

IV Reunión de Geomorfología
Grandal d' Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds.
1996, Sociedad Española de Geomorfología
O Castro (A Coruña)

INESTABILIDAD DE VERTIENTES EN EL CURSO MEDIO DEL RÍO JARAMA

García Romero, A.

Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

En el presente artículo se estudian las áreas susceptibles a la erosión en un sector medio del río Jarama. Se parte de la identificación y caracterización de los enclaves más erosivos, para lo cual, el método consiste en el análisis de una serie de parámetros morfométricos, referentes a la densidad de drenaje, a la profundidad de la disección, a la intensidad de erosión y a las pendientes del terreno. En una segunda parte, el estudio se centra en las áreas susceptibles a la erosión, enfocandonos a explicar su origen y dinámica geomorfológica.

Palabras clave: Morfometría, erosión.

ABSTRACT

This paper examines the most susceptible areas to erosion in the central sector of Jarama valley. The areas were delimited. Afterwards, a methodology, which includes the analysis of cartography in relation to drainage density, drainage deep, erosion intensity and dip slope, was applied. The results of this study explains the origin and present dynamic of these areas.

Key words: Morphometry, erosion.

INTRODUCCIÓN

El modelado exógeno, consistente en la denudación del relieve terrestre por la acción de los procesos exógenos, es más intenso en laderas y vertientes inestables, es decir, en relieves susceptibles a la erosión. Es de notar la existencia de formas y elementos del relieve característicamente más vulnerables a la acción de los agentes exógenos, como son el lecho de los ríos, los contactos litológicos y los planos de disyunción.

El fenómeno de la disimetría fluvial en el curso medio del río Jarama es un claro ejemplo de la desigual eficacia del modelado exógeno en ambientes fluviales. La actividad morfodinámica se concentra en las márgenes de ataque fluvial, caracterizadas por ser laderas escarpadas en activo retroceso y afectadas por una dinámica que incluye procesos gravitacionales y de arroyada fundamentalmente.

Explicar la existencia de este fenómeno no es sencillo, ya que en él intervienen la totalidad de los elementos del medio y las relaciones causa-efecto que se establecen entre ellos. Destacan, de entre los componentes de

mayor interés, los inherentes a la composición litológica y a la disposición tectónica del medio endógeno, así como los referentes a las condiciones climáticas e hidrológicas del medio exógeno.

Uno de los objetivos de la cartografía morfométrica es descubrir las áreas que responden a distintas morfogénesis y explicarlas en base a la compleja gama de situaciones distintas que se dan en el medio; todo ello, a partir del análisis cuantitativo de la configuración geométrica del relieve. Tradicionalmente aplicada en áreas de gran extensión, también ha mostrado buenos resultados en estudios a escala media (ZAMORANO, 1990 y GARCÍA, 1993).

En este sentido, el objetivo central del trabajo fue aplicar una metodología morfométrica, tendente a encontrar y caracterizar las áreas más susceptibles a la erosión en ambos márgenes de un sector medio del Jarama.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA Y MÉTODOS DE ESTUDIO

El área estudiada se localiza al NE de la Ciudad de Madrid y abarca una superficie cuadrangular de 18,5 por 7,02 km, orientada de norte a sur (40°42'-40°52'N y 3°26'-3°31'W). En el plano morfoestructural, corresponde a un sector de la rampa de transición que enlaza a las estribaciones meridionales del Sistema Central con la Fosa del Tajo, también llamada Cuenca de Madrid.

La morfología que precedió al valle del Jarama era una extensa rampa de piedemonte de origen terciario, compuesta por los depósitos clásticos provenientes de la denudación de la sierra de Guadarrama. Esta unidad resultó desmantelada y fragmentada tras el encajamiento de la red fluvial durante el Cuaternario (Q1). Entre los componentes del medio que han sido determinantes en la evolución de la red fluvial se encuentran, además de las condiciones climáticas e hidrológicas, las características litológicas y la disposición tectónica de los materiales.

El proceso erosivo fue más intenso sobre los materiales detríticos que conformaron los grandes abanicos aluviales terciarios -más deleznable que los afloramientos compactos de la sierra-, resultando una clara redistribución de ellos y el afloramiento de otros que habían estado cubiertos. Todo ello propició la diversificación de los materiales aflorantes, de las morfologías asociadas a ellos, así como de los procesos del modelado exógeno. El relieve actual se compone de cinco unidades principales, enmarcadas todas en un contexto de modelado fluvial y diferenciadas por su edad, composición litológica, estructura y grado de evolución de las formas (fig 1 y cuadro 1).

Unidad del relieve	Morfología	Composición litológica	Edad
Llano aluvial del río Jarama	Terrazas fluviales bajas, lecho de inund. y lecho de crecidas extraordinarias	Gravas, cantos poligénicos, arenas, limos y arcillas	Q3 y Q4
Sa. de Guadarrama	Vertientes y subcuencas intramontanas, sobre un bloque levantado	Rocas silíceas compactas: pizarra y cuarcita	Paleozóico
Cresta de Patones	Vertientes y subcuencas intramontanas, sobre cresta monoclinial con basculamiento 30°SE	Rocas calcáreas compactas: caliza y dolomía	Cretácico
Laderas y campiñas de Valdepiélagos y Torrelaguna	Vertientes y subcuencas de piedemonte sobre formaciones sedimentarias detríticas	a) Lutitas rojas, yesos y conglomerados de yesos b) Conglomerados sobre arcosas gruesas (facies blanca) c) Conglomerados sobre arcosas finas (facies roja)	a) Paleógeno b) Mioceno Medio c) Mioceno Superior a Plioceno Inferior
Terrazas fluviales antiguas	Terrazas desmembradas y colgadas a varios niveles respecto del llano aluvial	Gravas, cantos poligénicos, arenas nódulos de carbonato y costras calizas	Q1 y Q2
Raía del Cubillo de Uceda-Mesones	Restos de la rampa detrítica de piedemonte no plenamente incorporada al sistema de drenaje actual	Ortoconglomerados silíceos con matriz arcillosa y arenosa	Plio- Pleistoceno

El fenómeno de disimetría fluvial observado en el curso medio del río Jarama se manifiesta con una evolución desigual de las márgenes fluviales. Las márgenes de ataque, situadas a uno y otro lado del cauce, son de morfología cóncava, de laderas escarpadas y con un desnivel de hasta 140 m respecto del llano aluvial. Los procesos del modelado, característicos de estas áreas son los fluviales y de vertientes.

El proceso de investigación consistió de dos fases fundamentales. En la primera se definieron las áreas de intensa morfogénesis, para lo cual, se aplicó una metodología de origen soviético, retomada -en español- de los trabajos realizados por LUGO (1988), ZAMORANO (1990) y GARCÍA (1993), sobre evaluación de riesgos naturales en la Cuenca de México, consistente en el análisis cuantitativo del relieve a partir de la elaboración de una serie de mapas morfométricos elementales. En la segunda fase se realizó la geomorfología de las áreas de intensa morfogénesis, a partir de un análisis comparativo de los enclaves característicos de patrones morfogenéticos distintos.

Para la selección de las áreas de intenso modelado, se partió de conceptos sencillos y esenciales de geomorfología (GERRARD, 1993), mismos que se sintetizan en dos puntos: a) El valor de la erosión causada por las corrientes de los ríos es mayor en sectores del relieve intrínsecamente más sensibles a la acción del medio y, b) Los gradientes altos dinamizan los procesos del modelado en cuanto que implican una acción más directa e intensa de la fuerza de gravedad terrestre.

Dado lo anterior, se consideró necesario realizar el estudio de la erosión

efectuado por la escorrentía superficial. Se evaluaron dos mapas, el de densidad de drenaje y el de profundidad de disección (fig. 2a y b), cuyos contenidos son complementarios, ya que mientras en el primero se evalúa la red fluvial vista en planta, en el segundo se hace a través de un plano vertical. Se consideró también el análisis de la distribución de los valores de pendiente (fig. 2c).

Otro mapa de evaluación del relieve es el de intensidad de erosión (fig. 3a), el cual muestra el valor de la erosión fluvial incluyendo, además del estado actual de la disección, la vulnerabilidad del relieve a ser erosionado. Es un mapa muy completo en el que se relacionan la densidad de disección y la pendiente, según la siguiente fórmula aritmética:

$$I_d = D_d * \tan(a) / A$$

Donde:

I_d = Intensidad de erosión en km/km^2

D_d = Densidad de drenaje en km/km^2

$\tan(a)$ = Tangente de la pendiente máxima del terreno

A = Área de la muestra

Finalmente se elaboró el mapa de susceptibilidad a la erosión, que muestra las áreas más erosivas y con una mayor disposición a presentar procesos intensos de erosión. Es un mapa integral, ya que resulta de la síntesis de los distintos parámetros analizados anteriormente (valores medios y altos de densidad y profundidad de drenaje y de intensidad de erosión; fig. 3b).

SUSCEPTIBILIDAD DE EROSIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LAS VERTIENTES INESTABLES

El análisis integrado de la cartografía morfométrica permite ver una clara similitud en la configuración espacial de los distintos parámetros estudiados, mismos que son complementarios y en conjunto resaltan la existencia de áreas altamente inestables y susceptibles a la acción de los agentes exógenos. Fueron identificados dos patrones de respuesta del relieve, según se trate de ámbitos de baja o alta susceptibilidad a la erosión.

a) Relieves poco susceptibles a la erosión (fig. 3b). Abarcan una amplia extensión de la mitad sur del área estudiada, correspondiendo morfológicamente con el llano aluvial y con las terrazas bajas del río Jarama. Les distinguen valores bajos de densidad (0,0 a 6,0 km/km^2), profundidad (0,0 a 10,0 m) e intensidad de erosión (0,0 a 3,0 km/km^2). La transición espacial de los valores se realiza a través de cambios graduales y moderados, favorecidos por una mayor planitud y regularidad en la topografía. Están genéticamente asociados a la insistente migración lateral del cauce del Jarama, que se muestra separado de éstos enclaves.

b) Relieves muy susceptibles a la erosión (fig. 3b). Se distribuye esta categoría en enclaves específicos de la unidad de la Sa. De Guadarrama, así como en las laderas y campiñas de Valdepiélagos y Torrelaguna. La intensa morfogénesis está representada por valores moderados y altos de erosión fluvial, es decir, por arriba de 9,0 km/km^2 de densidad de drenaje, 10,0 m de

profundidad de disección y $3,0 \text{ km/km}^2$ de intensidad de erosión. Se trata de relieves en estado de alta inestabilidad, con continuas puestas en actividad de procesos intensos del modelado exógeno.

La topografía condiciona la distribución espacial de los enclaves, así como la forma de transición entre los distintos valores. Destacan fuertes contrastantes de erosividad en la zona de contacto entre las vertientes marginales y el llano aluvial del Jarama, así como en el interior de algunos barrancos de la red secundaria, todos asociados a la evolución de márgenes de ataque fluvial. La transición hacia valores más bajos en la raña ha sido considerada de poco interés, dada la ubicación altitudinal de ésta última (860,0 m), en un nivel aún no integrado plenamente a la red fluvial.

La distribución espacial de estas áreas es un aspecto complejo, dados los numerosos factores que intervienen. Existen en el área de trabajo cuatro grandes superficies altamente erosivas, las cuales se distribuyen en amplias extensiones del área de montaña y en las laderas y campiñas. El llano aluvial y las terrazas antiguas están exentas de desarrollar procesos erosivos intensos. Cabe señalar que no todas las áreas indicadas como de intensa erosividad son actualmente activas. Tal es el caso de las vertientes intramontanas que, pese a estar ciertamente inestables, muestran en la actualidad un proceso de estabilización, manifiesto en el recubrimiento arbustivo que es generalizado en el interior de las subcuencas de captación.

ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS VERTIENTES INESTABLES

El fenómeno de asimetría fluvial en el valle del Jarama está controlado por dos aspectos del medio: a) la dinámica hidrológica del río Jarama, caracterizada por la evolución disimétrica de sus márgenes y b) la composición litológica y disposición estructural de los materiales aflorantes.

Los materiales más susceptibles a la erosión son, por una parte, los depósitos detríticos de arcosas del Terciario Medio y Superior y por la otra, los estratos yesíferos del Paleógeno. Fueron identificados dos patrones de evolución de laderas, determinados por el tipo de litología y por las condiciones que imprime la dinámica fluvial.

El primer patrón se presenta en las vertientes y campiñas de Valdepiélagos y Torrelaguna. Es característico de escarpes fluviales en los que aflora una secuencia de capas de yesos, lutitas y conglomerados con matriz yesífera, todos los cuales subyacen a depósitos arcoscicos de la facies roja. La inestabilidad en estas laderas se gesta en los afloramientos yesíferos y está asociada al proceso de socavación que ejerce el río Jarama al pie de los escarpes, los cuales quedan sometidos a diversas acciones del modelado exógeno. Los procesos característicos son de fuerte control gravitacional -caída libre, deslizamientos rocosos y arroyada concentrada- y suelen presentarse de manera asociada, es decir, donde la acción de un proceso es favorable para la ocurrencia de otros. El modelado sobre los yesos conduce a una reactivación de los sistemas erosivos en las unidades litológicas sobreyacentes (arcosas de la facies roja) donde es característica la formación de cárcavas y de "badlands" (fig. 4).

El segundo patrón ocurre sobre las arcosas de la facies blanca y se distingue por el predominio de la arroyada y de los deslizamientos de tierra,

además de por la casi ausencia de fenómenos de caída libre. De la misma forma que en el caso anterior, la dinámica de laderas está asociada a la evolución de márgenes de ataque fluvial, en este caso sobre materiales poco cohesivos.

La actividad de los sistemas de erosión inicia cuando se pierde el soporte en la base de las laderas, con la consecuente formación de planos de diaclasamiento (tipo falla panameña), sobre los cuales el material superficial se desliza desde el escarpe. La morfología que resulta es cóncava, por lo que favorece la acumulación de humedad en los sectores más deprimidos y la ocurrencia de nuevos asentamientos del material, así como el emplazamiento de surcos que posteriormente evolucionan a sistemas de arroyada (fig. 5).

CONCLUSIONES

A) RELATIVAS AL MÉTODO

- El estudio del relieve debe considerar la compleja funcionalidad del medio. Para ello, existen métodos de análisis que evalúan no los procesos en sí, sino las huellas que dichos procesos imprimen en el relieve.

- El estudio del relieve mediante la aplicación de la cartografía morfométrica permite una primera aproximación al análisis geomorfológico, particularmente útil en la definición de áreas de distinta morfodinámica. El estudio detallado de dichas áreas requiere de otras bases metodológicas.

B) RELATIVAS AL CASO

- Se identificaron siete enclaves susceptibles a desarrollar procesos erosivos intensos, todos asociados a litologías altamente deleznable. La secuencia conformada por capas de yesos que subyacen a depósitos arcósicos de la facies roja, constituye un ambiente propicio para la ocurrencia de procesos de caída libre, deslizamientos y arroyada. Sobre los depósitos arcósicos de la facies blanca, predominan la arroyada y los deslizamientos.

BIBLIOGRAFÍA

- BIRKELAND W., P. y LARSON E., E. (1989). Surficial processes. *Putnam's geology*, Cap. III. Oxford University Press. pp. 282-587. New York, USA.
- CLARKE, J. I. (1966). Morphometry from maps. *Enssays in geomorphology*. (G.H. Dury). p.235-274. London, U.K.
- GARCÍA R., A. (1993). *Análisis geomorfológico de la distribución de riesgos naturales en la Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.* Tesis U.N.A.M. p. 164. México.
- GARZÓN G. Y ALONSO A. (1995). Variabilidad holocena e histórica de un río meandriforme de gravas (río Jarama, Madrid). *Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario*. Col. Monografías del Centro de Ciencias Medioambientales, no.3. C.S.I.C. pp.93-102. Madrid, España.
- GERRARD, A. J. (1993). Landscape sensitivity and change on Dartmoor. *Landscape sensitivity*, Cap.5. (D.S.G. Thomas y R.J. Allison). John Wiley and sons. pp. 49-63. London, U.K.
- LÓPEZ V., F. y PEDRAZA G., J. (1976). Síntesis geomorfológica de la Cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. *Estudios Geológicos*, no.32. pp. 499-508. Madrid, España.

- LUGO H., J. I. (1988). *Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*. Instituto de Geografía, U.N.A.M. p. 127. México.
- ORTÍZ P., M.A. (1987). Los cambios de nivel de base como mecanismo morfogenético de la asimetría de valles. *Boletín del Instituto de Geografía* no. 17. Instituto de Geografía, U.N.A.M. pp. 9-44. México.
- PORTERO G., J.M. y OLIVE D., A. (1983). El terciario del borde meridional del Guadarrama y Somosierra. *Libro jubilar J.M. Ríos Geología de España*. Tomo II, Cap. IV.3.2. Inst. Geol. Y Min. de Esp. pp.527-543. Madrid, España.
- RICE, R.J. (1983). Denudación subaérea. *Fundamentos de geomorfología*, Parte 2. Paraninfo. pp. 96-227. Madrid, España.
- SMALL, R. J. (1989). Fluvial Processes and landforms. *Geomorphology and hidrology*. Logman. pp. 25-50. New York, USA.
- TRICART, J. (1965). Análisis morfométricos. *Principes et methodes de la geomorphologie*. Masson et C. pp. 175-179. París, Francia.
- TRICART, J. (1969). *La epidermis de la Tierra*. Labor S.A. Barcelona, España.
- ZAMORANO O., J. J. (1990). *Análisis ingeniero-geomorfológico de la Cuenca de México*. Tesis Doctoral, Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. p. 234. Moscú, U.R.S.S.

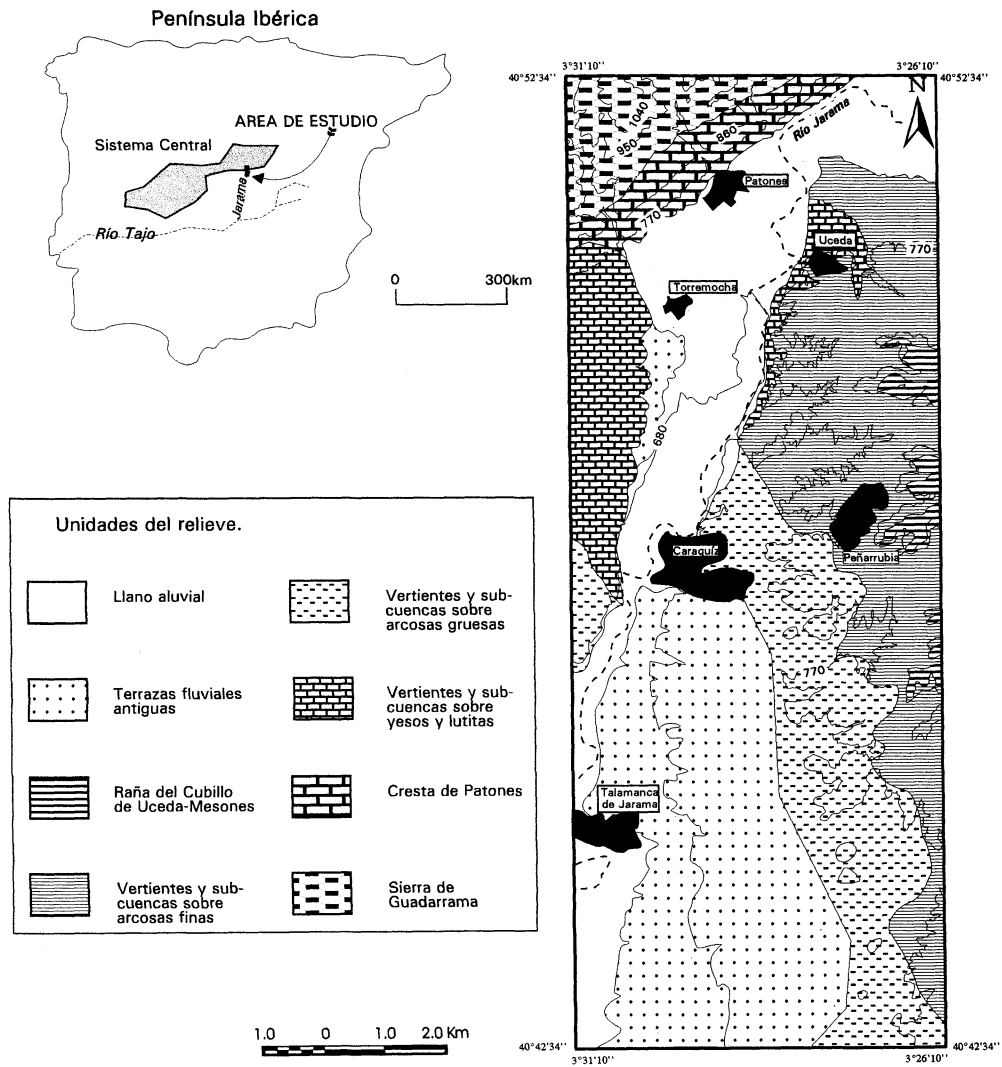


Fig. 1. Localización del área y de las unidades del relieve.

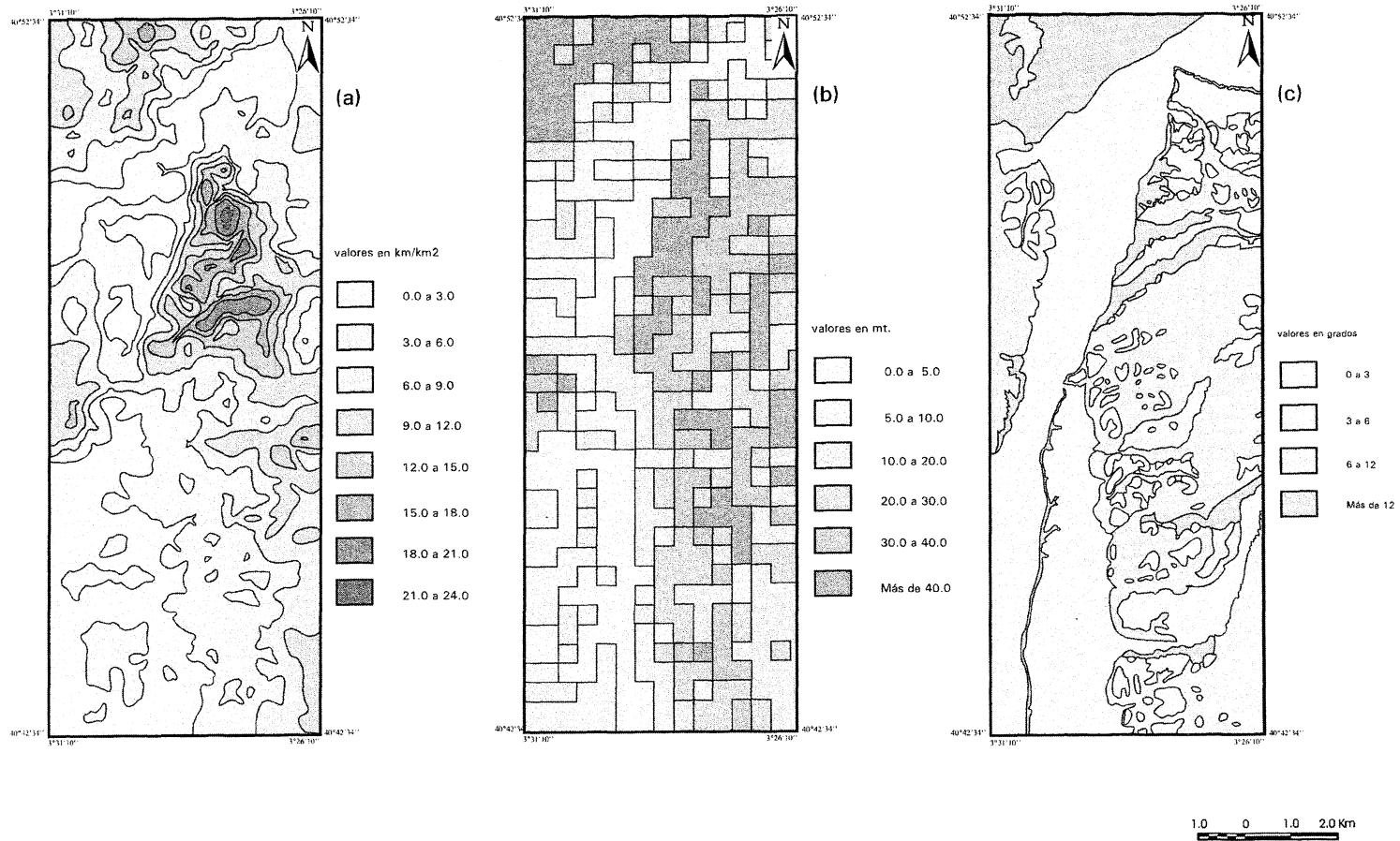


Fig. 2. Distribución de tres parámetros morfométricos. En a) Densidad de drenaje, en b) Profundidad de disección y, en c) Pendientes del terreno.

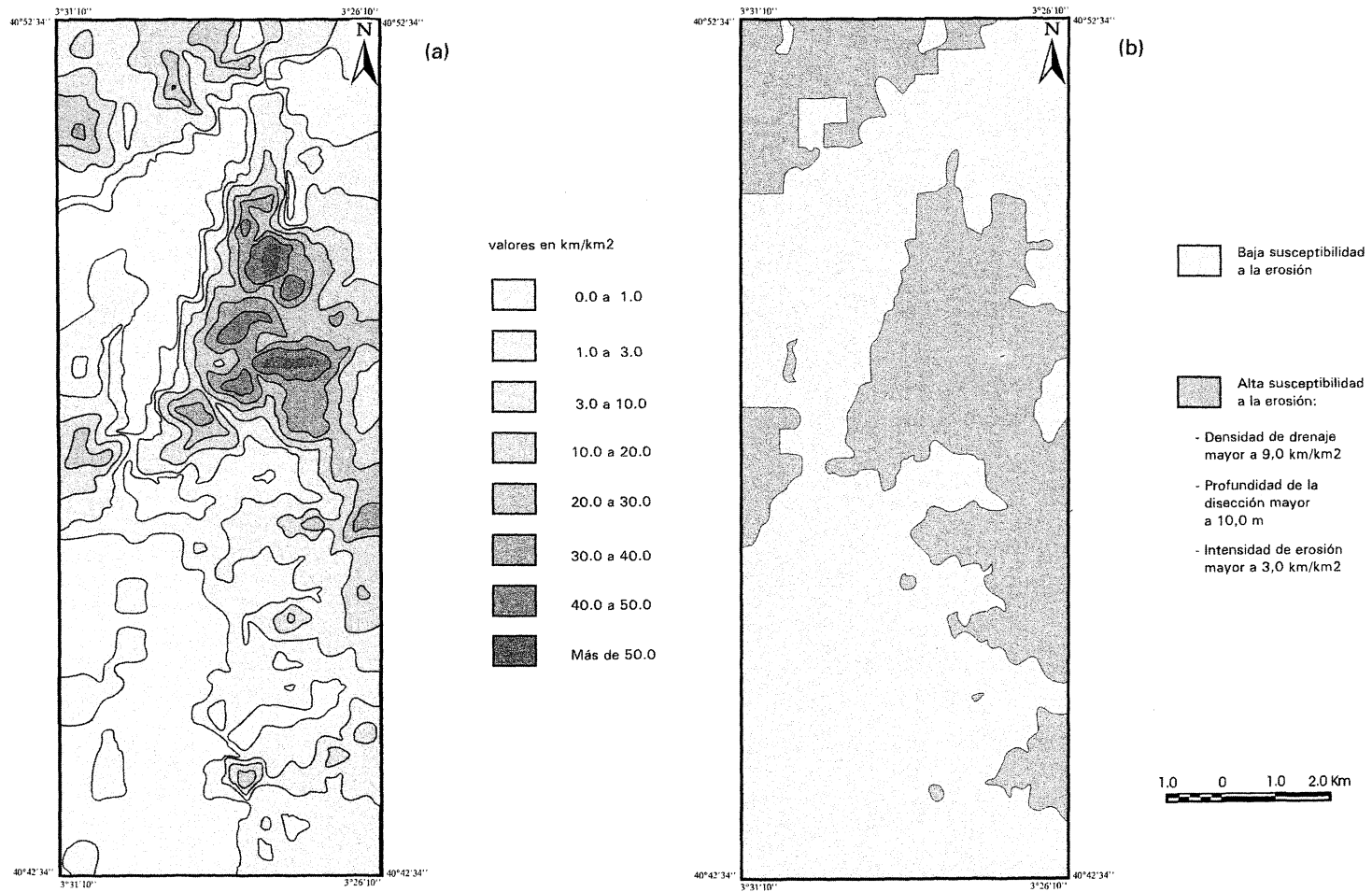


Fig. 3. En a) Intensidad de erosión y, en b) Susceptibilidad a la erosión

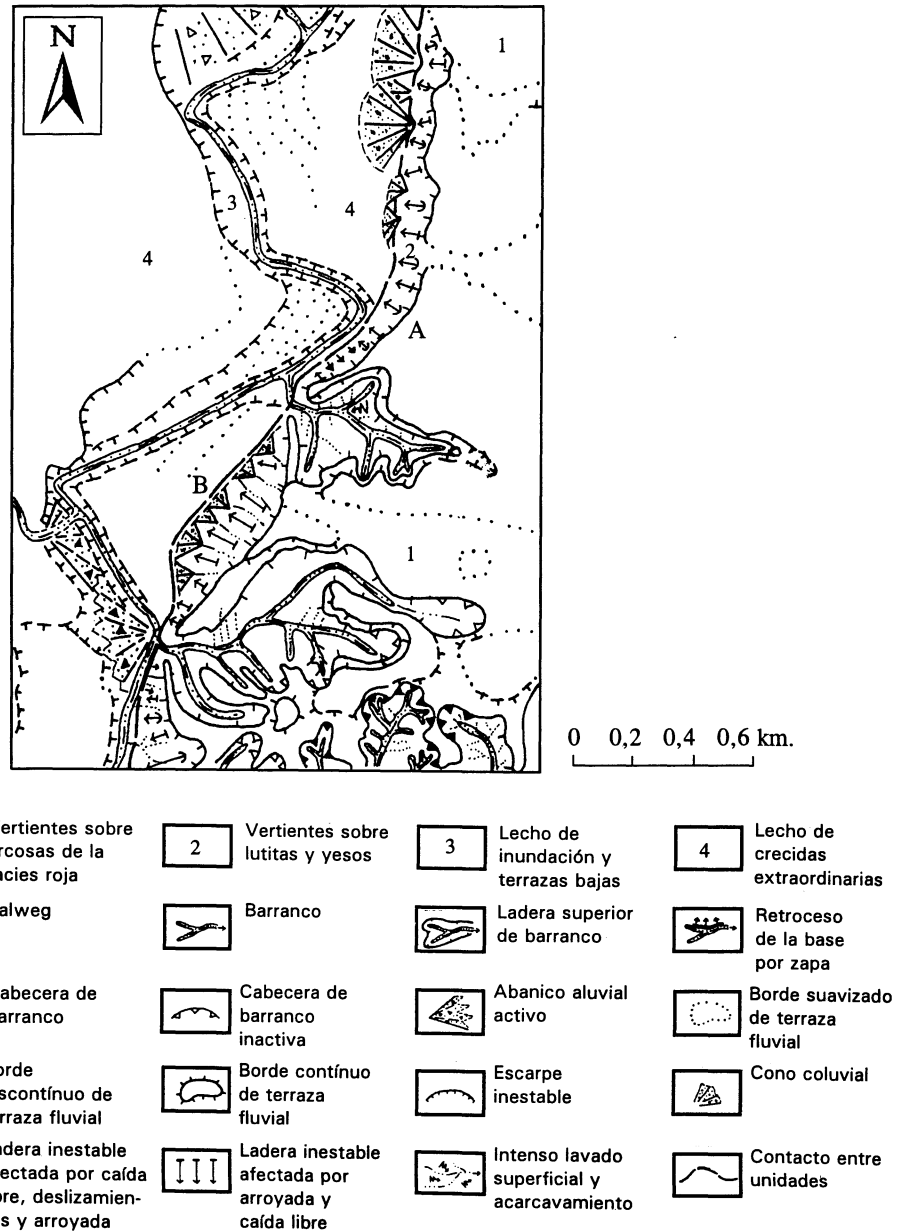


Fig. 4.- Geomorfología de un segmento del río Jarama, a su paso por la zona de contacto entre la llanura aluvial y las laderas y campiñas de Valdepiélagos y Torrelaguna. En (A) se observa un margen de ataque sobre yesos y la formación de escarpes activos, con presencia de procesos asociados (caída de rocas, deslizamientos y arroyada). En (B) se ve un antiguo margen de ataque, más estable que el anterior, con formación de depósitos de cono y talud de coluviones.

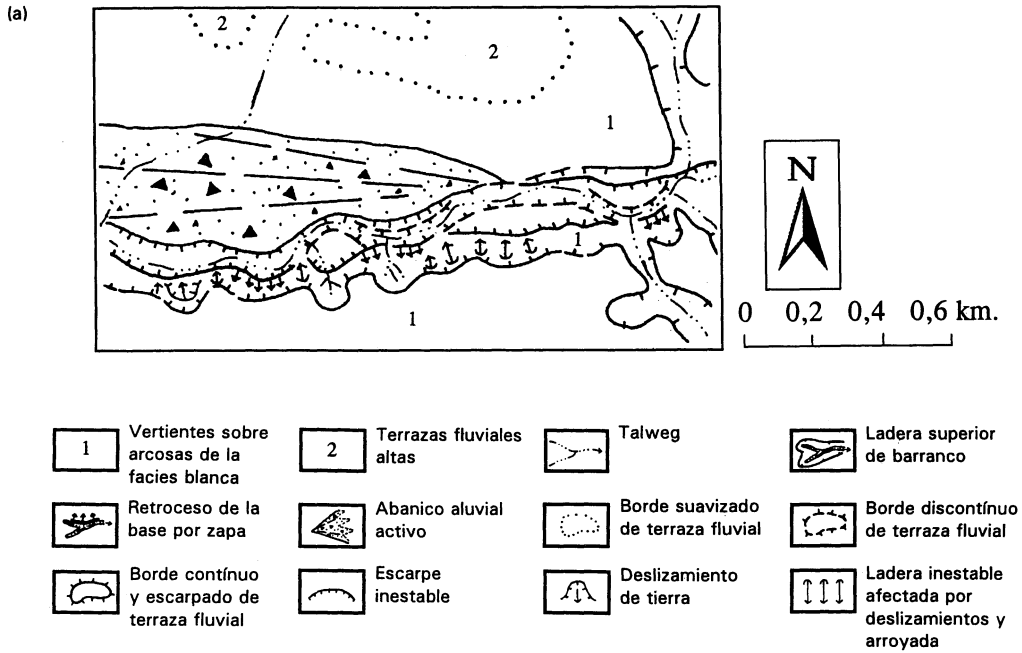


Fig. 5. En (a), geomorfología de un valle secundario en el área de laderas y campiñas de Valdepiélagos y Torrelaguna; se observa una márgen de ataque con presencia de procesos asociados (deslizamientos y arroyada concentrada). En (b), el retroseso de las laderas del valle se realiza a partir de deslizamientos asociados a la formación de "fallas panameñas".