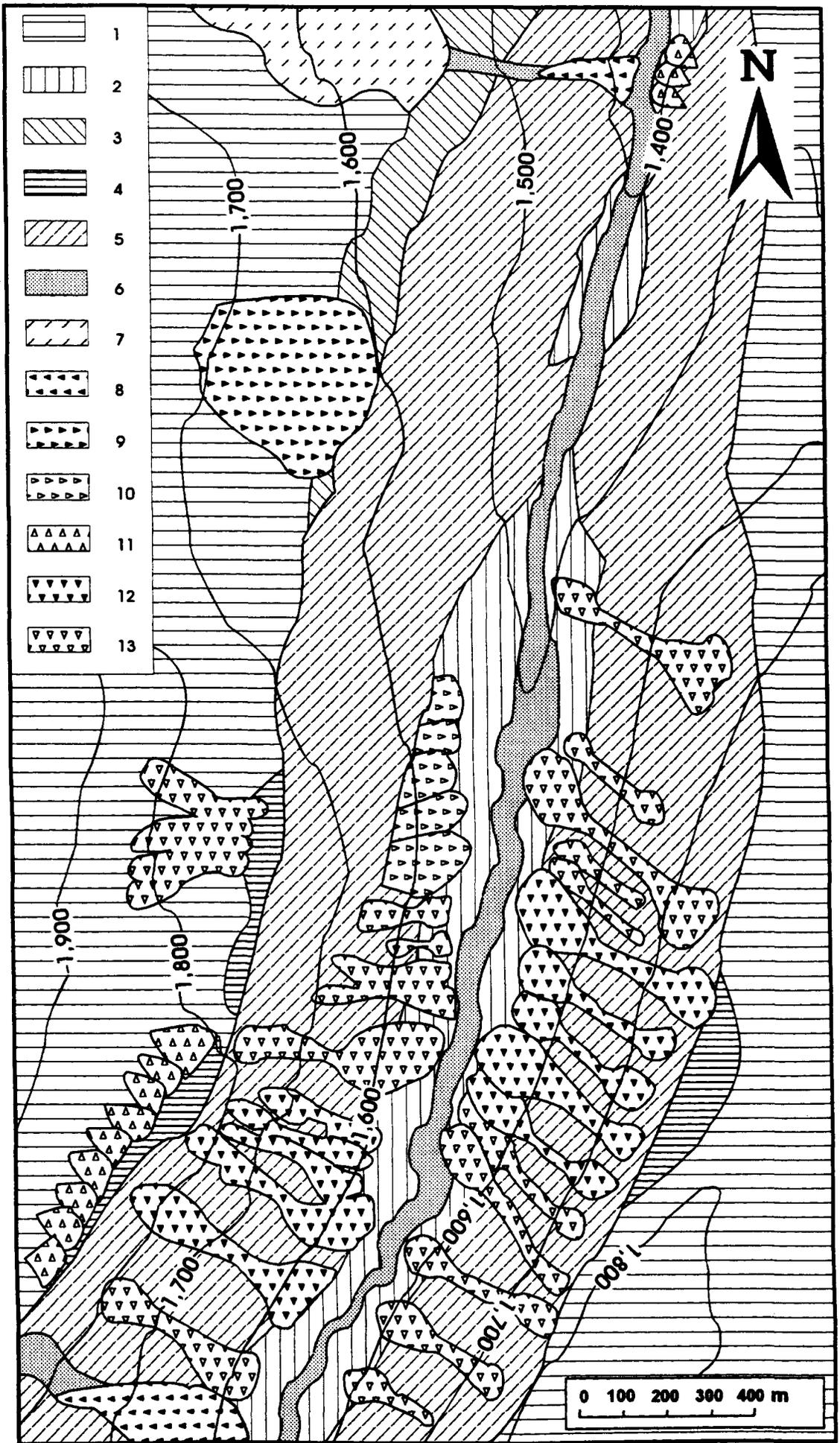


Figura 5.- Mapa geomorfológico del Circo de Gredos (Muñoz, J., Palacios, D., and Marcos, J. de, 1995). Leyenda:

- 1.- Paredes de circo glaciar
- 2.- Canales de avalanchas
- 3.- Fondo de circo glaciar
- 4.- Crestas modeladas por la gelifracción
- 5.- Campos de bloques periglaciares
- 6.- Pared supraglaciar
- 7.- Conos de gravedad
- 8.- Superficies de cumbres cubiertas por un manto de alteración
- 9.- Morrenas de nevé
- 10.- Corrientes de agua
- 11.- Abanicos aluviales

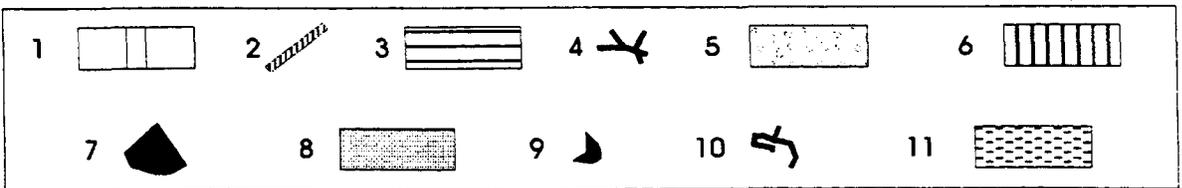
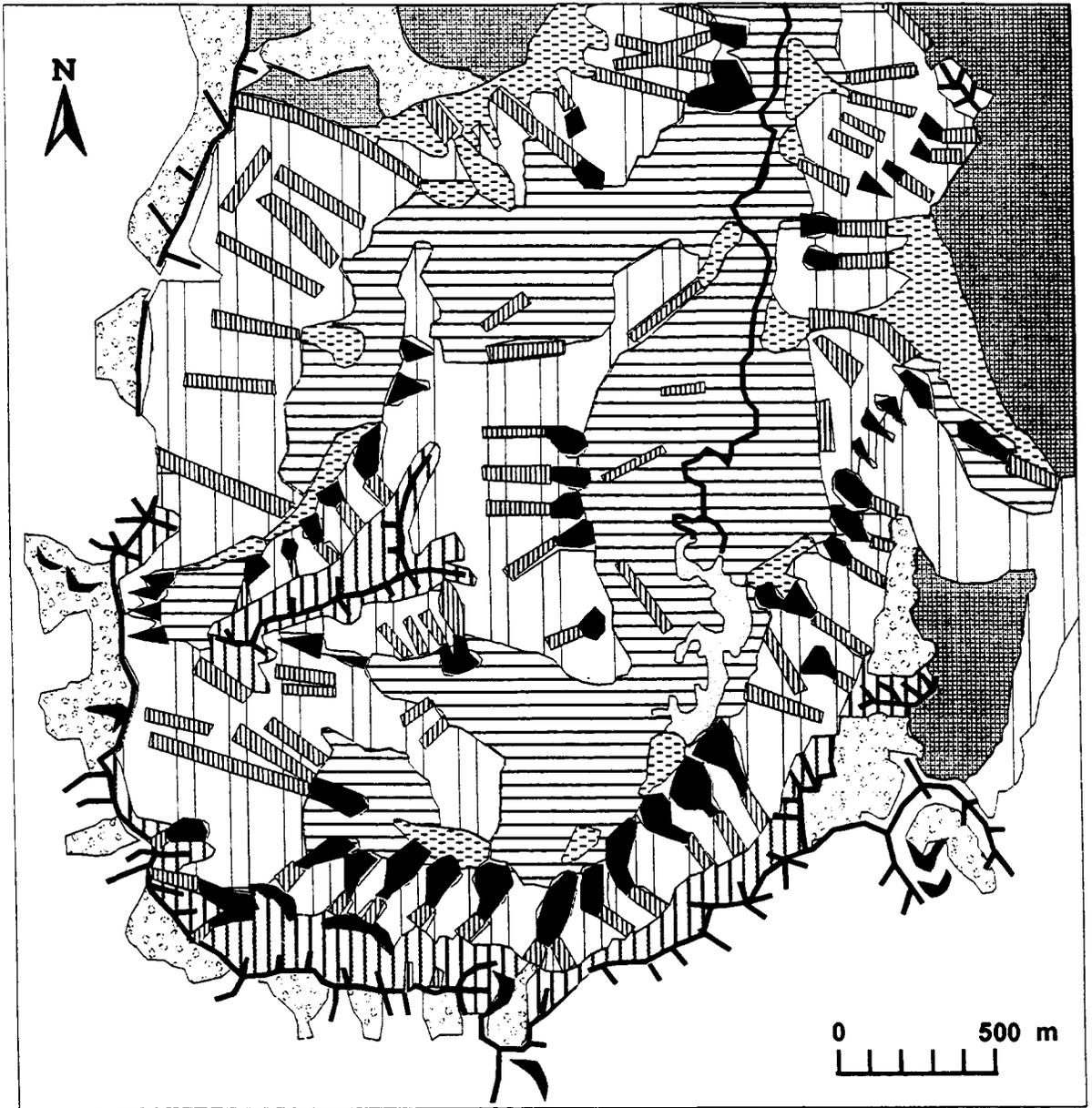


Figura 6.- Riesgos naturales en el Circo de Gredos (Muñoz, J., Palacios, D., & Marcos, J. de, 1995). Leyenda:

- 1.- Áreas desestabilizadas por la acción torrencial
- 2.- Áreas desestabilizadas por la acción de la arroyada difusa
- 3.- Áreas dominadas por deslizamientos
- 4.- Áreas dominadas por caídas de rocas
- 5.- Áreas dominadas por la acción nival
- 6.- Áreas dominadas por la gelifracción
- 7.- Áreas dominadas por la geliflujión

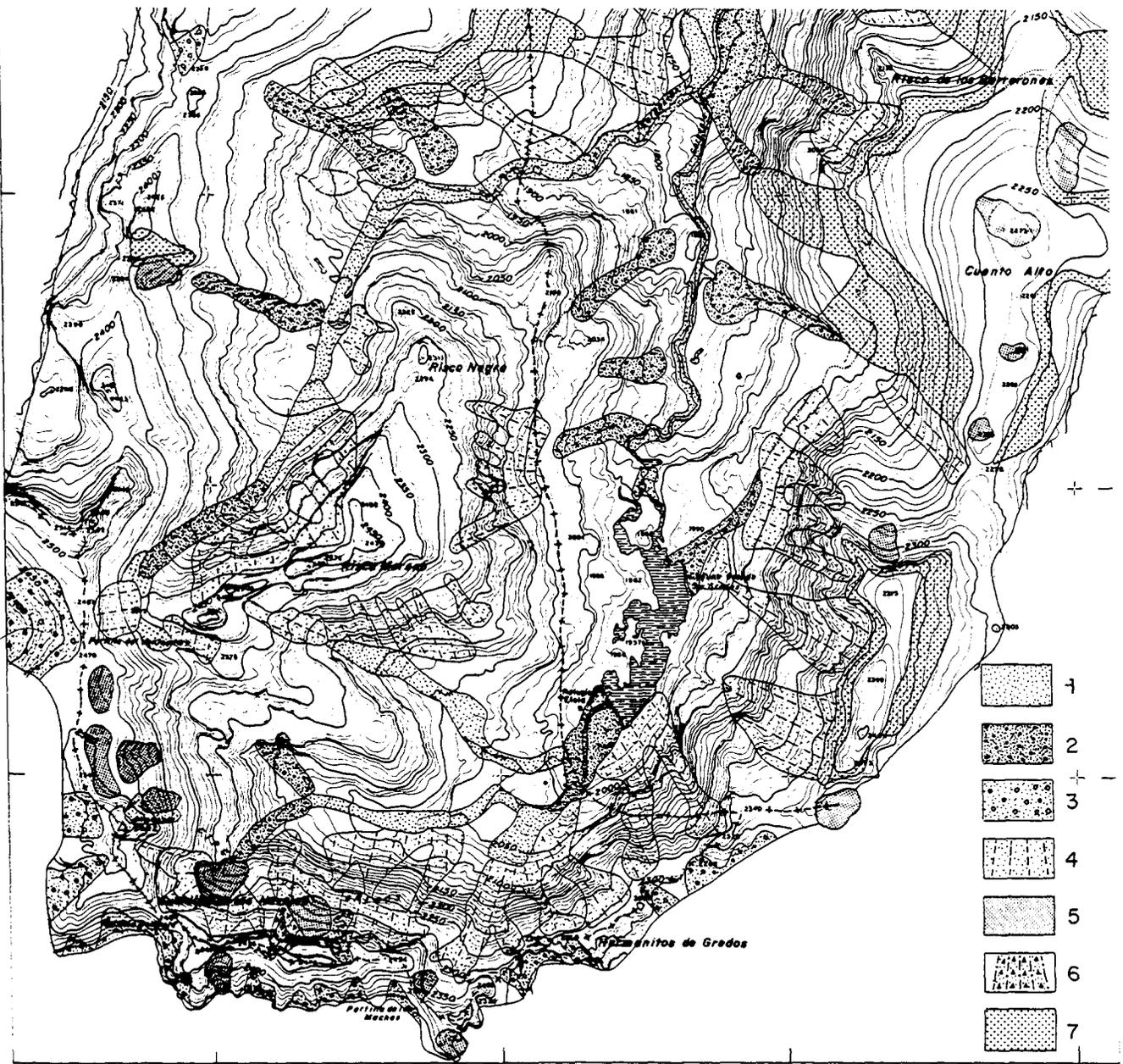


Figura 7.- Mapa geomorfológico de la Garganta Blanca (Palacios, D. y Marcos, J. de (1997.a). Leyenda:

- 1.- Afloramientos del manto de alteración
- 2.- Umbrales rocosos no glaciados
- 3.- Cuenca torrencial
- 4.- Circo glaciar
- 5.- Pared de circo glaciar
- 6.- Umbrales glaciados
- 7.- Morrenas laterales
- 8.- Material morrénico disperso
- 9.- Depósito fluvio-glaciar
- 10.- Glaciar rocoso
- 11.- Canales de avalancha
- 12.- Morrenas de nieve
- 13.- Debris flows.
- 14.- Campo de bloques
- 15.- Talud de gravedad

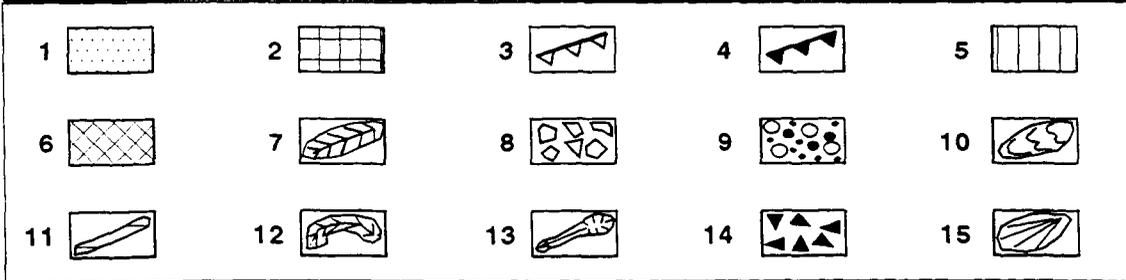
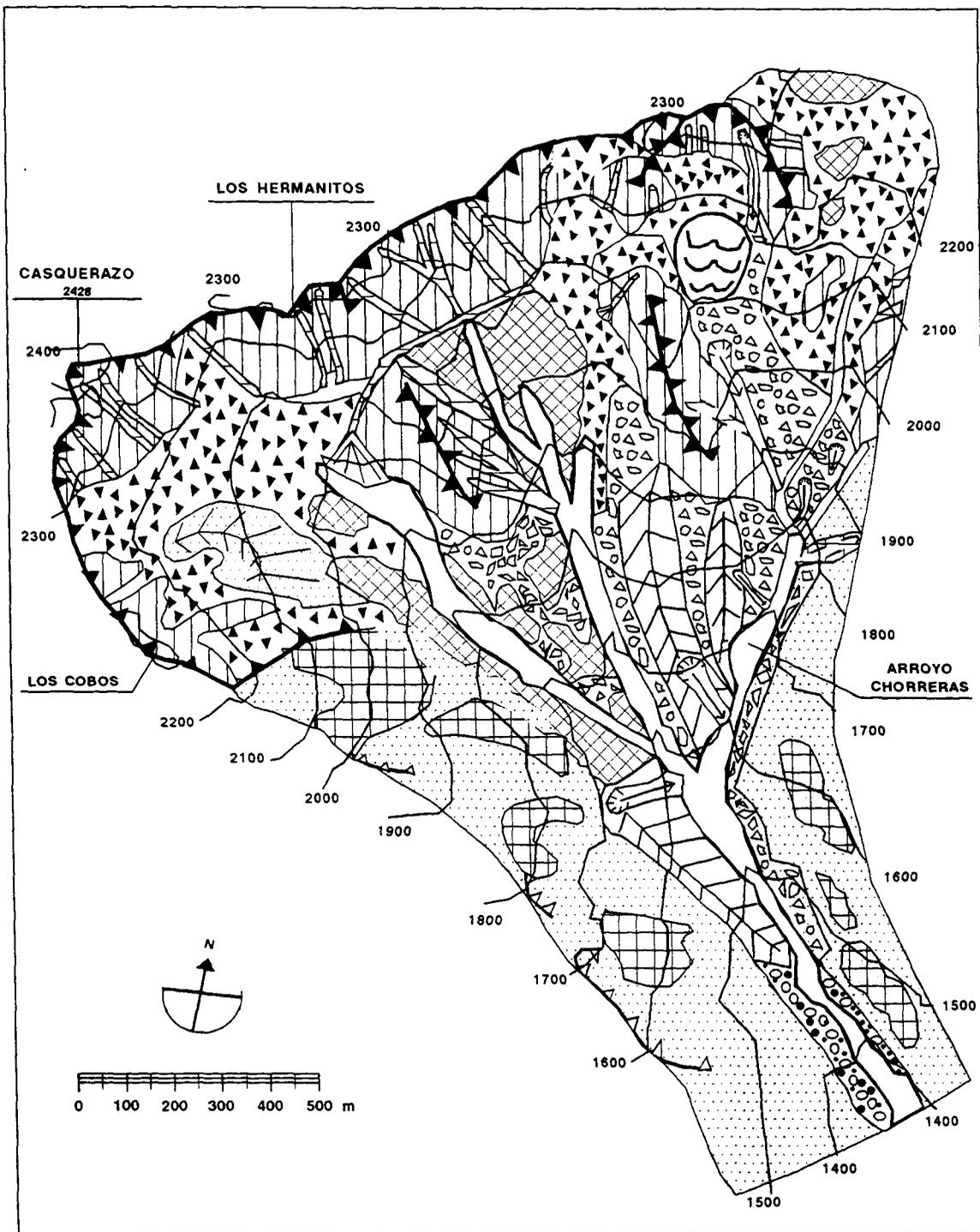


Figura 8.- Mapa de riesgos de la Garganta Blanca (Palacios, D. y Marcos, J. de, 1997.a) Leyenda:

- 1.- Área sin riesgos
- 2.- Riesgos de acarcavamientos
- 3.- Riesgos de caídas de rocas
- 4.- Riesgos de deslizamientos
- 5.- Riesgos de actividad torrencial
- 6.- Riesgos de procesos de soliflucción
- 7.- Riesgos de avalanchas

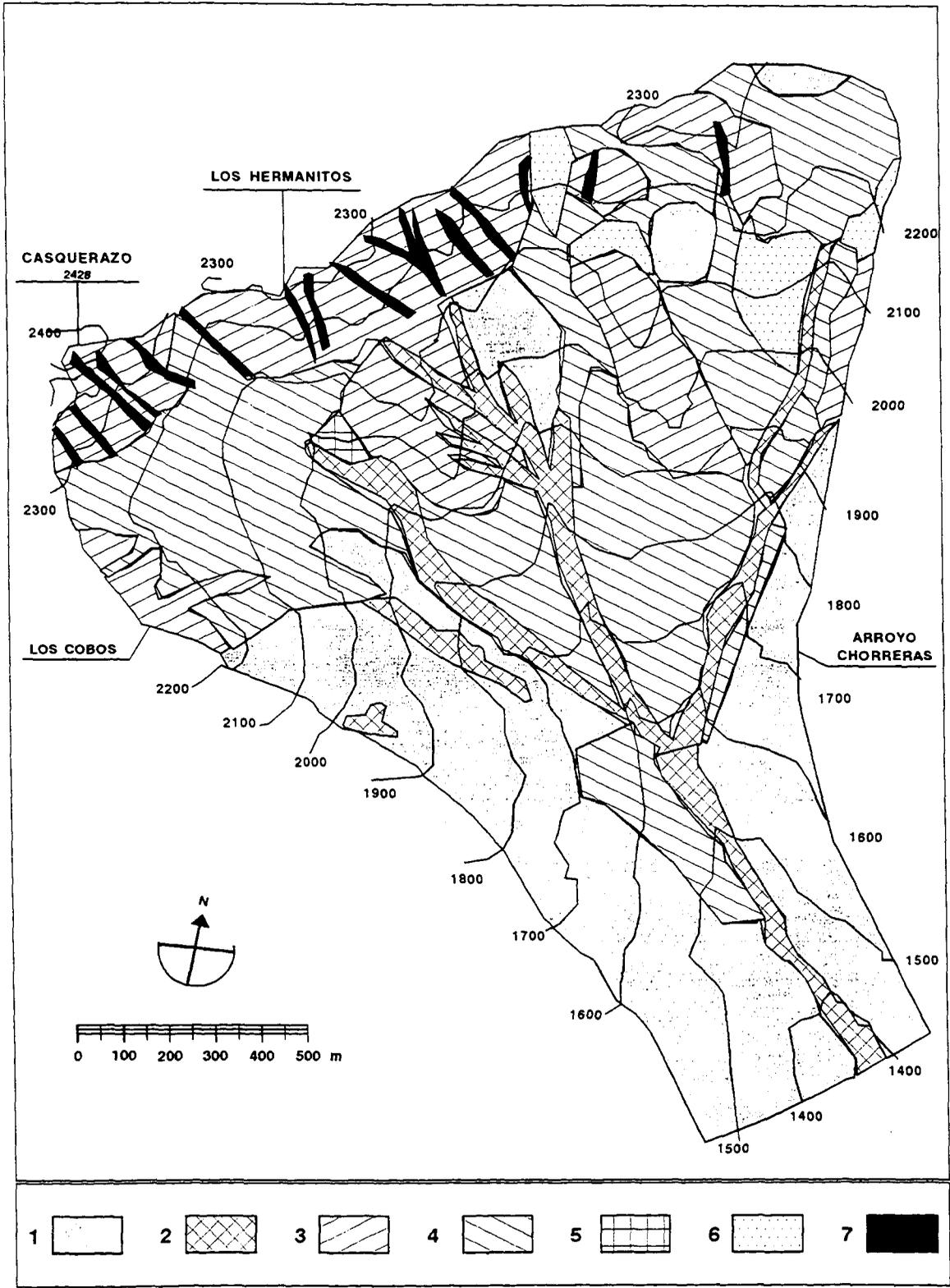
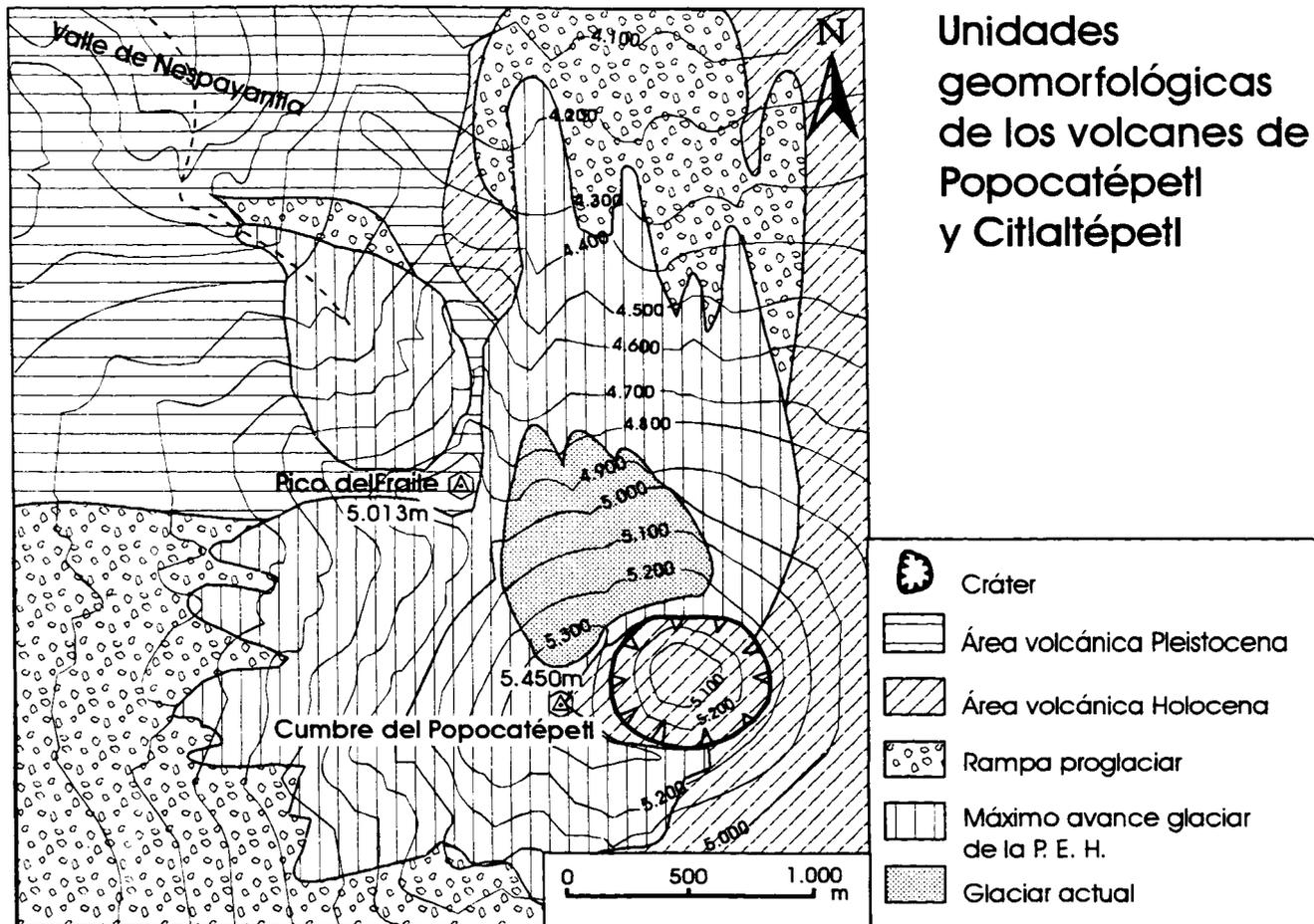


Figura 9.- Mapa de las principales unidades geomorfológicas del los estratovolcanes del Popocatépetl y Citlaltépetl (México). (Palacios, D. y Marcos, J. de 1997.b)

Volcán de Popocatepetl



Volcán de Citlaltépetl

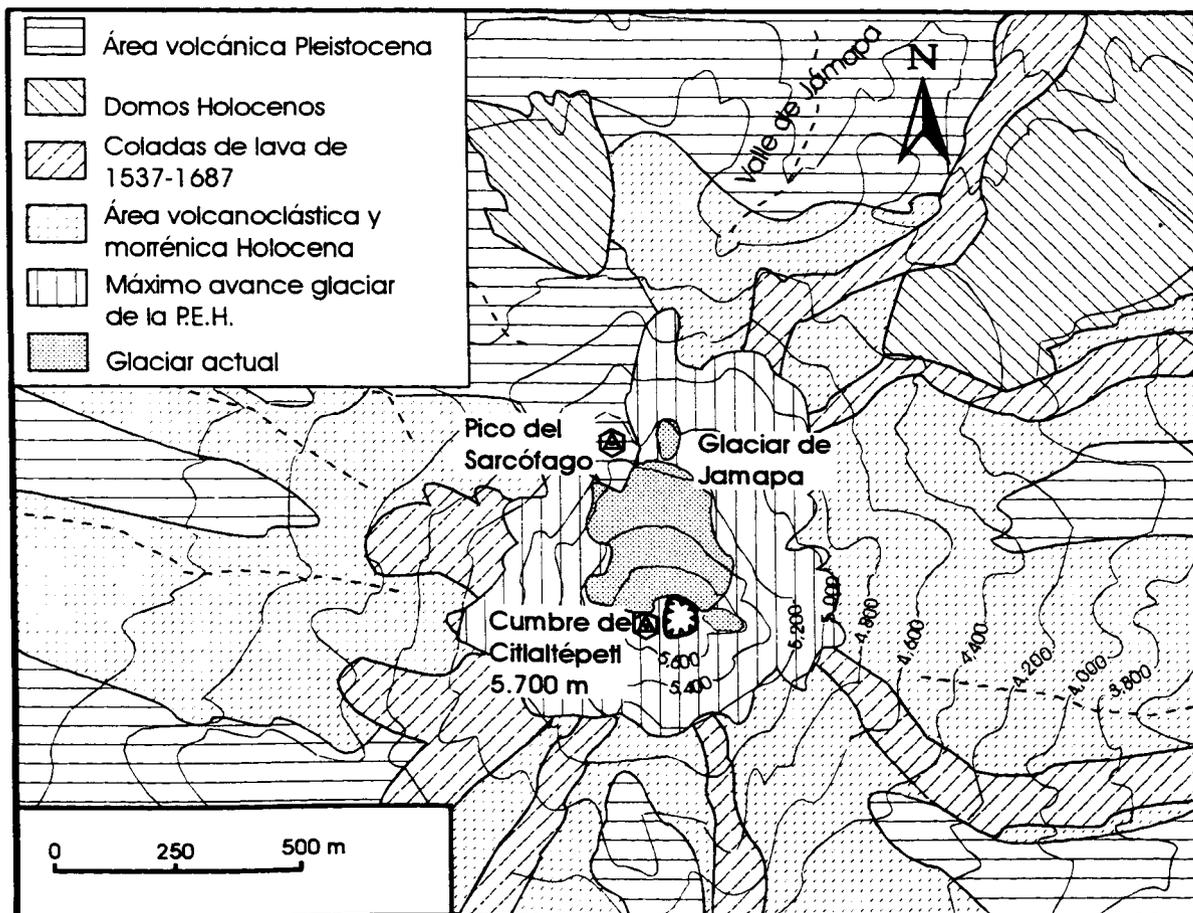
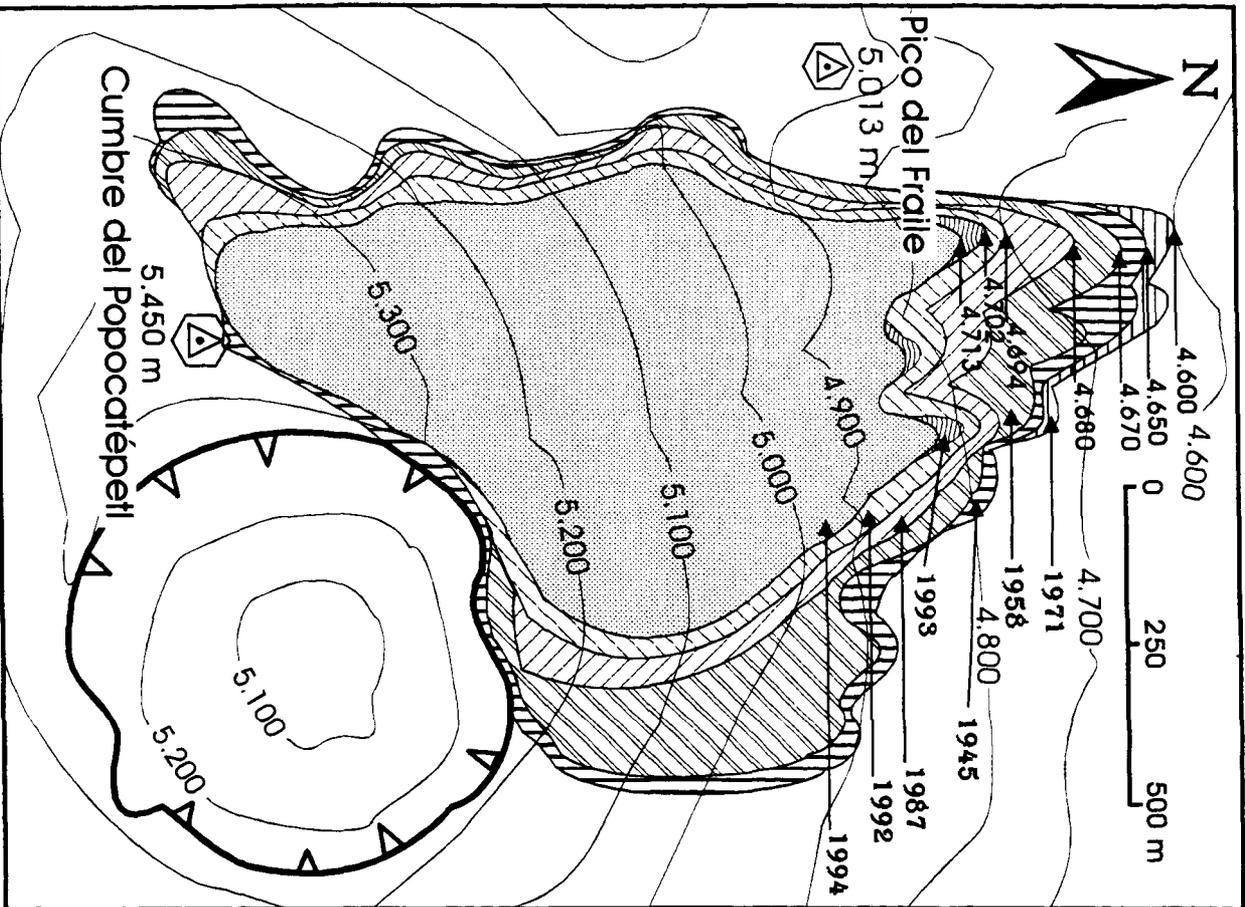


Figura 10.- Mapa de la evolución reciente de los glaciares del Popocatepetl y Citlaltépetl (México). (Palacios, D. y Marcos, J. de 1997.b)

Popocatepelt



Citlaltépetl

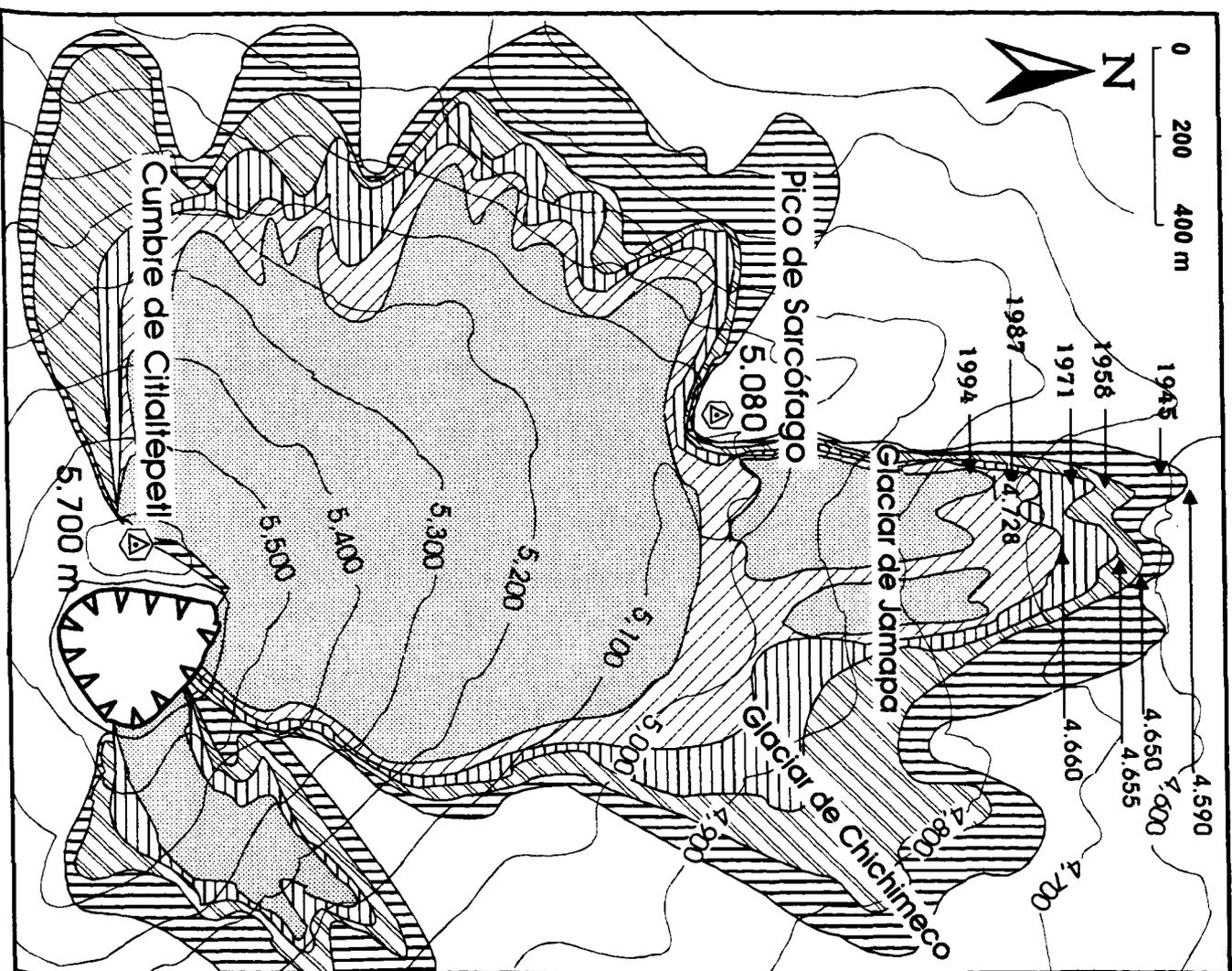
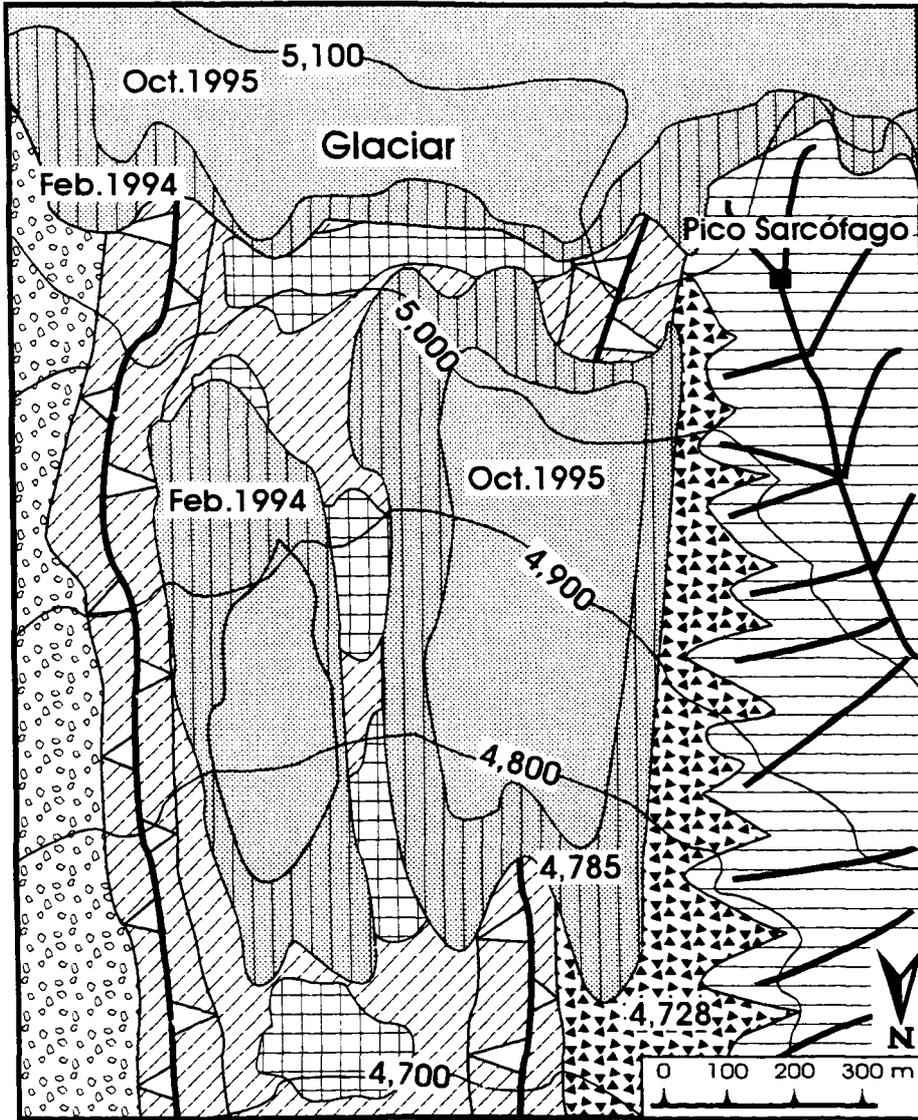


Figura 11.- Mapa de la recesión de los glaciares del Popocatépetl y Citlaltépetl durante el último año. (Palacios, D. y Marcos, J. de 1997.b)

Citlaltépetl



Recesión de los glaciares durante el último año

-  Edificios Pleistocenos
-  Espolones rocosos
-  Escalones rocosos
-  Umbrales rocosos
-  Nubes ardientes y lavas Holocenas
-  Levées lávicos
-  Depósitos sin hielo intersticial
-  Depósitos con hielo
-  Glaciar en Febr. 1994
-  Glaciar en Oct. 1995

Popocatépetl

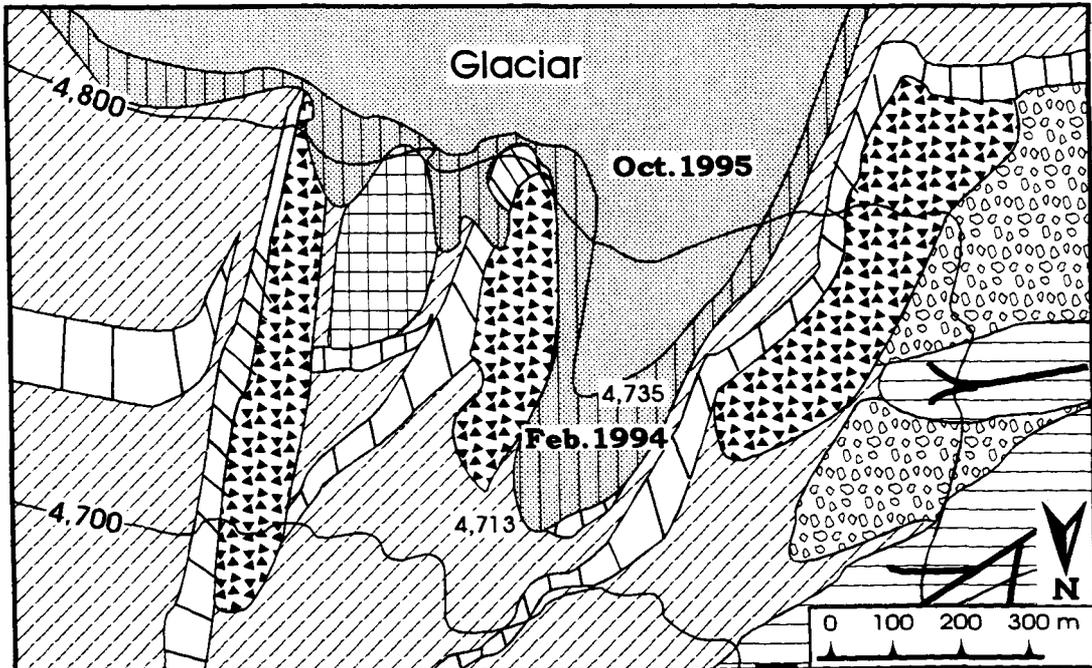


Figura 12.- El origen de los riesgos naturales del Citlaltépetl. (Palacios, D. y Marcos, J. de 1997.b)

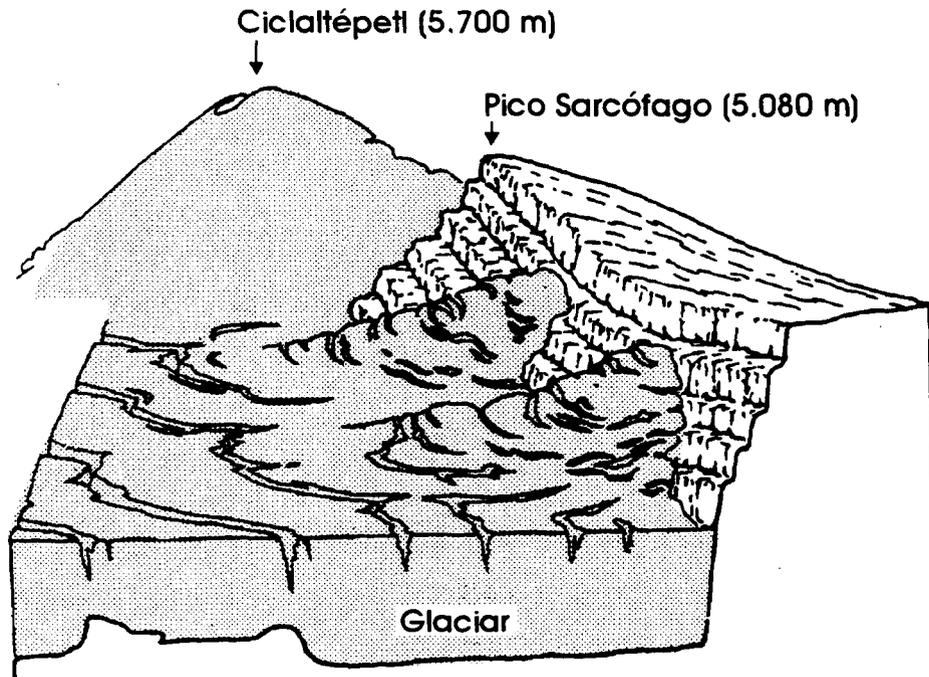


Fig. 12. A.- El glaciar de Jamapa en el máximo avance de la Pequeña Edad de Hielo.

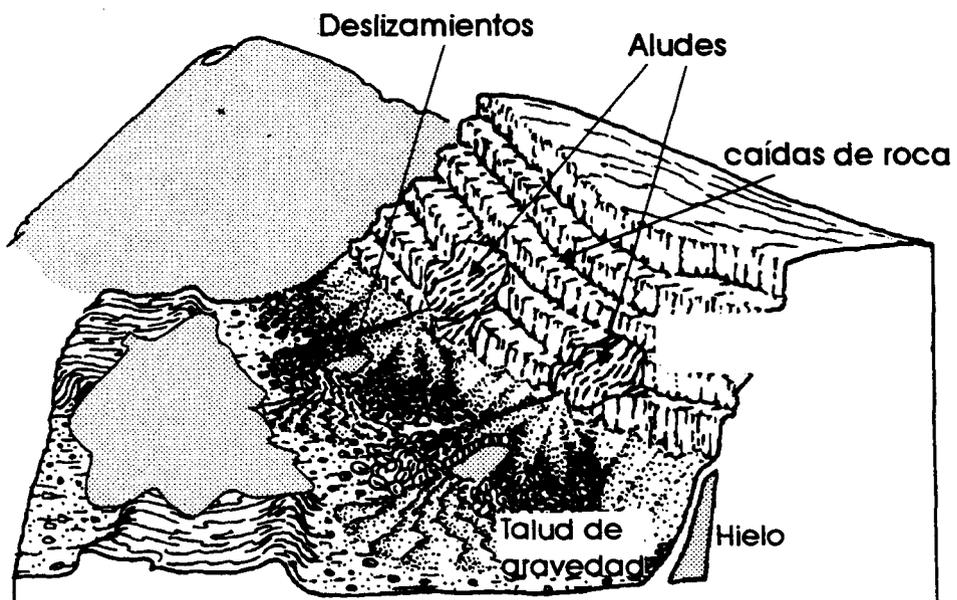


Fig. 12.B- Procesos relacionados con la deglaciación

Figura 13.- El origen de los riesgos naturales del Popocatépetl. (Palacios, D. y Marcos, J. de 1997.b)

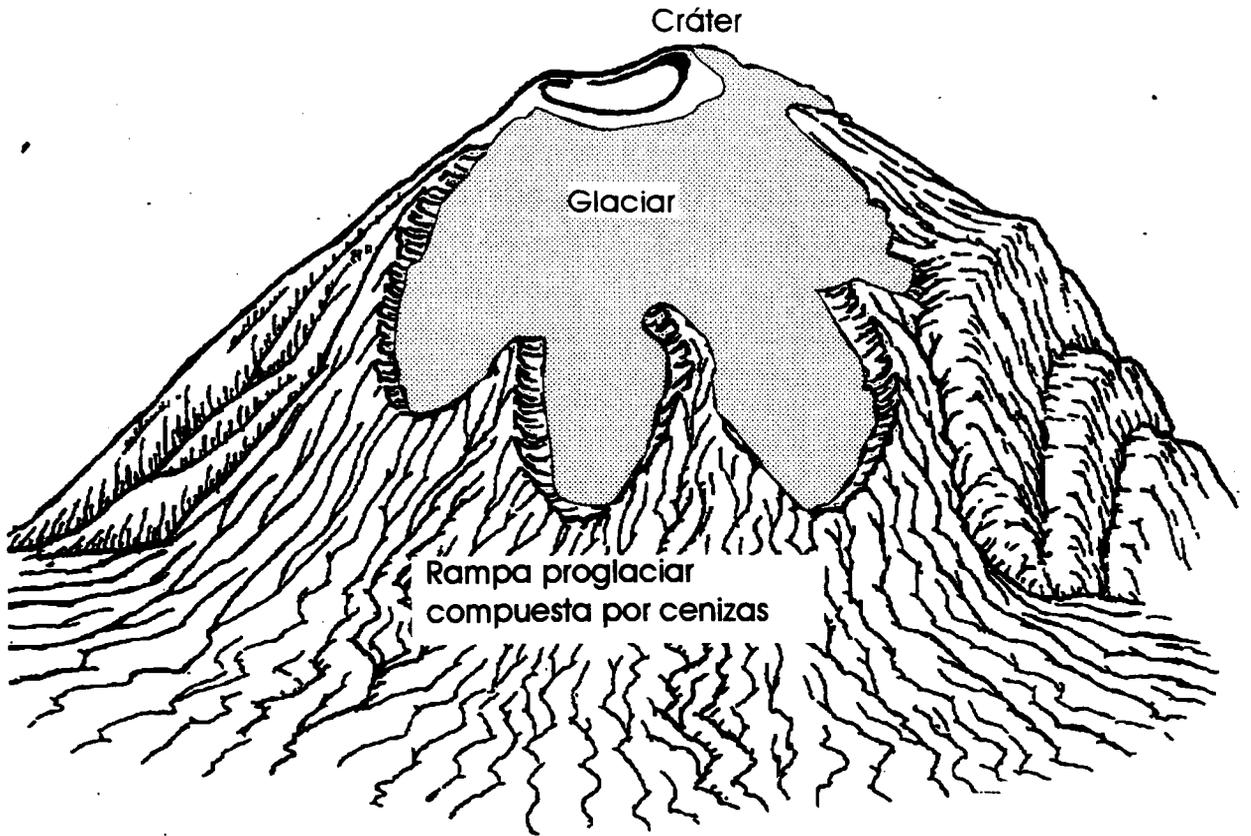


Fig. 13.A .- Máximo avance duranre la Pequeña Edad de Hielo

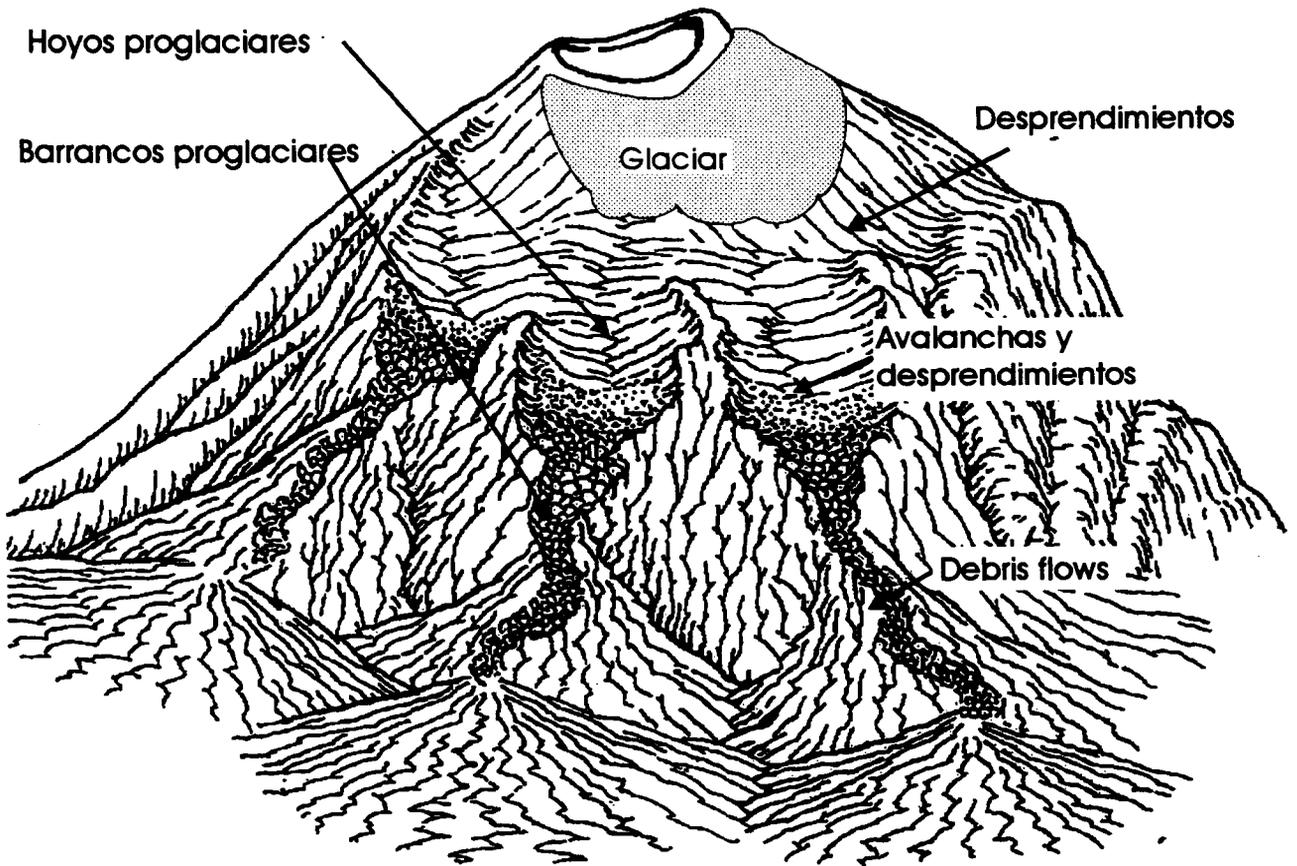
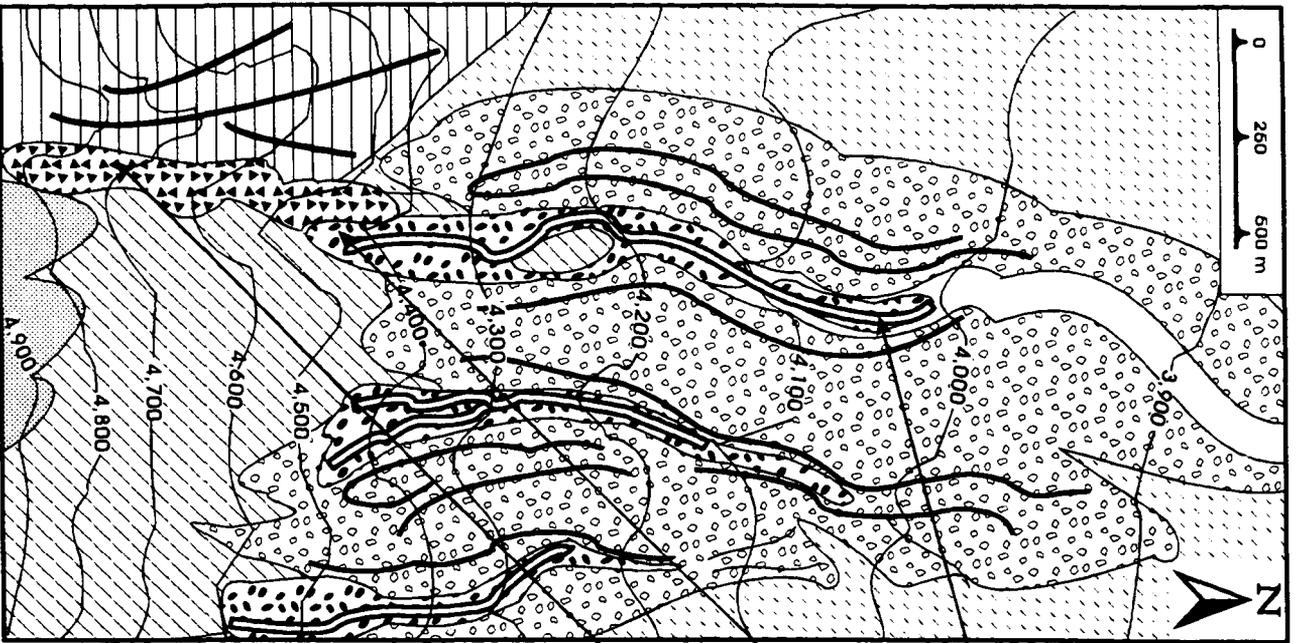


Fig. 13.B.- Procesos relacionados con la deglaciación

Figura 14.- Mapas de las unidades geomorfológicas y áreas de riesgos relacionadas con la deglaciación de los estratovolcanes de Popocatépetl y Citlaltépetl (México). (Palacios, D. y Marcos, J. de 1997.b)



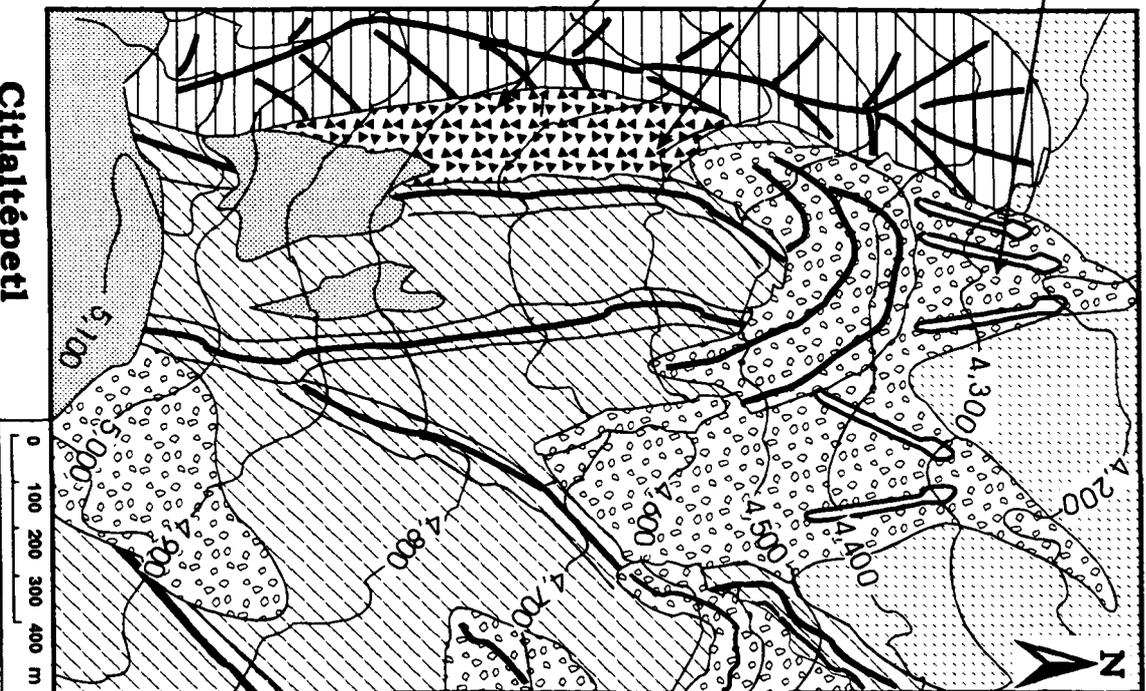
Popocatepétl

-  Área volcánica pleistocena
-  Espolones rocosos
-  Área volcánica Holocena
-  Área glaciada durante la PEH
-  Levées de lavas recientes
-  Morrenas de la PEH
-  Cordones morrénicos
-  Depósitos de avalancha
-  Talud con hielo intersticial
-  Debris flows
-  Glacier

Caidas de rocas

Avalanchas

Debris flows



Citlaltépetl