

J. M. BERNABÉ MAESTRE
A. CALVO CASES

ALGUNOS EJEMPLOS DE VERTIENTES DE CANTIL - TALUD EN LES VALLS D'ALCOI

Las vertientes de cantil y canchal han sido tratadas ya anteriormente al ser antigua la preocupación por el tema en nuestro Departamento de Geografía, por lo que este trabajo es ampliamente deudor de las publicaciones resultantes¹. La nota es resultado de la labor realizada durante el curso 1978-1979 y su posible interés reside en las ideas que se obtuvieron por la aplicación de una óptica penckiana al análisis de las formas de los perfiles con cantil y talud, que han sido estudiadas en numerosas ocasiones en nuestro Departamento.

Los casos analizados corresponden todos a la zona de les Valls d'Alcoi, un área donde abundan los ejemplos de vertientes con canchal. Se localizan en alturas comprendidas entre los 500 y los 1.000 m s. n. m. y, por tanto, poco afectados por heladas actuales. Las condiciones litológicas y estructurales son muy variadas, aunque siempre se encuentran en áreas tectonizadas y en rocas resistentes.

CUESTIONES TEÓRICAS ACERCA DE LA EVOLUCIÓN DE VERTIENTES DE CANTIL-TALUD

Como ya hemos dicho, lo que podría ser más interesante es la serie de ideas que pueden desprenderse de la consideración de la vertiente desde una óptica que, *grosso modo*, podríamos considerar penckiana, utilizando como

¹ ROSSELLÓ VERGER, V. M., "Los canchales de montaña calcárea y los factores termoclasticos"; GINÉS ESCUDER, A., y MATEU BELLÉS, J. F., "Fenómenos de clima frío en el Alt Maestrat"; LÓPEZ ONTIVEROS, A., y MORALES GIL, A., "Los derrubios de ladera en la sierra de "El Carche" (Murcia)"; BERNABÉ MAESTRE, J. M., "Vegetación y morfología en las pedrizas de la montaña media", *Actas de la II Reunión del Grupo de Trabajo de Cuaternario*, Jaca, 1977.

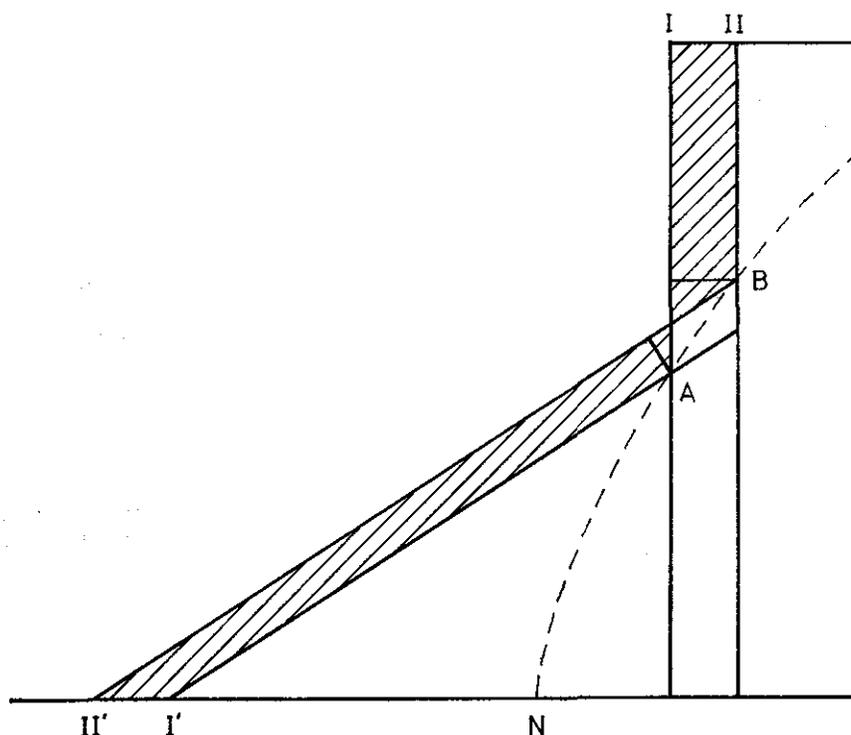


Fig. 1.—Perfil teórico de vertiente de cantil-talud según O. Fisher simplificado. I-II, retroceso del cantil. I'AII', aumento del talud en un periodo de tiempo. I'AN, talud de derrubios. NAB, núcleo rocoso cubierto por los derrubios.

modelo de referencia el esquema evolutivo de FISHER-LEHMANN². Dicho modelo supone una cara de cantil inicial de altura y ángulo determinados, con llanos por encima y por debajo. Se acepta que la totalidad de la cara está igualmente expuesta a la meteorización y que en una unidad de tiempo una capa uniforme se desprende de ella. Este material se acumula en la base como un talud, formando una vertiente rectilínea de ángulo α , con cuya pendiente los derrubios son estables (entre 30 y 35°). La recesión del cantil, combinada con el talud de acumulación, tiene como consecuencia la formación de un ánima rocosa, enterrada debajo del talud. El modelo supone que el ánima rocosa está protegida de ulteriores cambios de forma. La altura del cantil residual se reduce progresivamente en la medida que aumenta el talud de acumulación.

² FISHER, O., "On the disintegration of a chalk cliff", *Geol. Mag.*, 3, 1866, pp. 354-356, reproducido en SCHUMM, S. A., and MOSLEY, M. P., *Slope Morphology*, Benchmark Papers in Geology, Stroudsburg, Pennsylvania, 1973, pp. 112-114; YOUNG, A., *Slopes*, Logman, London, 1972, pp. 105-109.

Este esquema asocia dos formas: el cantil —forma de erosión— con el talud —forma de acumulación—. El material desprendido del cantil se deposita en la base, constituyendo el talud, que, al crecer, va enterrando el cantil y resguardándolo de la meteorización posterior. La forma de la vertiente en cada momento depende de:

- a) La forma inicial de la vertiente ³.
- b) El modo de acción de los procesos.
- c) Los controles externos.

A la pendiente inicial del cantil se le supone entre 45° y 90° (en el modelo de FISHER se suponía vertical). El cantil es una forma sujeta a control por meteorización y con remoción instantánea, por lo que se hipotetiza un retroceso en paralelo. La velocidad de retroceso del cantil se estima sujeta a un control climático ⁴. El control externo más importante es la remoción en la base. El aumento de volumen que experimenta la roca al fragmentarse interfiere entre procesos de alimentación y de remoción del talud. Se pueden distinguir dos casos: remoción libre, cuando todo el material es evacuado en la medida en que cae, y remoción impedida, cuando queda almacenado al pie del cantil. Si la remoción es impedida el ánima rocosa tendrá una forma de parábola cuya asíntota será la pendiente recta del canchal. Si la remoción es libre no se formará talud; en su lugar encontraremos una rampa rocosa con una pendiente igual a la que tendría el talud, caso de encontrarlo. Esta se desarrollaría hasta eliminar el cantil, formando una vertiente de RICHTER. Si la capacidad de transporte del río al pie es mayor que la carga facilitada por la vertiente se producirá una incisión y una convexidad en la parte baja. Si son iguales, la situación será estable y el talud, o rampa, será una vertiente recta de transporte; si es menor, se producirá una acumulación y una concavidad. Con el tiempo pueden cambiar las condiciones de alimentación o remoción de un talud. Además el material del talud está sujeto a movimientos de reacomodación y puede ser meteorizado adicionalmente, perdiendo una parte importante de su masa e incluso de su volumen. La meteorización química puede afectar también al núcleo rocoso.

Para el estudio del funcionamiento del material en el canchal disponemos de una aportación útil ⁵ basada en la consideración del canchal como una *cola de espera*. Los cuatro estadios básicos en la teoría de las colas pueden

³ SCHEIDEGGER, A. E., *Theoretical Geomorphology*, Springer-Verlag, Berlín, 2.ª ed., 1970, pp. 119-123.

⁴ En realidad la velocidad de retroceso del cantil está también sujeta a control estructural; en este sentido cuenta el grado de diaclasamiento y el ángulo de buzamiento, así como el tipo de roquedo. En el modelo se hipotetiza una estructura homogénea. El proceso que se supone más importante es la gelivación de la roca como consecuencia de que la tasa de meteorización máxima se produce en climas fríos.

⁵ THORNES, J. B., "State, environment and attribute in scree-slope studies", *apud* BRUNSDEN, D. (Ed.), *Slopes, form and process*, I. B. G., London, 1971, pp. 49-63.

ser relacionados con situaciones que normalmente se encuentran donde hay canchales. El estado *A* se produce cuando prevalecen condiciones de suministro y remoción limitados. El estado *B* se consigue cuando hay suministro de materiales, pero no remoción desde la base, en tal caso la cola aumenta y con ello va cubriendo el cantil y reduciendo la alimentación hasta que se alcanza un *estado estable*⁶. En el estado *C* la alimentación está impedida, pero la remoción es libre, lo que da lugar a formas de perfil truncado (ver fig. 3) y representa claramente un estado transitorio que puede terminar cuando el número de partículas en la cola llega a cero. En el estado *D* operan tanto el suministro como la remoción y se alcanza una condición de *estado estable* cuando el número de partículas en la cola se mantiene constante, lo cual implica que se igualan entradas y salidas de masa, aunque no forzosamente, puesto que puede suponerse pérdida por meteorización durante el tiempo de espera.

El método de trabajo de campo ha consistido básicamente en el levantamiento de perfiles utilizando un pantómetro de PITTY, anotando adicionalmente las características ambientales que permiten interpretar el perfil (tipo de suelo y cobertera vegetal).

L'ULL DEL MORO

Es una elevación orientada de SW a NE y formada por un anticlinal de calizas pararrécifales del Ilerdiense, situado a 3'5 Km al este de la ciudad de Alcoi y delimitado por depósitos de margas oligocenas. Está afectado por una intensa tectónica que se refleja en la presencia de fallas transversales a la estructura y por un denso diaclasamiento del material.

Los perfiles realizados en la vertiente noroeste de l'Ull del Moro presentan tres tramos claramente diferenciados: el canchal, el ánima rocosa exhumada o parte convexa del perfil y el cantil (fig. 2-a).

El perfil típico de una vertiente de talud consta de un segmento recto en la parte alta con unos 35° de pendiente, separado del cantil por una rotura de pendiente⁷. En la parte baja, y abarcando más de la mitad del perfil, una amplia concavidad⁸. En nuestro caso encontramos en la parte alta una convexidad labrada en roca madre que comprende un segmento recto de 35°

⁶ Es traducción de la expresión inglesa *steady state*, que caracteriza a los sistemas abiertos en situación de equilibrio dinámico. Se ha traducido también como *estado uniforme, independiente del tiempo*. VON BERTALANFFY, L., *Teoría general de los sistemas*, F. C. E., Méjico, 1976, 311 pp., cf. p. 39, por ejemplo.

⁷ La capa de casajo disminuye en potencia al ascender por la vertiente, llegando a desaparecer en las proximidades del cantil, formándose aquí una rampa rocosa con la misma pendiente que el talud.

⁸ YOUNG, A., *op. cit.*, pp. 119-135. En la descripción se ha utilizado la terminología de SAVIGEAR: Segmento (S) es un tramo recto del perfil de la vertiente. Elemento es un tramo curvilíneo que puede ser cóncavo (V) o convexo (X).

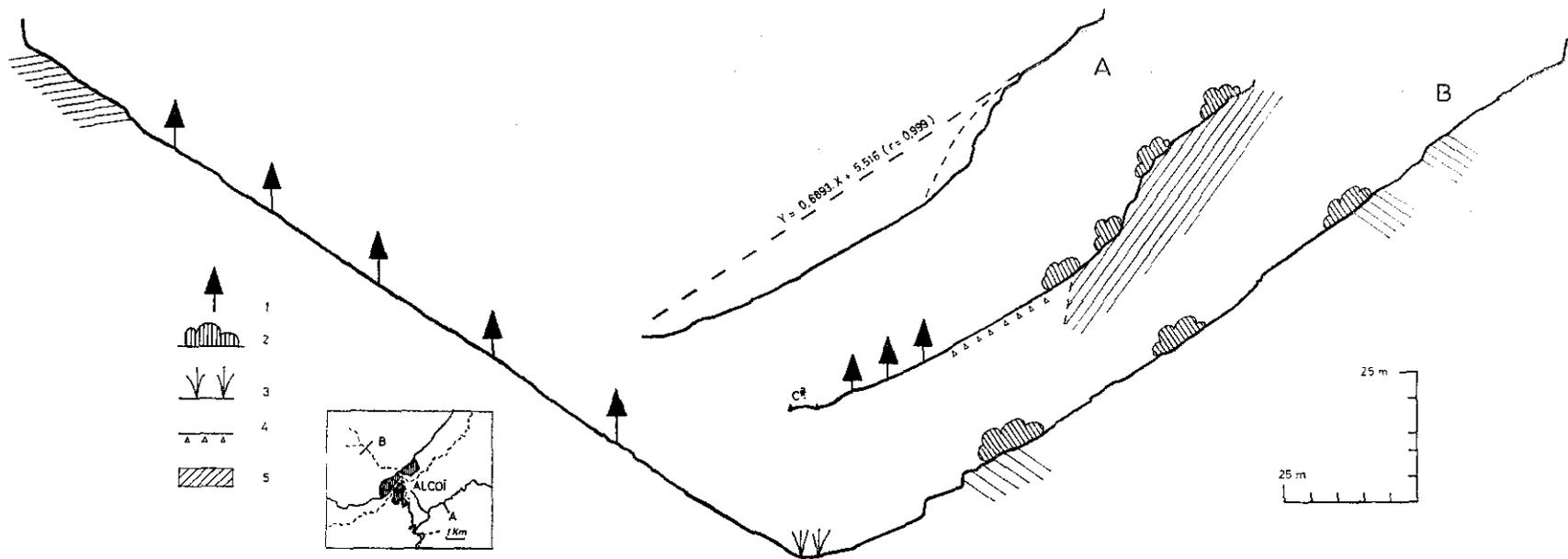


Fig. 2.—Perfiles de vertientes: A) En l'Ull del Moro. B) En el Barranc del Cint. 1, *Pinus halepensis*; 2, garriga; 3, prados húmedos; 4, canchal; 5, roca dura.

seguido hacia abajo por una convexidad bien pronunciada, y a continuación una pequeña rampa de 45°. Todo el conjunto está coronado por el cantil. El canchal muestra un perfil típico formado por un segmento de 20'7 m, con pendiente de 31° y un amplio elemento cóncavo de 19'5 m que pasa de los 30° en la parte alta a 5° al pie. Todo ello formado por clastos de tamaño medio, aunque alternan algunos bloques de gran volumen, sin matriz, salvo en los lugares en que la vegetación se ha desarrollado. Todos los indicios conducen a pensar que no existe suministro de material por parte del cantil. Así, nos ha llamado la atención la ausencia de fragmentos de roca «frescos» en la parte alta, siendo los ángulos de pendiente bastante bajos y la colonización vegetal considerable. Por ello creemos que se encuentra en el estado *A* descrito anteriormente, de paralización de los procesos espontáneos de suministro y remoción, funcionando solamente los procesos de remodelación interna del talud.

La anomalía ofrecida por el elemento convexo que corona al talud podría explicarse si suponemos que se trata de un antiguo núcleo rocoso perteneciente a un depósito bastante más potente que el actual. Puesto que la estructura buza en este punto 54° (340° E), parece difícil que pueda darse una explicación estructural. Por otra parte, la rampa superior presenta una pendiente de 35° que es semejante a la de estabilidad de los derrubios y el conjunto puede estimarse como parabólico, con lo que se puede afirmar que existe una gran semejanza entre la forma real y el modelo teórico. A esto puede añadirse la falta de rampa rocosa en la parte superior del canchal. Para admitir la hipótesis de que estamos ante un núcleo rocoso habría que suponer una génesis en condiciones de remoción impedida y un cambio posterior hacia un estado del tipo *D* de THORNES. Disponemos de noticias de la utilización de estos depósitos para la preparación de la carretera inmediata, y podemos suponer su empleo como áridos en las construcciones de la ciudad vecina. Esta hipótesis parece más plausible al considerar que los canchales alejados de la carretera, pero dentro de la misma vertiente, presentan rampas rocosas en la parte alta del talud y carecen de convexidad intercalada entre el cantil y el talud; es razonable pensar que la diferencia reside únicamente en la accesibilidad para extraer los áridos y hemos encontrado testimonios de esta actividad en la topografía de detalle.

En resumen se trata de una vertiente de cantil y talud que ha evolucionado en dos fases. En la primera el balance de funcionamiento fue ampliamente favorable a la alimentación, tratándose, por tanto, de un estado del tipo *B*. En esta etapa se formó el talud y el ánima rocosa al retroceder el cantil. En una segunda etapa el balance es favorable a la remoción, aunque presumiblemente por causas antrópicas, y, en consecuencia, ha quedado exhumada el ánima rocosa. La proyección de la rampa superior del núcleo, utilizando el método de mínimos cuadrados, nos da una idea de la antigua superficie hipotética del canchal (fig. 2-a).

BARRANC DEL CINT

Procede de la Serra Mariola y es afluente del Riu d'Alcoi, por su izquierda. Durante los últimos kilómetros de su recorrido forma un profundo cañón al encajarse en la serie del Mioceno superior de conglomerados y areniscas calcáreas, presentes allí como facies local. Las vertientes de este encajonamiento nos ocupan seguidamente.

El retroceso de las laderas ha dado lugar a un valle simétrico, cuyo perfil transversal (fig. 2-b) comprende sendas vertientes de unos 38° y perfil recto coronadas por paredes verticales de 35 m de altura. En los cantiles la meteorización actúa según litología, dando lugar a una abundante variedad de formas de meteorización diferencial: principalmente cuevas en los conglomerados y nichos de disgregación en las calcoarenitas.

Las cuevas parecen ser producto de la disolución, puesto que aparecen siguiendo las líneas de debilidad, por donde circulan las aguas meteóricas. Los carbonatos de la matriz son disueltos y arrastrados hacia la superficie, donde se depositan, formando una lámina travertínica que impide el desprendimiento de los cantos. En la medida en que migran los carbonatos de la matriz crece el espesor de la película superficial y, por tanto, su resistencia a la carga, pero también aumenta la cantidad de cantos sueltos por pérdida del cemento y, por tanto, la carga es mayor. Cuando la carga de cantos sueltos supera la resistencia de la lámina, el proceso se colapsa y caen. Estas cuevas alcanzan dimensiones de varios metros de diámetro y se profundizan hacia el interior con sección decreciente. El fondo aparece tapizado por comunidades de *Adiantetea*.

Los nichos son pequeñas cavidades que se organizan siguiendo las diaclasas y cuyo origen parece estar en la disgregación granular de la calcoarenita por disolución de los carbonatos del cemento. También es posible encontrar formas mayores con signos de descamación semejantes a los *taffoni*.

Al pie del cantil, y hasta el centro del valle, las márgenes están formadas por sendos tramos rectilíneos de longitud superior a 200 m y una pendiente media de 38°. Esta gran rampa aparece dividida, a su vez, en tres elementos esenciales. La parte superior forma un elemento convexo de 35 m de longitud y 37° de pendiente media. La roca madre está desprovista de cubierta continua de derrubios. Una franja de vegetación nos habla del escaso volumen de la alimentación en estos momentos, lo que también confirma la falta de testigos de desprendimientos recientes.

El tramo medio constituye un segmento de 100 a 120 m de longitud, según la ladera que consideremos, y 36° de pendiente. Se encuentran allí irregularidades de detalle, bien producto de las alteraciones litológicas entre calizas y margas o bien por la presencia de abarrancamientos y mogotes de antiguos depósitos de ladera coronados por grandes bloques. El roquedo también aflora ampliamente, aunque son frecuentes los sectores tapizados por canturreal suelto.

La parte baja de la vertiente forma un elemento convexo de longitud entre 65 y 70 m y con pendiente media de 39 a 40°. Esta forma es producto del último encajamiento del barranco, que ha supuesto una ruptura del equilibrio de la ladera. También existen aquí irregularidades de detalle de orden estructural o producto de la erosión selectiva de la capa de regolita, formada por cantos englobados en una matriz arcillosa de color rojizo, algo más potente que en la sección anterior.

En la génesis de estas laderas consideramos dos fases claras: En primer lugar, el retroceso del cantil en condiciones de alimentación y remoción equilibradas (*estado estable* en condiciones de tipo *D*). En consecuencia, suponemos un funcionamiento como vertiente de transporte que da lugar a un perfil rectilíneo con pendiente semejante a la de las vertientes de RICHTER. Durante este primer período se mantenía sobre el talud una capa de derrubios de potencia variable, pero nunca superior a un metro, de la cual quedan los mogotes aislados arriba mencionados. Posteriormente la relativa paralización de la alimentación y el encajamiento del cauce en la base, causante de la convexidad del pie de las vertientes, ha desencadenado un proceso de remoción de toda la capa de regolita, llegándose a abarrancamientos sobre los niveles de margas.

BARRANC DEL MALAFÍ

Es un barranco encajado en las calizas subhorizontales de la Serra d'Alfaro, que aprovecha una línea de debilidad provocada por una serie de fracturas y fallas con dirección E-W. El valle parece que desaguó en otro tiempo hacia el W, pero en la actualidad el Barranc de Malafí lo hace hacia el E. La capacidad de arrastre de material debe haber sido escasa en algún momento de su evolución y aun hoy aparece relleno por coluviones de las laderas, siendo semejante a un cauce muerto. Vamos a estudiar específicamente la vertiente orientada al N (fig. 3).

Un detalle interesante aquí son las formas producidas por la erosión diferencial en el cantil, especialmente la aparición de profundos entrantes y *frases* (vid. fot. 3). Realmente éstas son formas características de muchas de las vertientes de cantil y talud de esta área y especialmente espectaculares en la vertiente norte de la Serrella, e incluso pueden encontrarse en las rampas colgadas de l'Ull del Moro. Aunque en teoría se postula un retroceso en paralelo del cantil, es evidente que la velocidad de retroceso no es la misma en todos los puntos, dependiendo de la resistencia de la roca a la alteración. En las vertientes del Barranc de Malafí parece que podrían explicarse como consecuencia de la distinta densidad de fisuración debida a los esfuerzos tectónicos.

La forma del perfil longitudinal (fig. 3) recuerda vagamente los perfiles del Barranc del Cint, precisamente por la convexidad inferior. Si omitimos ésta, probablemente es el perfil de canchal más típico de los estudiados hasta

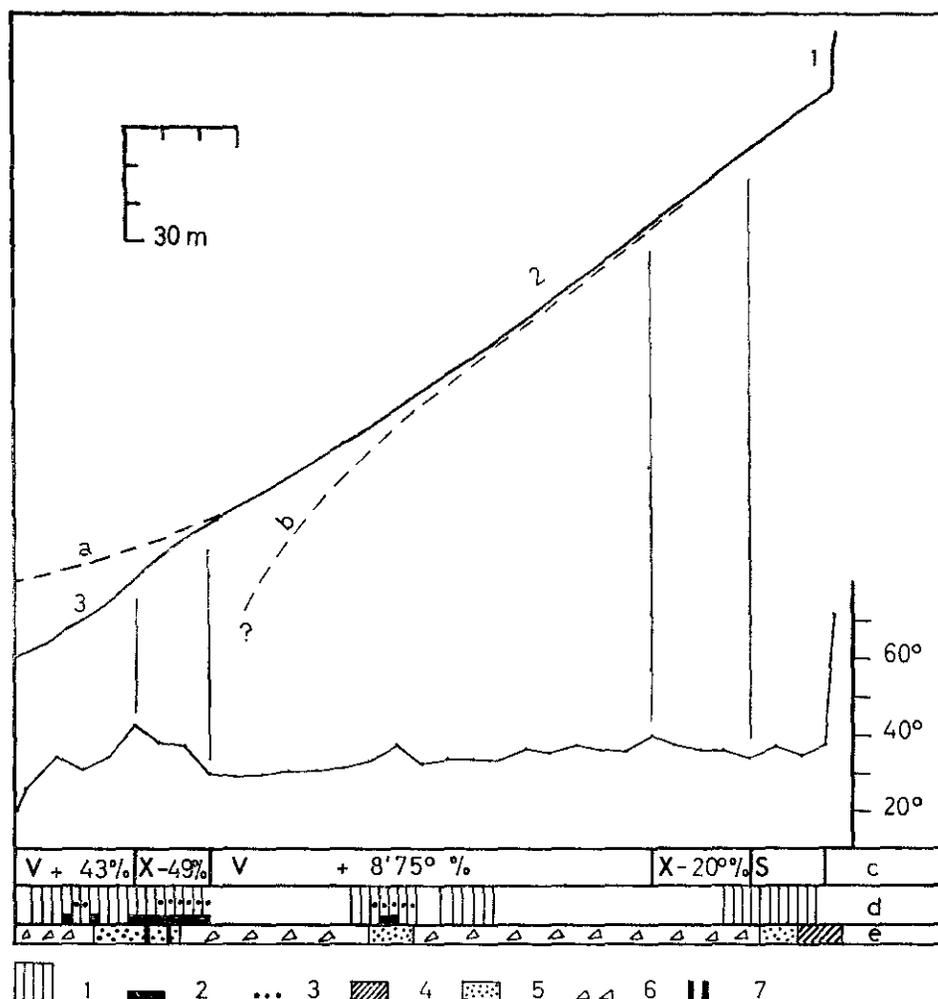


Fig. 3.—Perfil de vertiente del Barranc de Malafí: 1, cantil; 2, talud; 3, encajamiento.

a) Perfil teórico del valle antes del encajamiento ($Y = 19'95$, $1'012^*$) obtenido por ajuste de la concavidad.—b) Núcleo rocoso supuesto.—c) Transect morfológico: X, elemento convexo; V, elemento cóncavo (las cifras indican la curvatura); S, segmento recto.—d) Transect de vegetación: 1, praderitas de gramíneas; 2, *Crataegus monogynia* (espino albar); 3, *Pteridium aquilinum* (helecho). (Resto, colonias muy claras de *Arenaria*, *Galium*, etc.).—e) Transect de suelos: 4, roca madre; 5, canchal de piedra seca; 6, canchal de piedra seca; 7, afloramiento de brechas.

ahora. En la parte alta se aprecia un segmento recto, de unos 30 m de longitud y 35° de pendiente media, formado por una rampa rocosa cubierta de vegetación que pone en contacto el pie del cantil con el canchal propiamente

dicho. A continuación, una gran concavidad, de unos 90 m, con curvatura muy suave, forma el canchal. La pendiente pasa de 39° en la parte alta a 30° en la baja. La transición entre el segmento recto superior y el canchal está formada por una breve convexidad, donde la pendiente alcanza un máximo de 40°. La superficie de la concavidad no es, sin embargo, regular y las irregularidades sugieren un ritmo observable claramente en el dibujo pero difícil de explicar. Con todo, existen anomalías suficientemente notables como para no juzgarlas irregularidades rítmicas de microrrelieve. La primera, situada en el centro del canchal, a unos 25 m del pie, consiste en una concavidad que hace aumentar la pendiente a los 42° y una pequeña convexidad que la coloca de nuevo en los 30°. La forma sugiere una cicatriz rellenada por el movimiento del material y este hecho parece quedar reforzado por la banda de helechos que se disponen en el punto de mayor pendiente de la concavidad.

En la parte inferior de la vertiente existe una gran forma construida por dos elementos: una convexidad superior de 17 m y una concavidad inferior de 22 m. Entre esta forma y el fondo del barranco un pequeño segmento recto testimonia la existencia de un talud. La pendiente alcanza, en la parte alta de la concavidad, valores de 46-47° máximos y 40-43° medios, y en todo momento presenta valores muy superiores a la media del canchal. Está cubierta por vegetación en toda su superficie, exceptuando el pequeño talud de la parte baja; la colonización de helechos (*Pteridium aquilinum*) de la parte alta y el afloramiento de brechas de cementación de los depósitos de canchal sugieren que la forma está cortando la estructura de dicho depósito. Se trata, por tanto, de un encajamiento del barranco al pie de la vertiente.

Para explicar esta forma habría que partir de una situación de tipo B de THORNES. Quizá al ser una zona de drenaje indeciso y poco enérgico ha quedado impedida la remoción, mientras que la alimentación puede suponerse importante por el grado de trituración del roquedo. Posteriormente el balance ha pasado a ser negativo (situación C). Tanto la banda de vegetación al pie del cantil, como la rotura de pendiente en el contacto rampa-canchal, señalan la exigüidad de la alimentación actual. El truncamiento del perfil en la parte baja señala la aparición de la remoción. Esto no ha producido una rápida remodelación del canchal, en parte porque la pendiente necesaria para movilizar el material, que es la de equilibrio en la parte baja, es algo mayor que la necesaria para que se establezca, que es la de equilibrio en el canchal estricto; en parte también porque el talud está algo consolidado y presenta niveles encostados que proporcionan una resistencia adicional⁹. Puesto que tiene un ele-

⁹ El argumento está tomado de SCHEIDEGGER, A. E., *op. cit.*, p. 99. Según la argumentación de SHARPE, existen en realidad dos ángulos de reposo. El ángulo en el cual se estabiliza el material en movimiento (v. gr. un canto que cae del cantil y rueda vertiente abajo) y otro en el cual inicia el movimiento el material que está en reposo. Evidentemente el segundo es superior al primero. De todos modos, SCHEIDEGGER piensa que el argumento de compactación es más relevante en la explicación de los ángulos de equilibrio.



Foto 1.—Barranc del Cint. Cuevas de meteorización en conglomerados en el cantil de la margen izquierda. Las formas coinciden con pequeñas surgencias y se presentan alineadas siguiendo la estructura.



Foto 2.—Barranc del Cint. Nichos de disgregación granular en las calcoarenitas del cantil de la margen izquierda. El control estructural parece dominar el conjunto de las formas.



Foto 3.—Barranc de Malafí. Cantiles y taludes en el margen derecho, con *frases* y entrantes del cantil. Las bandas de vegetación al pie de la pared rocosa atestiguan la escasa alimentación (exceptuando caídas de algunos bloques). Puede apreciarse, a mitad del talud, un afloramiento de la roca madre, presumiblemente del núcleo rocoso subyacente.

vado porcentaje de material fino y cierto grado de consolidación, la tracción mecánica puede dar lugar a desprendimiento (*slumps*), y las cicatrices, aunque se difuminan rápidamente, son apreciables en el perfil.

CONCLUSIONES

En un *estado estable* del tipo *D* de THORNES se forma una delgada capa de derrubios en la vertiente (de medio a un metro en el Barranc del Cint). El retroceso del cantil va dejando una vertiente recta de 38° de inclinación, labrada en roca madre y semejante a las vertientes de RICHTER. Si la remoción está impedida (situación *B*), el retroceso del cantil produce un talud de acumulación ligeramente cóncavo y con pendiente de unos 30-35°. Este cubre y preserva de la meteorización un ánima rocosa, parabólica en la teoría, pero muy irregular en la realidad. Sin embargo, se supone su origen por su discordancia con la estructura del roquedo, su forma burdamente parabólica y la tendencia de su parte superior a aproximarse a una vertiente recta de 30-35°.

En todos los casos puede constatarse el paso de una situación de tipo *B* de THORNES a una situación *C*, altamente inestable, e incluso de excavación en la base. Las antiguas vertientes están cambiando de forma para adaptarse a la nueva situación. En las rampas rocosas del Barranc del Cint el estado actual se refleja por el encajamiento del cauc en la roca madre y la formación de barrancas paralelas, a modo de grandes *rills*, que surcan la vertiente de arriba a abajo. El proceso exhuma la estructura que pasa a reflejarse en el perfil.

En caso de taludes de acumulación (Barranc de Malafí) se produce un truncamiento del talud en la parte baja, con ángulos mayores que los de estabilidad de los derrubios. Esto se debe, entre otras causas, a la ligera consolidación del material, y la pendiente se regulariza por medio de desprendimientos. La escasa alimentación permite que se forme una banda de vegetación al pie del cantil y el aprovisionamiento de material queda retenido, con lo que el ángulo de pendiente puede elevarse en este tramo (perfil de l'Ull del Moro).

