

Estudio de laderas. Un ejemplo en la sierra madrileña

Fernando GRANDE HERNÁNDEZ

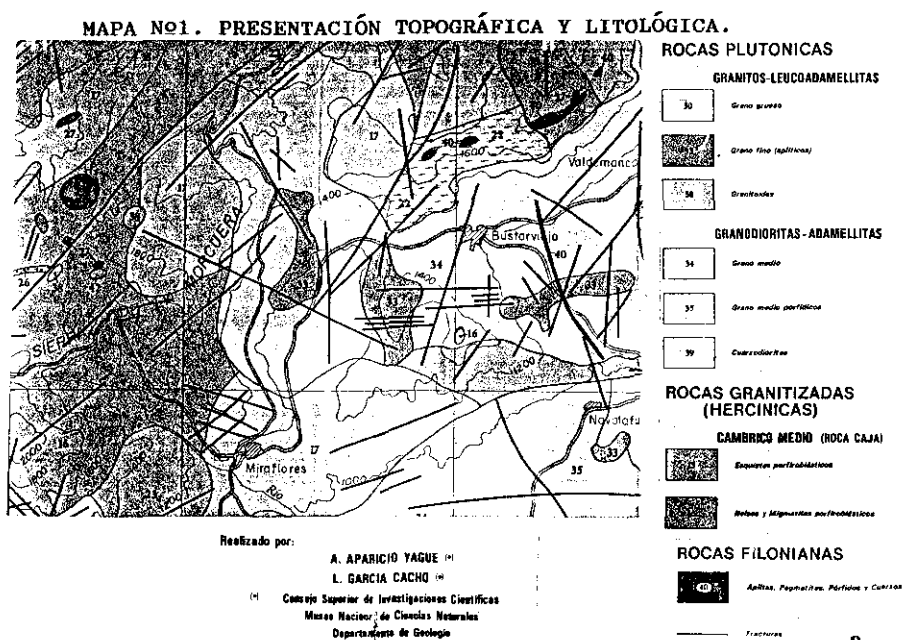
Prácticamente situados en pleno centro peninsular e integrados dentro del conjunto de la Sierra de Guadarrama, encontramos los modestos relieves montañosos de El Pendón (1546 m.) y Cabeza de Arcón (1560 m.) conformando uno más de los múltiples bloques que configuran esa gran anteclice, definida desde un punto de vista estructural, que denominamos Sistema Central. Este horst se encuentra parcialmente dividido por una fosa de dirección NNE, siendo las laderas que aúnan la divisoria de aguas y el fondo de dicha depresión la finalidad geomorfológica preferente de este análisis, que concretamente pretende cumplir los siguientes objetivos:

- Acercarse a una descripción más rigurosa y ajustada a la realidad de los diferentes parámetros morfométricos: altura, pendiente, forma,...
- Dotar de un mayor grado de objetivización a la toma de postura frente a las hipótesis de partida.
- Realizar una pequeña aportación sectorial al conocimiento integral de este pintoresco paisaje.

Con una superficie aproximada de 152 Ha., una forma ovoide bastante pronunciada (Índice de Compacidad 0,53) y un desnivel máximo que ronda los 260 m., la génesis de esta pequeña hondonada se debe a la existencia de un movimiento diferencial entre una dovela central y los bloques que hoy forman los relieves que la circundan, como atestigua el elevado número de pequeños saltos tectónicos por falla que se desarrollan paralelos a la dirección de las cuerdas, dando lugar a una serie de «terrazas escalonadas» que jalonan por completo el conjunto de las vertientes. Cronológicamente, por homología con otros relieves serranos ampliamente estudiados, se ha datado el inicio de dicho proceso de hundimiento relativo dentro de la orogenia alpina y más concretamente en el Mioceno, aunque probablemente, como indica Sanz Herraiz, sea en la fase Rodánica del Plioceno superior cuando éste alcanzó su máximo desarrollo (Sanz Herraiz, 1988).

Por otro lado, si desde un punto de vista estructural estamos frente a un reducido graben, desde un punto de vista dinámico nos encontramos ante lo que se ha definido como un claro ejemplo de valle periglacial en cuna (Sanz Donaire, 1974). Siendo este modelado bastante más reciente que la estructura que lo acoge, atribuyéndose a las fases finales del Pleistoceno bajo el dominio de unas condiciones manifiestamente periglaciales, como parecen poner de manifiesto el aluvionamiento del fondo del valle (alternancia de capas detríticas asociadas a ciclos de innivación-fusión), la presencia de lóbulos de soliflucción hoy día estabilizados, las acumulaciones de derrubios originados por el astillamiento mecánico del roquedo, así como el desarrollo de otras formas menores características: tufhur.

Estas premisas, sólidamente asentadas, serán las hipótesis de partida de un trabajo en el que se intentará estimar mediante la selección y análisis de una muestra representativa de perfiles, el grado de conformidad de las vertientes respecto de su orientación e inclinación, con lo que dispondremos de un sostén suficiente para, en un paso posterior, ahondar más en la variación espacial de la forma y procesos con ella relacionados, así como en la consideración de otros factores que a priori pudiera pensarse tuvieran algún grado de influencia en el desarrollo de la una o la competencia de los otros, principalmente el tipo de material y la altura.

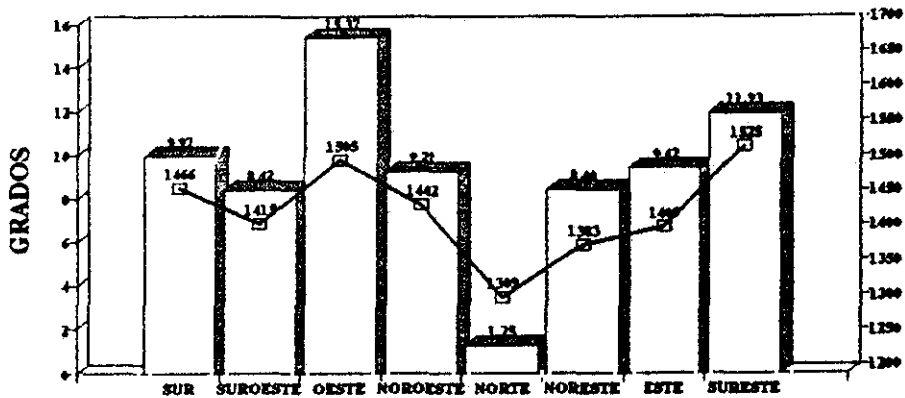


I. ASIMETRÍA DE VERTIENTES

Con el punto de mira en los supuestos iniciales podría pensarse, sin hacer falta grave al menos común de los sentidos, que estando ante un relieve generado básicamente por la tectónica y, hablando en términos geológicos, de reciente finalización, la impronta de dicho proceso debe haber quedado lo suficientemente marcada, a pesar de la actuación sin pausa de los agentes de erosión, que podrá ser observada en la actualidad manifestándose preferentemente en dos de los aspectos que mejor definen una ladera: su desnivel y su grado de inclinación, siendo por ello posible poder determinar si, como consecuencia clara de ésta actuación que rompería, bascularía y elevaría o hundiría bloques de muy diversos tamaños, existe una diferencia significativa entre las distintas vertientes.

En aras de confirmar estas suposiciones se ha dividido la cuenca en ocho sectores que representan las orientaciones geográficas siguientes: N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, de cada una de ellas se ha tomado una serie de perfiles en los que se ha medido su pendiente media (en grados) y su desnivel (en metros), obteniendo los resultados expresados en el Gráfico N.º1 (PENDIENTE Y ALTITUD MEDIA SEGUN LA ORIENTACION).

ALTURA Y PENDIENTE MEDIA DE LAS LADERAS SEGUN LA ORIENTACION



ERROR ESTANDAR:
 PENDIENTE S:0,88 SW:1,04 W:1,33 NW:0,78 N:1,4 NE:1,34 E:0,72 SE:1,4
 ALTURA m. S:11,75 SW:15,78 W:33,98 NW:16,31 N:11,84 NE:27,97 E:9,83 SE:24,31

□ PENDIENTE MEDIA (°) — ALTURA (m)

De dicho gráfico cabe destacar:

1.º) Que los sectores más elevados se agrupan desde el SE al W, siguiendo el sentido de las manecillas del reloj y que las orientaciones con un grado de inclinación mayor también se ajustan, básicamente, a este modelo¹. No obstante pensamos que esta apreciación quedaría mejor re-frendada si fuéramos capaces de otorgarla un valor cuantitativo, por lo que se ha realizado el siguiente análisis de regresión tomando como variable independiente la altura y como dependiente los grados de inclinación. Gráfico N.º2 (GRADO DE ASOCIACION ENTRE PENDIENTE Y ALTURA).

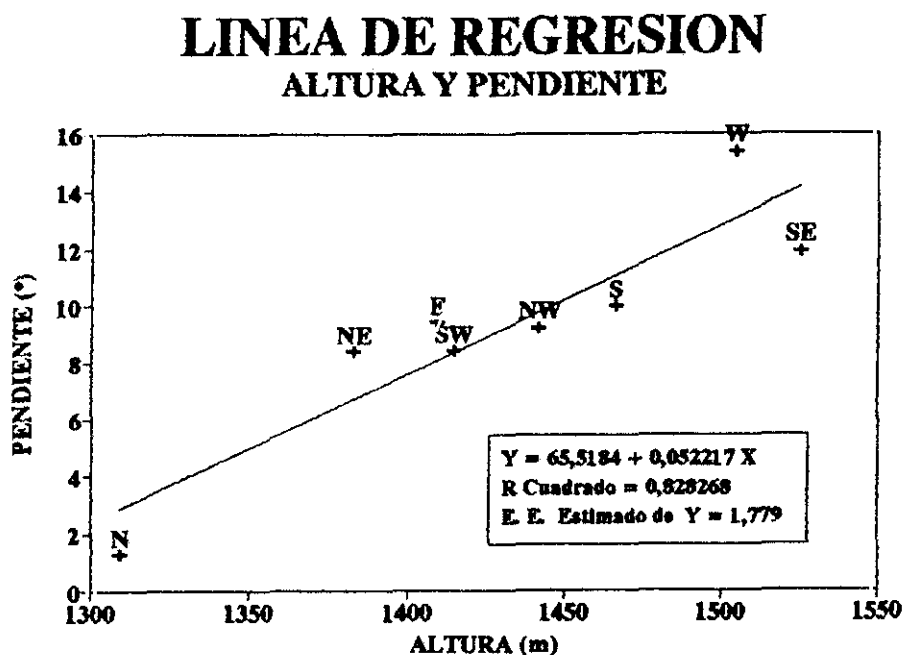


Gráfico 2.

Antes de entrar en otras consideraciones hay que reseñar que a pesar de cumplir con suficiente precisión la práctica totalidad de los supuestos restrictivos que impone la estadística para la obtención de inferencias (línea-

¹ Desde un punto de vista teórico somos conscientes que esto es poco más que una mera coincidencia, pues la elevación/hundimiento de los bloques no sigue una pauta sectorial circular, aunque de forma descriptiva se ha querido poner de manifiesto que en este caso concreto así ocurre

lidad, ausencia de errores de medida en la variable independiente, normalidad de los residuales, homocedasticidad,...), se ha tomado preferentemente dicho estadístico como un excelente descriptivo y sintetizador de la relación entre ambas variables. Así hay que comentar el notable valor que alcanza el Coeficiente de Determinación $R^2 = 0,8282$ y que supone que la altura condiciona algo más del 82% de la variación observada en el grado medio de inclinación de las laderas². Además también se concluye, dado que dicha relación es positiva que el incremento de una implica el aumento de la otra.

2.º) Una segunda consecuencia deducible es que posiblemente pudieran existir diferencias significativas, estadísticamente hablando, entre la pendiente media de las distintas orientaciones geográficas. Por ello, como en el caso anterior, se ha optado por la utilización de un criterio matemático como referente de apoyo para situarnos a un lado u otro del supuesto a verificar.

Mediante el análisis de varianzas en una dirección se pretende averiguar si las diferencias que se aprecian tanto dentro de las muestras como entre ellas son significativas (Hipótesis Nula = no hay diferencias en el grado medio de inclinación entre las distintas orientaciones), si esto es así, en un segundo paso se ahondará en el estudio de dicha disimetría.

El resultado obtenido se expresa a continuación:

Varianza dentro de las muestras = 1,215959

Varianza entre las muestras = 162,0459

F = 126,9993 que supera ampliamente el valor crítico para un numerador de 7 y un denominador de 89 grados de libertad que se sitúa en 2,818 al 0,01

Por ello a continuación se pasará a analizar este hecho con mayor profundidad.

Lo que ahora se pretende es, sencillamente, comparar metro a metro el grado de inclinación de vertientes opuestas, para lo que se ha realizado una serie de cortes, utilizando como base el Mapa de la CAM, escala 1:5000, en los cuales se ha medido los intervalos longitudinales existentes cada cinco metros de desnivel, se ha calculado el grado de inclinación de dicho intervalo y se ha comparado con los de la vertiente antagónica a través de un nuevo estadístico: el test de Wilcoxon por rangos para muestras emparejadas³ (para la definición de los intervalos se ha utilizado la Desviación Es-

² El valor calculado de $F = 29,294118$ es mayor que el valor crítico para 1 y 6 grados de libertad al 0,01, que es de 13,75, confirmando la validez estadística del Coeficiente.

³ Se ha preferido la utilización del test de Wilcoxon por rangos porque otorga la siguientes facilidades:

— Se trata de un test no paramétrico, por lo que no debemos preocuparnos de si se cumplen o no las restricciones que gravan los paramétricos para su uso.

— Por ser de cálculo rápido y sencillo y dada la enorme cantidad de información manejada, ello es una indudable ventaja.

— Por ser de fácil interpretación.

— Por su alto grado de eficacia el 95% de la t de Student.

tándar, ya que a nuestro entender permite un acotamiento no subjetivo de los mismos). Con ello estableceremos si existen o no diferencias significativas dentro de cada perfil (Tabla N.º 1) y una vez confirmado esto podremos concluir con una nueva prueba que ratifique o niegue la disimilitud del conjunto de cortes analizados.

TABLA I
Test de Wilcoxon. Cortes AB 1-12

CORTE N.º	VALOR DE Z	PROB. > = Z	PARES	IGNORADOS
AB1	Z = 8,17111	P = 0	657	196
AB2	Z = 9,77506	P = 0	585	161
AB3	Z = 11,0639	P = 0	665	100
AB4	Z = 18,5095	P = 0	690	118
AB5	Z = 15,8593	P = 0	687	256
AB6	Z = 12,5023	P = 0	705	121
AB7	Z = 10,3838	P = 0	725	260
AB8	Z = 6,6109	P 3,13115E 11	162	205
AB9	Z = 1,78915	P: 0,0735818	607	121
AB10	Z = 3,08211	P: 2,05318E-3	537	218
AB11	Z = 10,3116	P : 0	605	215
AB12	Z = 7,17109	P : 0	505	116

Los cortes se han elegido mediante un muestreo sistemático que se inicia a partir del punto que se ha tomado arbitrariamente como límite inferior del relieve analizado y sigue separándolos por distancias regulares de cien metros, estando orientados de Este a Oeste. La elección del enfrentamiento de estas caras y no de otras viene motivada por dos cuestiones básicas: por ser perpendiculares a la dirección de flujo del arroyo que avena la cuenca, sirviéndonos de divisoria entre ambas vertientes y por ser las de mayor desarrollo longitudinal, lo que puede hacer más generalizables los resultados obtenidos⁴.

De las doce muestras analizadas en once la probabilidad de que las diferencias encontradas entre una y otra cara sean debidas al azar es prácticamente inexistente y sólo en una no es posible rechazar la Hipótesis Nula⁵.

En cuanto a la ratificación general indicar que se han tabulado los valores de inclinación media de A y B aplicando a continuación la prueba del signo para poder afirmar con cierto fundamento si existe o no discrepancia entre los dos conjuntos de valores. La conclusión obtenida es que sola-

⁴ A partir de ahora, A = ladera de Cabeza de Arcón y B = ladera del Pendón.

⁵ Que puede expresarse con la siguiente afirmación: las variaciones de los ángulos de vertientes encontradas son escasamente representativas, o lo que es lo mismo, los valores de ambas muestras provienen de una única población.

El nivel de rechazo se ha establecido a 0,05.

mente una vez de cada cien dicho resultado puede deberse al azar (valor de $Z = 2,59808$ significativo al $9,37481E-3$) lo que nos permite afirmar con razonable precisión que ambas vertientes son distintas en cuanto a su grado de inclinación.

Como ya se indicó más arriba dicha disimetría se apoya fundamentalmente en razones estructurales y esto lo afirmamos a pesar de saber que, de hecho, difícilmente se puede responsabilizar de forma exclusiva a uno u otro tipo de factores (morfotectónicos o morfoclimáticos) en la génesis de las formas que aparecen en la superficie terrestre. Pero igualmente estamos convencidos de que en muchas de éstas, como es el caso que nos ocupa, el acento debe ponerse a un lado u otro, por lo que se ha intentado profundizar más en dicha dirección a partir del razonamiento siguiente: sí, como aquí se mantiene, la tectónica desempeña un papel protagonista en las diferencias encontradas entre ambas vertientes, éstas no sólo se manifestarán en las laderas contrarias sino que igualmente podrán aparecer, aunque —eso sí— algo más amortiguadas, en las áreas contiguas, como puede deducirse de la actuación tectostática sobre un material muy rígido, altamente competente, que ante el esfuerzo tectónico responde fracturándose de forma generalizada. Por contra la actuación de otros factores que han sido evocados para justificar la disimetría en diferentes lugares no lo verificaría. Entre estos destacan: procesos de dinámica de vertientes que, o afectan a las laderas sólo de forma puntual o, si su ámbito de actuación es general, lo hacen siguiendo las pautas marcadas por la estructura; los procesos referidos a los agentes de evacuación aquí actuantes que son escasamente competentes (dinámica fluvial y/o eólico); y los factores climáticos que tampoco serían capaces de generar diferencias sistemáticas a esta escala longitudinal. Así se han realizado los mismos pasos, aunque evidentemente variando algo el nivel de significación y utilizando el valor de la Desviación Estándar de cada una de las laderas, obteniendo los siguientes resultados (Tabla N.º II):

Del conjunto de veintidós muestras sólo cinco no superan el nivel de rechazo del 0,06 que usamos de forma arbitraria como límite para la aceptación o no de la Hipótesis Nula⁶, lo que a nuestro juicio se debe a que en estas áreas existe un mayor grado de desarrollo de alguna de las superficies estructurales generadas⁷ pero aún con estas irregularidades el grado de significación del resultado utilizando la prueba del signo es de $Z = 2,3452079$ y $P = 0,02$, por lo que se puede concluir que la afirmación: las la-

⁶ Dado que la elección del nivel crítico es totalmente aleatoria, pensamos que en este caso está suficientemente justificada la elevación del mismo dado lo exiguo de la diferencia entre 0,05 y 0,06. Con esto se incluye dentro de la hipótesis alternativa una serie de perfiles que están mucho más cerca de ella que de su contraria y se reducen las probabilidades de cometer un error de los denominados de Tipo II.

⁷ Esto es más acusado en la ladera de Cabeza de Arcón.

deras adyacentes no son iguales en cuanto a su grado de inclinación, es efectivamente admisible.

TABLA II
Test de Wilcoxon. Cortes AB 1-12

CORTE N.º	VALOR DE Z	PROB. > = Z	PARES	IGNORADOS
A1 - A2	Z = 0,375833	P = 0,107038	585	316
A2 - A3	Z = 0,39725	P = 1,09719E-5	532	297
A3 - A4	Z = 0,0306724	P = 0,975525	630	228
A4 - A5	Z = 2,39494	P = 0,0166231	687	313
A5 - A6	Z = 2,41586	P = 0,0156981	687	362
A6 - A7	Z = 2,39046	P = 0,0168273	687	324
A7 - A8	Z = 1,55062	P = 0,120992	725	395
A8 - A9	Z = 0,244471	P = 0,80662	607	329
A9 - A10	Z = 2,53171	P = 0,0113508	485	67
A10 - A11	Z = 5,57529	P = 2,4776E-8	760	230
A11 - A12	Z = 1,72526	P = 0,06~803	760	197
B1 - B2	Z = 1,75166	P = 0,0598316	718	387
B2 - B3	Z = 4,99699	P = 5,83253E-7	712	391
B3 - B4	Z = 0,482072	P = 0,629751	677	286
B4 - B5	Z = 3,07275	P = 2,12107E-3	777	309
B5 - B6	Z = 5,62226	P = 1,88992E-8	822	359
B6 - B7	Z = 1,76371	P = 0,0577798	802	126
B7 - B8	Z = 12,1786	P = 0	765	437
B8 - B9	Z = 5,93935	P = 2,87133E-9	583	131
B9 - B10	Z = 9,69181	P = 0	450	198
B10 - B11	Z = 2,63314	P = 8,45994E-3	497	269
B11 - B12	Z = 1,79208	P = 0,05312	440	156

También aquí se debe mencionar que el arroyo de Navacerrada discurre pegado a la vertiente menos desarrollada, hecho que generalmente se interpreta como una prueba clara en favor del carácter dinámico de la disimetría, atribuyéndose dicho acontecimiento al movimiento más eficaz del manto coluvial en la ladera más activa lo que a la postre conlleva la migración lateral de la corriente*, pero que en este caso cuenta con un fuerte componente estructural, ya que el curso fluvial aprovecha la dirección tectónica que marca una falla relativamente importante que corta el valle un poco perpendicularmente e incluso condiciona parte de la escorrentía de la ladera encarada al sur, concentrando de forma esporádica dichas aguas en un cauce que se puede considerar una extensión valle arriba de dicho arroyo.

* «Hillslope form and process», Carson y Kirkby, 1972, p. 329; «Geografía Física», King, C., 1981, p. 97; «Slopes», Young, A., 1972, p. 248; «El relieve del Guadarrama oriental», Sanz, C., 1988, p. 309.

Para finalizar este apartado se debe puntualizar:

1.º) Que los artificios matemático-estadísticos aquí expuestos no pretenden demostrar la veracidad de las afirmaciones teóricas vertidas, sino sólo y exclusivamente servirles de apoyo y refrendo.

2.º) Que a pesar de que los resultados parezcan confirmar la hipótesis de partida, esto no significa que se niegue la actuación de otros procesos (actuales, latentes o relictos), en el mantenimiento y acentuación de la disimetría (preferentemente los ligados a condiciones periglaciales⁹), ya que pensamos que sólo la acción conjunta de todos ellos, puede explicar de forma definitiva la génesis y desarrollo de los distintos relieves.

II. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LAS LADERAS

En lo referente al modelado de las laderas debemos relacionar el material, la forma y los procesos, por lo que se ahondará en su estudio mediante el cálculo de la figura de la curvatura dentro de cada uno de los tramos definidos¹⁰, utilizando la fórmula propuesta por Young¹¹:

$$\text{Cab} = \text{Aa} * \text{Ab} / 0,5 (\text{Da} + \text{Db}) * 100^{\circ}/100 \text{ m.}^{12}$$

Donde: Cab = Curvatura entre «a» y «b»

Aa = Angulo de a

Ab = Angulo de b

Da = Distancia de a

Db = Distancia de b

A ella se han asociado:

— Un proceso característico, siguiendo la metodología de Darymple, Coracher y Blong (1968)¹³.

— El tramo altitudinal en el que se encuentra dicha forma.

— El tipo de roquedo en el que se desarrolla.

El resultado de todo ello son las gráficas que a continuación se exponen (Gráficos del 3 al 14):

De ellas se debe mencionar:

1.º) Respecto de la altura que:

⁹ A este respecto ver el Capítulo 12 de «Hillslope form and Process», de Carson y Kirkby, o el Capítulo XIX de «Slopes» de A. Young.

¹⁰ Longitud entre curvas de nivel de cinco en cinco metros.

¹¹ Para la identificación de segmentos y elementos se ha optado por un Coeficiente de Variación del Angulo de un 5% y de la Curvatura Máxima en un 10%, ya que se pretende minimizar la pérdida de información que supone dicha estandarización.

¹² Young, 1972, p. 145.

¹³ En cuanto a los procesos asociados a la forma y al grado de inclinación se han utilizado todos los propuestos por estos autores excepto los de pared del cauce y lecho del río, por no ser éstos cartografiables a la escala empleada.

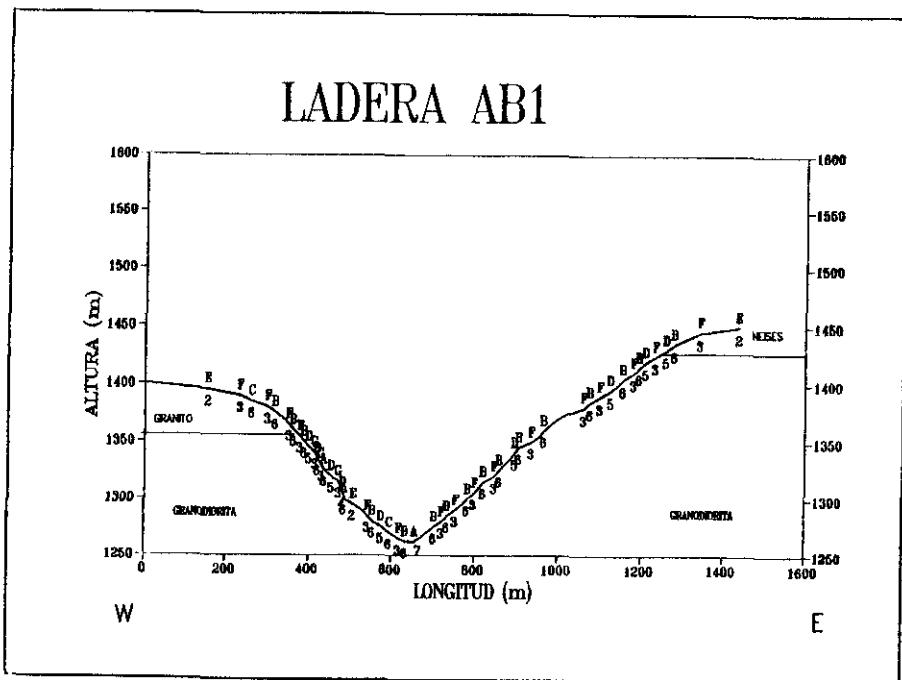
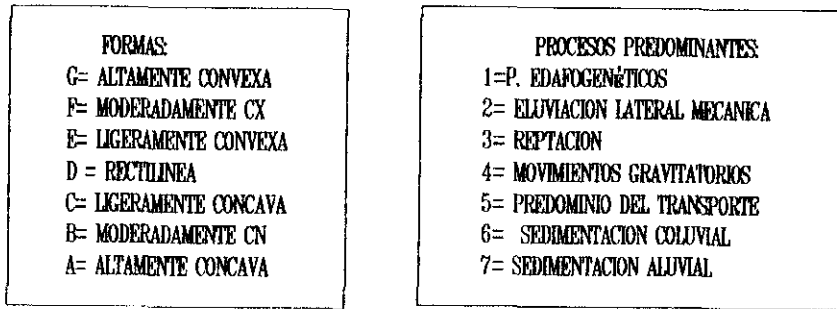


Gráfico 3. Formas y procesos en las laderas.

LADERA AB2

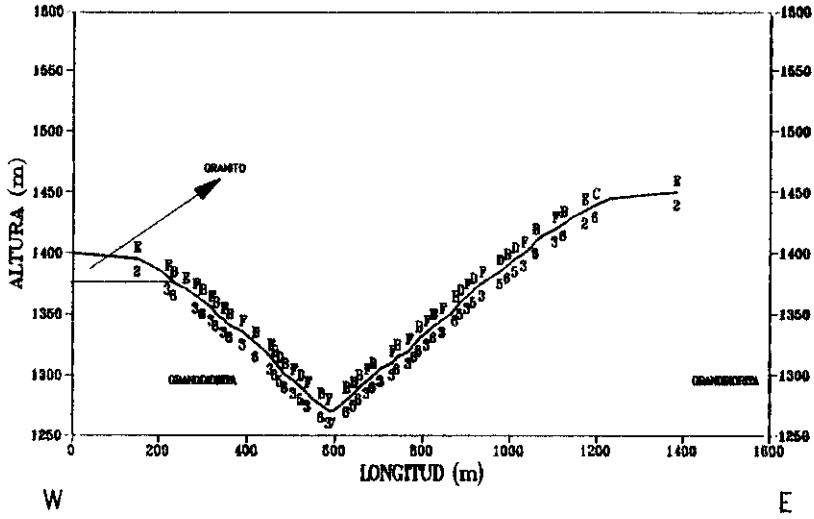


Gráfico 4.

LADERA AB3

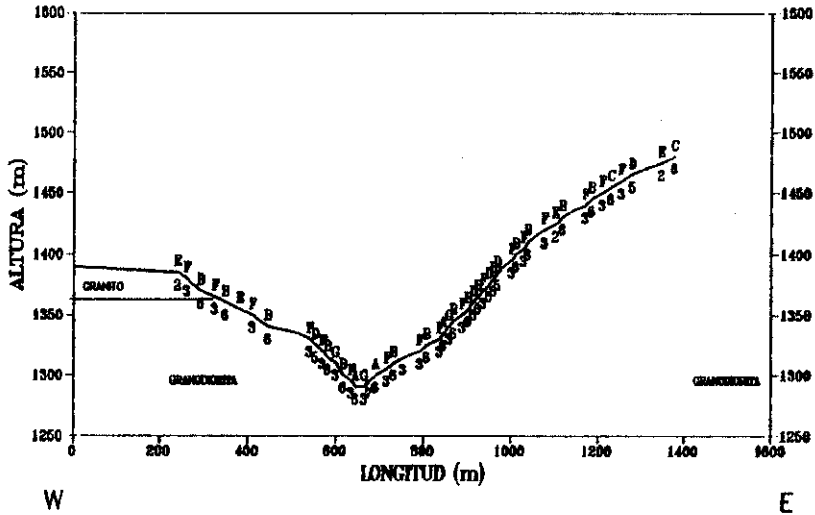


Gráfico 4.

LADERA AB4

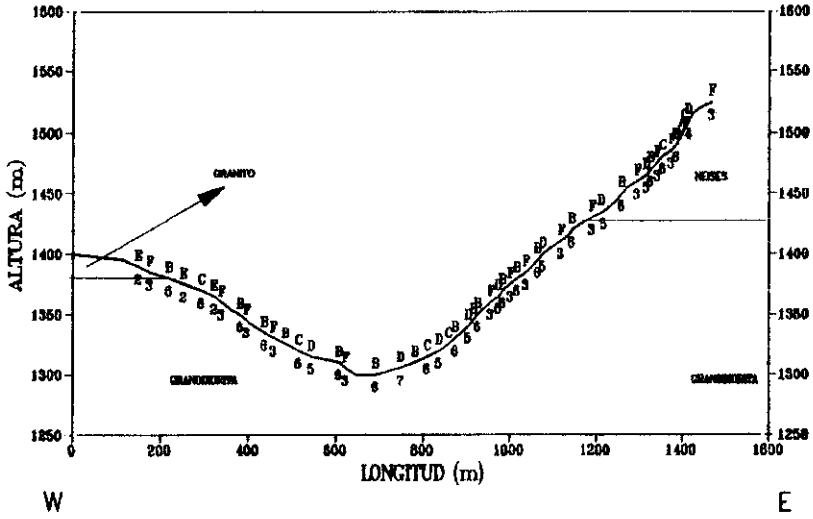


Gráfico 6.

LADERA AB5

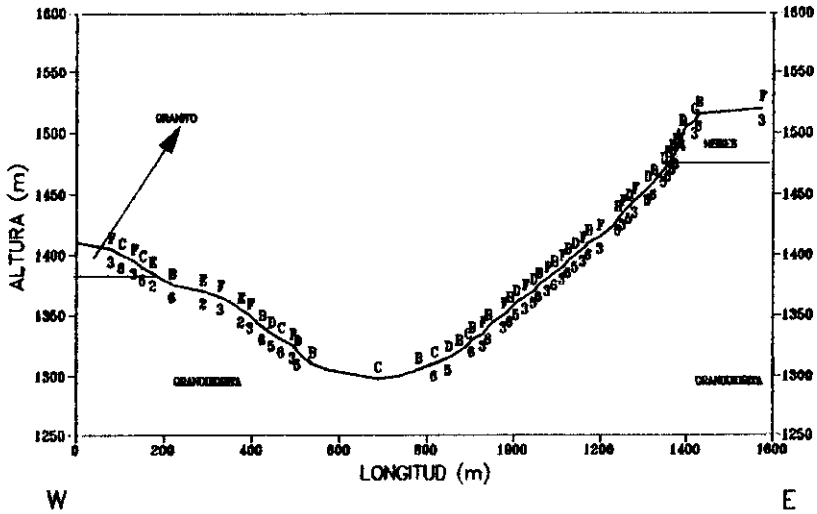


Gráfico 7.

LADERA AB8

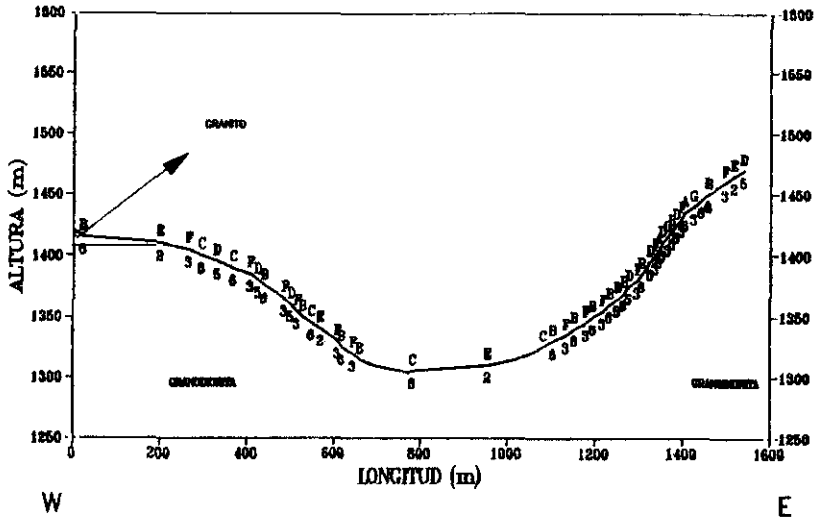


Gráfico 10.

LADERA AB9

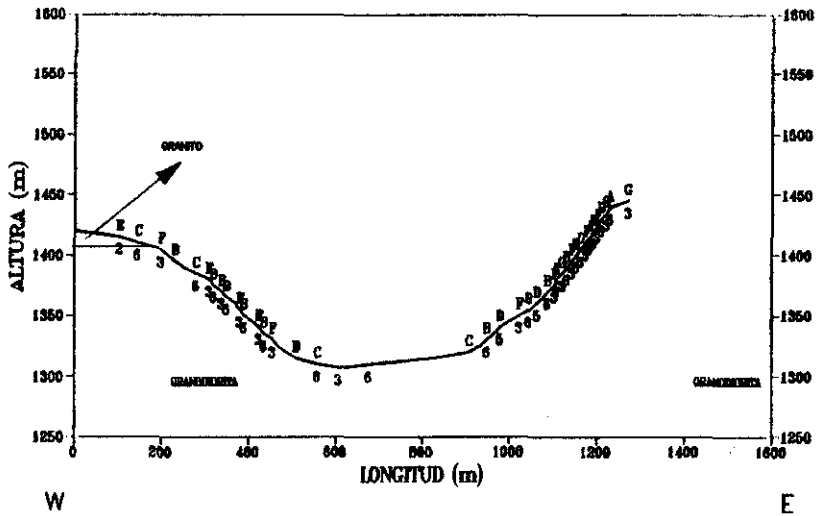


Gráfico 11.

LADERAS AB12

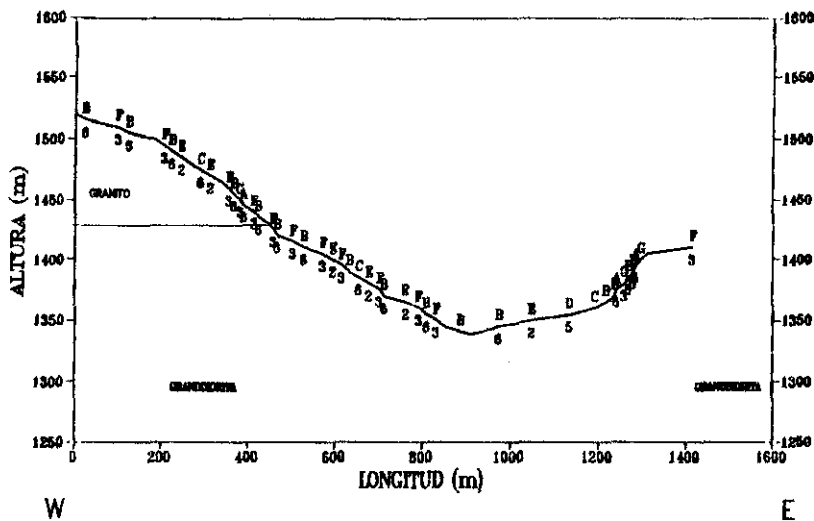


Gráfico 14.

A) Evocando una mejor definición de la variable se han hallado los parámetros descriptivos siguientes (Tablas N.º III, IV y V):

TABLA III
Medidas de centralidad

CORTES	MEDIA	MEDIANA	MODA	MODA	MEDIANA	MEDIA	CORTES
A1	1350,26	1376,5	1397,5	1442,5	1372,5	1367,71	B1
A2	1352,72	1362,5	1397,5	1452,5	1392,5	1384,02	B2
A3	1357,15	1362,5	1387,5	1467,5	1397,5	1388,41	B3
A4	1353,46	1357,5	1397,5	1297,5	1397,5	1393,61	B4
A5	1354,37	1362,5	1407,5	1517,5	1397,5	1403,23	B5
A6	1364,55	1372,5	1417,5	1302,5	1362,5	1385,34	B6
A7	1361,81	1372,5	1412,5	1307,5	1352,5	1377,38	B7
A8	1372,96	1387,5	1412,5	1307,5	1342,5	1360,68	B8
A9	1370,24	1382,5	1417,5	1317,5	1332,5	1353,46	B9
A10	1389,89	1402,5	1319,0	1417,5	1362,5	1368,13	B10
A11	1419,6	1432,5	1477,5	1407,5	1352,5	1366,23	B11
A12	1431,68	1427,5	1512,5	1412,5	1362,5	1373,38	B12

TABLA IV
Medidas de dispersión

CORTES	DESVIACION ESTANDAR	ERROR ESTANDAR	COEFIC.DE VARIACION	COEFIC.DE VARIACION	ERROR ESTANDAR	DESVIACION ESTANDAR	CORTES
A1	49,5331	1,93247	3,66841	4,22267	2,06792	57,1539	B1
A2	41,388	1,71118	3,05961	4,2298	2,06974	58,5112	B2
A3	30,8568	1,19651	2,27361	4,28393	2,22905	59,4784	B3
A4	34,5869	1,3161	2,55545	4,86363	2,4316	67,7802	B4
A5	37,2931	1,42282	2,75353	5,4977	2,58883	71,1455	B5
A6	39,1368	1,47398	2,86811	5,57668	2,69461	77,2561	B6
A7	40,7815	1,51459	2,99465	5,13273	2,47339	70,6974	B7
A8	39,216	1,40868	2,8563	4,02213	1,97871	54,7284	B8
A9	40,494	1,6436	2,95524	3,24463	1,70295	43,9149	B9
A10	51,6152	1,64711	3,71361	2,59524	1,53221	35,5063	B10
A11	59,2995	1,96038	4,17719	2,25003	1,24978	30,7406	B11
A12	58,2452	1,93081	4,0683	1,79584	1,09752	24,6637	B12

TABLA V
Medidas de la forma

CORTES	SKEWNESS ESTANDARIZADO	KURTOSIS ESTANDARIZADA	KURTOSIS ESTANDARIZADA	SKEWNESS ESTANDARIZADO	CORTES
A1	-6,33189	-6,59788	-6,60104	-3,54284	B1
A2	-4,61477	-5,66009	-7,30128	-3,96382	B2
A3	-6,97077	-3,72331	-7,61573	-1,98328	B3
A4	-1,85401	-7,75922	-6,61719	1,65999	B4
A5	-1,27855	-7,24564	-8,21672	2,35165	B5
A6	-3,08327	-6,87962	-5,46734	7,49443	B6
A7	-2,60525	-8,07743	-5,32666	7,86036	B7
A8	-5,95604	-7,17374	-5,68184	7,76888	B8
A9	-3,06763	-1,32307	-2,49431	9,9788	B9
A10	-3,3228	-10,5147	-7,34656	1,7836	B10
A11	-4,20455	-8,81934	-8,05877	2,81205	B11
A12	-0,102677	-8,60341	-5,57114	5,71971	B12

B) El resumen más escueto y definitorio es que ambas laderas tienen prácticamente la misma elevación media, si bien la distribución de valores varía en uno y otro caso. En la ladera encarada al Este, la máxima altura se encuentra en la zona septentrional y se desciende de forma sostenida hacia el Sur; por contra, la ladera orientada al Oeste cuenta con la elevación más considerable en el área central y desde ella se mengua hacia ambos lados.

	LADERA A	LADERA B
MEDIA	= 1376, 579 m	= 1377, 99 m.
ERROR ESTANDAR	= 55, 034 m.	= 61, 278 m.
DESVIACION ESTANDAR	= 65, 03091 m.	= 61, 27447 m.

2.º) Respecto de la litología que:

A) Siguiendo la publicación de García Cacho y Aparicio Yagüe «Geología del Sistema Central Español» (1987), se han distinguido tres tipos de rocas:

— *Granitos de grano fino (leucoadamellitas)*, al que las dataciones radiométricas, de acuerdo con Vialette et al (1981) , le otorgan una edad de 287+/-5 m. a.. Se localizan en la franja alta y media de la vertiente de Cabeza de Arcón.

— *Granodioritas de grano medio (adamellitas)*, que según los autores citados son algo más antiguas atribuyéndoseles una edad de 310+/-14 m. a.. Son mayoritarias en el conjunto y las únicas que aparecen en la cara orientada al Sur, quedando limitadas a las áreas inferiores en el resto.

— *Gneises y migmatitas del Cámbrico medio*, que aparecen a modo de «sombbrero» en la cima de El Pendón y en el extremo más meridional de dicho cordel.

B) Aunque en los gráficos se ha fijado un límite neto, el contacto entre las diferentes litologías no es mecánico sino progresivo, existiendo áreas de difícil adjudicación, claramente transitorias.

C) A priori pensamos que el comportamiento geomorfológico de las rocas mayoritarias (granitos y granodioritas) es muy semejante (Sanz Herraiz, 1988, p.123). Se caracteriza por su homogeneidad, su resistencia a la erosión bajo las condiciones climáticas actuales y la presencia de arenas como material residual insoluble e intransportable procedente de su meteorización.

3.ª) Referente al grado de curvatura y a su forma:

A) Que se han distinguido los siguientes tipos propuestos por Young (1972, p.163):

C = >+100.º/100 m.	Marcadamente convexa.
C = +10 a + 100.º/100 m.	Moderadamente convexa.
C = +10 a +1.º/100 m.	Ligeramente convexa.
C = +1 a -1.º/100 m.	Rectilínea.
C = >-100.º/100 m.	Marcadamente cóncava.
C = -10 a -100.º/100 m.	Moderadamente cóncava.
C = -10 a -1.º/100 m.	Ligeramente cóncava.

... B) Que las citadas categorías se han cuantificado respecto a la longitud que ocupan dentro de cada perfil, estando los resultados fielmente expresados en los gráficos de áreas adjuntos¹⁴ (Gráficos N.º15 y 16):

¹⁴ En ellos el porcentaje de elementos rectilíneos se obtiene por diferencia entre el conjunto representado y el porcentaje total.

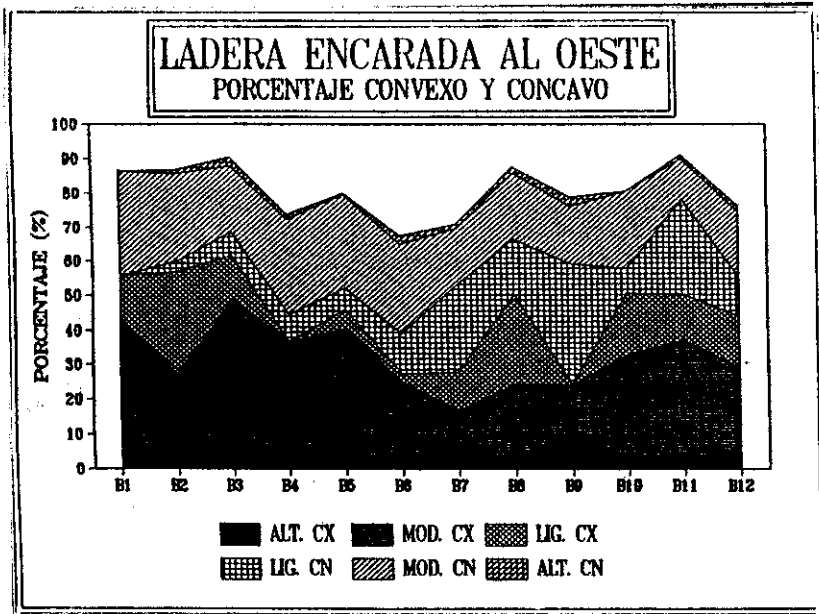


Gráfico 15.

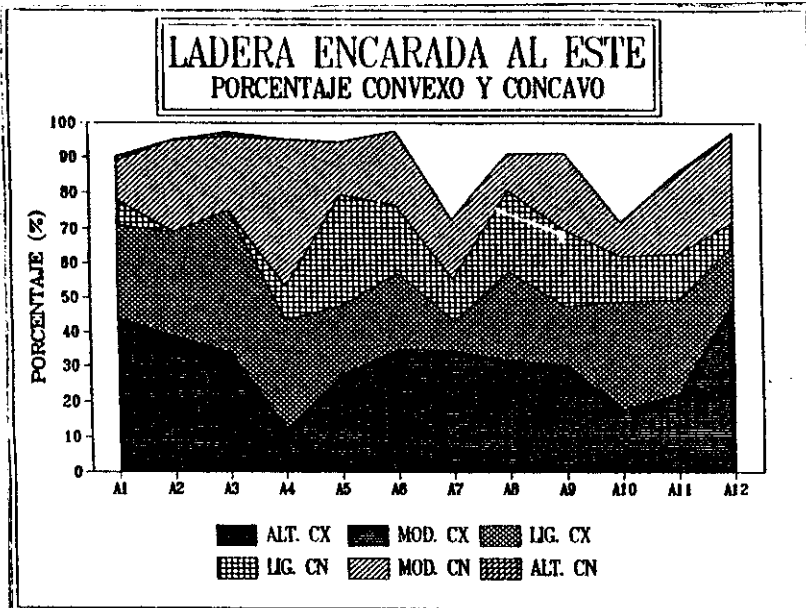


Gráfico 16.

C) Que se han comparado la forma de la curvatura en ambas laderas obteniéndose el siguiente gráfico de barras (Gráfico N.º17):

De él podemos deducir:

— que los elementos convexos son predominantes en la ladera orientada al Este (excepción hecha de los altamente convexos que son poco significativos al ser minoritarios).

— que los elementos cóncavos y los segmentos rectilíneos tienen un mayor peso en la ladera encarada al Oeste.

Esto se explica en la medida en que la ladera citada en primer lugar cuenta con una amplia superficie culminante donde dominan las formas convexas y en su base hay un escaso desarrollo de la concavidad, debido a que el curso fluvial circula desplazado hacia ella. Este último hecho es la causa del incremento de los tramos cóncavos en la ladera contraria, que además cuenta con una línea de cumbres caracterizada por la presencia de fuertes pendientes, origen de un mayor número de tramos rectilíneos.

D) Qué, utilizando el método proporcional de Young (1972, p.190), se ha clasificado cada perfil en base al porcentaje de elementos convexas y cóncavos y del segmento máximo, alcanzando los siguientes resultados¹⁵:

A1 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

A2 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

A3 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

A4 = ALTAMENTE CONCAVA - RECTILINEA BAJA.

A5 = RECTILINEA BAJA.

A6 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

A7 = RECTILINEA BAJA.

A8 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

A9 = RECTILINEA BAJA.

A10 = PROPORCIONES IGUALES.

A11 = PROPORCIONES IGUALES.

A12 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

B1 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

B2 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

B3 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

B4 = PROPORCIONES IGUALES.

B5 = RECTILINEA BAJA.

B6 = RECTILINEA BAJA.

B7 = RECTILINEA BAJA.

B8 = ALTAMENTE CONVEXA - RECTILINEA BAJA.

B9 = ALTAMENTE CONCAVA

B10 = ALTAMENTE CONVEXA.

B11 = ALTAMENTE CONVEXA.

B12 = PROPORCIONES IGUALES.

4) De los procesos hay que indicar que:

A) Están intrínsecamente relacionados con la forma ya que se han asignado a ella con los siguientes criterios:

— ALTAMENTE CONCAVA, MODERADAMENTE CONCAVA Y LIGERAMENTE CONCAVA = Sedimentación coluvial y en pequeños tramos cercanos al río también puede darse aluvial.

— RECTILINEA = Cuando el ángulo es escasamente importante: sedimentación aluvial si estamos en el fondo del valle y procesos edafogénicos cuando la ubicación es en la divisoria de aguas. Con un grado de in-

¹⁵ Adjetivos empleados:

— Predominante = ocupa más del 80% de la secuencia.

— Alto = ocupa entre el 80 y el 50% de la secuencia.

— No cualificado = ocupa entre el 50 y el 10% de la secuencia.

— Bajo = ocupa menos del 10% de la secuencia.

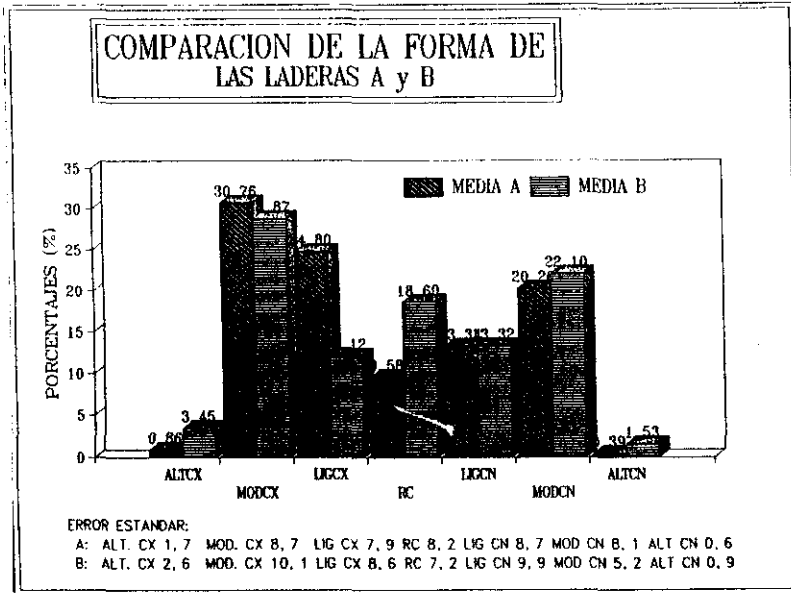


Gráfico 17.

clinación medio dominan los procesos de transporte y con un sesgo cercano a la vertical predominan los movimientos gravitatorios.

— **ALTAMENTE CONVEXA** y **MODERADAMENTE CONVEXA** = Señorío de la reptación.

— **LIGERAMENTE CONVEXA** = La erosión está representada por la eluviación lateral mecánica.

Como puede verse de forma inmediata, aunque en algunos casos a cada forma se le ha atribuido un proceso concreto, se trata básicamente de asignar a cada tramo la supremacía de procesos de erosión, transporte o sedimentación, siguiendo una línea ya clásica en geomorfología.

B) Emulando el esquema utilizado en el punto anterior se han realizado unos gráficos que condensan la información referida al reparto que de las laderas llevan a cabo los distintos procesos (Gráficos N.º 18 y 19).

C) Asimismo se han comparado ambas vertientes obteniendo el gráfico adjunto. En él se ponen de manifiesto las semejanzas y desigualdades entre ambas orientaciones (Gráfico N.º 20).

III. PROPUESTA DE FUNCIONAMIENTO

La hipótesis barajada sobre el funcionamiento geomorfológico actual de las laderas surge tanto del análisis anterior como de la observación di-

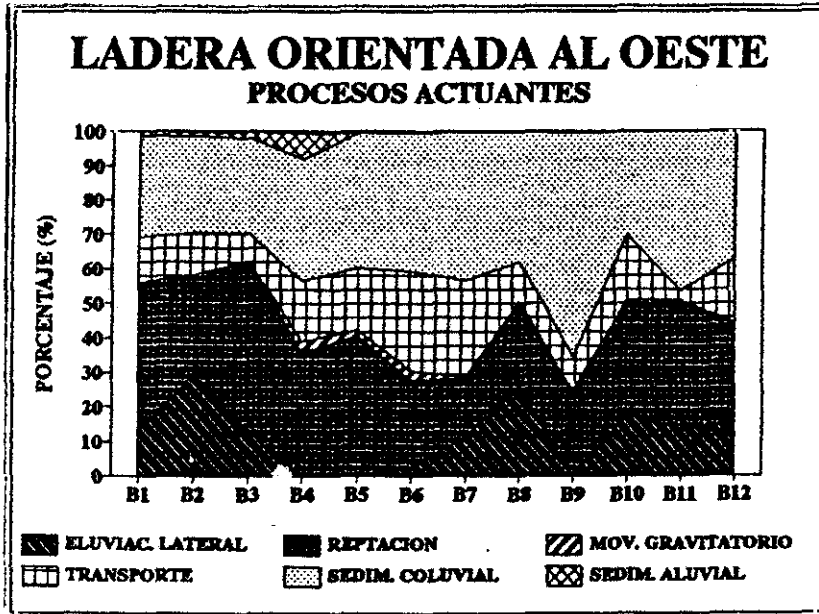


Gráfico 18.

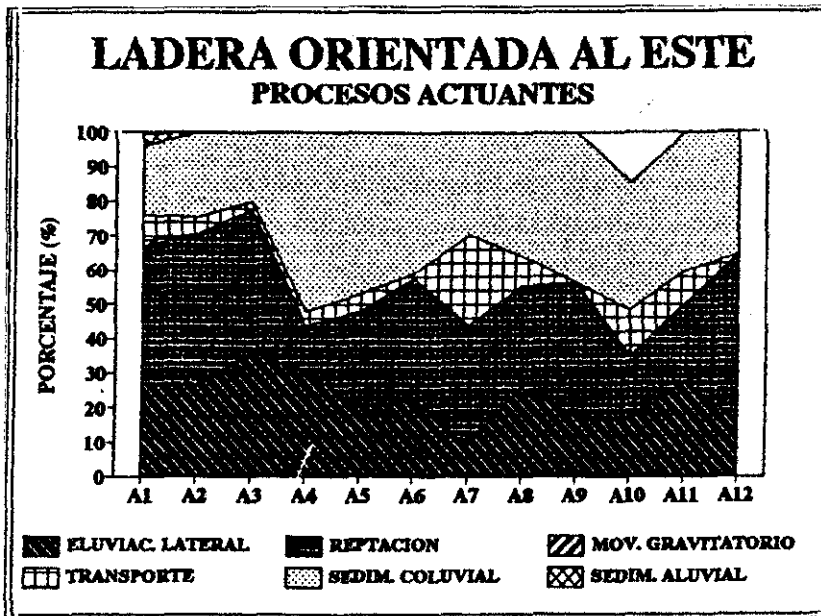


Gráfico 19.

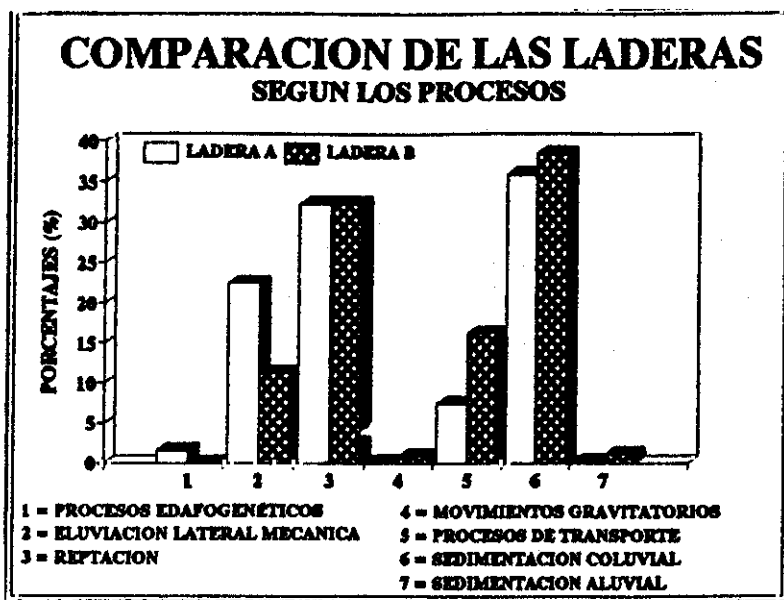


Gráfico 20.

recta sobre el terreno, y más que una teoría asentada, se propone como un supuesto que debe ser perfilado por otros estudios, fundados en la valoración in situ de los procesos actuantes.

El modelado actual de las vertientes, caracterizadas por el afloramiento de un material rocoso homogéneo y la presencia de un recubrimiento saprolítico discontinuo, se debe a la remoción general de detritus en unos lugares —lo que se produce básicamente por medio del lavado superficial¹⁶ y la reptación, variando en su intensidad y competencia con el ángulo de la pendiente y con la distancia al nivel que le sirve de cumbre— y su acumulación en otros apropiados topográficamente: rellanos de las laderas y fondo del valle.

Así, el regolito es desplazado vertiente abajo por reptación, eluviación lateral y el impacto del goteo precipitado fundamentalmente en aquellos lugares en los que dominan las formas inclinadas, acumulándose de modo transitorio en los diversos replanos que las salpican por doquier y en los que también se detienen los productos movilizados por la escorrentia areal

¹⁶ «... es un término que indica el desplazamiento vertiente abajo de los materiales superficiales por la acción del agua en movimiento.» Rice, 1983, p. 149. Incluye la erosión por salpicadura y la escorrentia superficial.

cuando ésta es escasa, produciendo importantes trastornos geomorfológicos ya que, al acopio de elementos finos, se une el hecho de una mayor disponibilidad hídrica, lo que redundará en un cambio cualitativo y cuantitativo de la vegetación¹⁷, que a la sazón actúa como atemperante de los procesos citados en primer lugar (retroalimentación negativa).

El tenue encauzamiento de la escorrentía, generalmente a favor de líneas de debilidad tectónica, corta en algunos casos estos escalones estructurales de pequeño salto y limitado desarrollo desnudándolos lateralmente y, enmarcándolos, los convierte en interfluvios que aparecen dispuestos paralelos a los *thalwegs* por los que esporádicamente discurren dichas aguas. Pero tanto éstas como los productos por ellas y otros procesos de dinámica de vertientes movilizados tienen como postrer reducto el fondo del valle¹⁸, siendo éste el lugar donde se acrecienta la importancia del factor topográfico (sector más bajo y menos inclinado) y el estructural (zona de cruce de líneas de fractura), dando ocasión al aumento de la eficacia de los procesos mencionados para los rellanos, a saber: acumulación de alteritas, empapamiento superficial y subsuperficial casi permanente y amplio desarrollo de una vegetación higrófila.

CONCLUSIONES

— El relieve aquí investigado cuenta con una clara disimetría morfológica, como pone de manifiesto el análisis morfométrico de sus laderas.

— El origen de dicha disimetría es básicamente estructural, aunque es probable la influencia de procesos morfoclimáticos en su mantenimiento y acentuación.

— La forma general del valle desde un punto de vista morfodinámico es en fondo plano, como puede apreciarse en los cortes realizados. Los tres primeros muestran un estrecho valle en V que se corresponde con la acción remontante de los cursos de agua, pero a partir del cuarto perfil aparece un desarrollado fondo suavemente cóncavo, a todas luces desconectado del anterior, que sólo puede ser explicado como resultante de una sedimentación coluvial en un medio endorreico.

— En cuanto al aspecto particular de las laderas se pone de manifiesto la preponderancia de los perfiles con escaso desarrollo del «segmento máximo» y alto grado de convexidad, y de lo anterior también se infiere la existencia de frecuentes cambios convexo-cóncavos en la curvatura, *irregular unit* en la terminología de Young (1972, p.149), así como la escasez

¹⁷ Pasando de un recubrimiento más o menos denso de matorral dominado por *Cistus lufifolius* y *Lavandula pedunculata* a otro más continuo compuesto por *Calluna vulgaris*, *Pteridium aquilinum*, *Nardus stricta* y muchas otras herbáceas.

¹⁸ Aunque bien es verdad que medido en diferentes escalas cronológicas.

de *profile sequence* (parte del perfil de una ladera en la que se suceden las formas convexa, rectilínea y cóncava).

— Los procesos predominantes en el modelado actual de las vertientes son: el lavado superficial, la reptación y la sedimentación coluvial; siendo escasamente competentes los ligados a movimientos gravitatorios y los de carácter fluvial.

— La presente actividad geomorfológica en las laderas consiste fundamentalmente en el transporte aguas abajo de los productos de alteración del roquedo, los cuales cuentan con un acomodo temporal en los replanos que las salpican y, dada la aún escasa competencia fluvial del arroyo de Navacerrada, uno «permanente» en el fondo del valle.

BIBLIOGRAFÍA

- Carson, A., y Kirby M. J. (1972): «Hillslope form and proces», Cambridge.
- García Cacho, L., y Aparicio Yagüe, A. (1987): «Geología del Sistema Central español», Madrid, Comunidad de Madrid.
- King Cuchline, A. M. (1983): «Geografía Física», Barcelona, Oikos-Tau.
- Rice, R. J. (1974): «La cabecera del arroyo de Navacerrada: un valle periglacial en cuna», *Geographica*, Homenaje al Prof. Manuel de Terán, págs. 5-11.
- Sanz Herráiz, C. (1988): «El relieve del Guadarrama Oriental», Madrid, Comunidad de Madrid.
- Vialette, Y.; Bellido, F.; Fuster, J. M., e Ibarrola, E. (1981): «Données géochronologiques sur les granites de la Cabrera», *Cuadernos de Geología Ibérica*, vol. III.
- Young, A. (1972): «Slopes», Edited by K. M. Clayton, Longman.