

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

RETROCESO DE ESCARPES EN AMBIENTES SEMIÁRIDOS A PARTIR DE FACETAS TRIANGULARES DE LADERA (DEPRESIÓN DEL EBRO)

Arauzo, T., Gutierrez-Elorza, M. y Sancho, C.

Dpto. de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de
Zaragoza. 50009 Zaragoza

RESUMEN

La evolución de las laderas en las regiones áridas puede dar lugar a la generación de facetas triangulares de ladera situadas al pie de relieves estructurales. Al Sur de Zaragoza (Depresión del Ebro) existe un buen ejemplo de secuencias de facetas triangulares donde se pueden identificar cinco estadios de evolución de laderas (S_1 a S_5 , de la más reciente a la más antigua). Los depósitos de estas laderas contienen fragmentos de cerámicas, carbón vegetal y cenizas que permiten obtener dataciones relativas y absolutas. El contenido en cerámicas de las acumulaciones indica una edad final de generación posterior al siglo XIX para S_1 y posterior al Bronce Medio-Final (3.500-3.100 BP) para S_2 . Las dataciones por Carbono-14 obtenidas son 2.529 ± 52 BP y 2.930 ± 60 BP para S_2 , 27.862 ± 444 BP para S_3 y 35.570 ± 490 BP para S_4 . La acumulación más antigua no ha podido ser datada. La extrapolación de las ecuaciones logarítmicas ajustadas a los perfiles de las facetas permite calcular los retrocesos del escarpe. Los datos obtenidos indican velocidades de retroceso del escarpe de 0.9-1 m/1.000 años para los últimos 35.000 años.

Palabras clave: Facetas triangulares de ladera, datación por Carbono-14, velocidad de retroceso de escarpes, Depresión del Ebro.

ABSTRACT

Slope evolution in arid regions may result in the development of talus flatiron sequences at the foot of structural reliefs. A good example exists to the South of Zaragoza (Ebro Basin), where five stages of slope evolution have been identified in the talus flatiron sequences (S_1 to S_5 , youngest to oldest). The deposits of these slopes contain pottery remains, charcoal and ashes which permit to carry out relative and absolute datings of the slope accumulations. Based on the pottery content, the most recent accumulation stage (S_1) is post-19th century. The pottery remains of the previous one (S_2) indicate an age post-Middle-Late Bronze (3.500-3.100 BP) and ^{14}C datings obtained for this accumulation are 2.529 ± 52 BP and 2.930 ± 60 BP. The talus flatirons S_3 have provided an age of 27.862 ± 444 BP by ^{14}C and for S_4 the age is 35.570 ± 490 BP. The oldest accumulation has not been dated. The extrapolation of the logarithmic equation fit from the talus flatiron profiles

allows to calculate the scarp retreats. The data supplied indicate rates of scarp retreat of 0.9-1 m/1.000 years over the past 35.000 years.

Key words: Talus flatirons, ¹⁴C dating, rate of scarp retreats, Ebro Basin.

INTRODUCCIÓN

En las regiones áridas en las que el sustrato geológico está compuesto fundamentalmente por rocas sedimentarias de variada composición que presentan una disposición horizontal o subhorizontal, la erosión de estas series da lugar a un modelado morfoestructural con plataformas o cuevas culminadas por las rocas más resistentes y limitadas por escarpes (HOWARD & SELBY, 1994). El perfil estándar de una ladera en estas zonas está compuesto por un escarpe o cantil en la parte superior, un talud parcial o totalmente cubierto por material detrítico en la parte media y una concavidad basal que enlaza con un glacis a su pie (KING, 1962). La evolución de estas laderas puede dar lugar a la aparición de morfologías relictas o facetas triangulares de ladera, también denominadas *talus flatirons* (KOONS, 1955), *schuttrampen* (BLUME & BARTH, 1972), *tripartite slopes* (GOSSMAN, 1976) o *triangular slope facets* (BÜDEL, 1982). Estas morfologías aparecen en torno a relieves estructurales y tienen una planta triangular o trapezoidal cuyo ápice aparece enfrentado y desconectado del escarpe. Cada faceta presenta una ladera interna desnuda e inclinada hacia el escarpe y una ladera externa cubierta por material detrítico, con menor pendiente e inclinada en sentido opuesto. Las partes externas de las facetas pueden enlazar en sus partes distales con terrazas fluviales o glacis.

Las facetas triangulares de ladera no son morfologías muy frecuentes a nivel global y son escasos los lugares donde aparece una secuencia espacial de las mismas (Fig. 1). Esto es debido a que su desarrollo está condicionado por numerosos factores como son la disposición horizontal de los materiales, la presencia de un nivel duro a techo de una serie potente y homogénea de escasa resistencia a la erosión, la proporción existente entre ambas, la inexistencia de niveles duros intercalados en la unidad más blanda, la altura del escarpe, el gradiente de la ladera, la ausencia de cursos fluviales en la base del escarpe que socaven el perfil de la ladera y la presencia de una cubierta detrítica en la ladera que pueda preservar la faceta una vez que esta ha sido formada (KOONS, 1955; BLUME & BARTH, 1972; GERSON, 1982; GERSON & GROSSMAN, 1987; SCHMIDT, 1989, 1994). La generación de una faceta implica que tras un período de acumulación de material detrítico en la ladera proveniente de las partes altas de la misma, tiene lugar un proceso de erosión e incisión que finalmente individualiza la faceta. KOONS (1955) relaciona la formación de una faceta con un balance discontinuo entre el material suministrado por el escarpe y el evacuado de la ladera. Este origen no-cíclico se opone a una interpretación basada en variaciones de los procesos morfogenéticos debido a cambios climáticos, lo cual explicaría la aparición de secuencias espaciales de facetas triangulares de ladera (EVERARD, 1963; SCHWARZ, 1970; GERSON, 1982; GERSON & GROSSMAN, 1987; SCHMIDT, 1989, 1994; SANCHO *et al.*, 1988; ARAUZO *et al.*, en prensa). Por otro lado, se deben considerar las modificaciones de los procesos morfogenéticos producidas por la

actividad humana en tiempos recientes (EVERARD, 1963; SANCHO *et al.*, 1988; GUTIÉRREZ & PEÑA, 1989, 1992).

El estudio de las facetas triangulares de ladera como método de cálculo de la tasa de retroceso de un escarpe ha sido previamente utilizado por GERSON (1982), GERSON & GROSSMAN (1987), SCHMIDT (1989, 1994) y SANCHO *et al.* (1988). La metodología consiste fundamentalmente en la extrapolación del perfil de la faceta para conocer el retroceso absoluto del escarpe y la asignación de una edad determinada para la acumulación de la ladera relictas. Los métodos empleados por estos autores para la asignación de la edad de las facetas se han basado en las relaciones estratigráficas del depósito de las laderas con depósitos cuaternarios adyacentes (GERSON, 1982; GERSON & GROSSMAN, 1987; SCHMIDT, 1989, 1994; SANCHO *et al.*, 1988), la geoarqueología (GERSON, 1982; GERSON & GROSSMAN, 1987; SANCHO *et al.*, 1988) y las variaciones de la proporción de Mn/Fe en barnices desérticos (DORN, 1983; GERSON & GROSSMAN, 1987).

ÁREA DE ESTUDIO

Las secuencias de facetas triangulares de ladera estudiadas se encuentran en torno a los cerros de San Pablo (Mezalocha) y Las Coronas (Villanueva de Huerva), situados al sur de Zaragoza dentro de la Depresión del Ebro (Figs. 1 y 2). El relleno sedimentario en esta zona corresponde al Mioceno y está compuesto de arcillas, margas y calizas en disposición horizontal. Ambos relieves estructurales están coronados por calizas sobre las que se dispone en disconformidad mediante un contacto erosivo un conjunto de gravas pliocuaternarias (Fig. 3).

El área se encuentra entre 500 y 600 m por encima del nivel del mar. Las características climáticas corresponden a un medio semiárido con una precipitación media anual en torno a 350 mm y una temperatura media anual de 15 °C. Las precipitaciones se distribuyen en dos máximos pluviométricos de carácter tormentoso en primavera y otoño.

METODOLOGÍA

Se ha realizado una cartografía geomorfológica del cerro de San Pablo sobre fotografías aéreas de escala 1:18.000. Las laderas y facetas triangulares diferenciadas se han agrupado en distintas etapas generativas según criterios espaciales.

La obtención de los perfiles de las facetas se ha llevado a cabo con un inclinómetro y cinta métrica, mientras que para su referenciación respecto al escarpe se han empleado un distanciómetro y un altímetro. Todos estos perfiles fueron transformados en coordenadas cartesianas para posteriormente realizar su ajuste a una curva mediante un programa informático. Los ajustes responden a una regresión logarítmica del tipo $y=a-b\text{Log}(x)$, que presenta unos coeficientes de determinación (R^2) satisfactorios. La extrapolación de estas curvas desde los ápices de las facetas hasta su intersección con la prolongación del techo de las calizas permite estimar la posición del escarpe en las distintas etapas evolutivas.

Simultáneamente se estudiaron los depósitos correlativos a cada etapa de generación de laderas. El contenido en restos arqueológicos, concretamente fragmentos de cerámicas, conlleva una datación relativa de determinadas acumulaciones. Por otro lado, el hallazgo de carbón vegetal o cenizas permite la realización de dataciones absolutas por el contenido isotópico de Carbono-14. Estos análisis fueron realizados por el *Servicio de Tritio y Carbono-14 de la Universidad Autónoma de Barcelona* y por *Beta Analytic Inc. Laboratory, Branch University of Miami*.

Conociendo la posición del escarpe entre dos etapas y el tiempo transcurrido entre ellas, es posible obtener una tasa de retroceso del escarpe.

RESULTADOS

En la zona estudiada se diferencian 5 etapas de acumulación de ladera, apareciendo siempre las más antiguas (S_5 , S_4 y S_3) como facetas triangulares de ladera. Todas estas facetas se disponen paralelamente en torno al escarpe, lo cual permite agruparlas en etapas de generación (Fig. 2). La acumulación de ladera S_2 es una regularización que puede llegar a alcanzar el techo de las calizas y que está siendo activamente erosionada en la actualidad, llegando en algunas zonas como en el cerro de Las Coronas a constituir facetas triangulares de ladera. Por el contrario, la acumulación S_1 siempre aparece al pie del escarpe y presenta algunas facetas incipientes. En general, el número de facetas que aparecen en la cara Norte de los cerros es muy superior a las encontradas en la ladera Sur, coincidiendo este hecho con el mayor contraste topográfico y erosión hídrica existente en la ladera norte (Figs. 2 y 3).

Las facetas S_5 , S_4 y S_3 presentan una ladera externa cóncava con ángulos que varían entre 5° y 20° . Estos ángulos disminuyen conforme las facetas están más alejadas del escarpe. Las dos acumulaciones de ladera más recientes (S_2 y S_1) presentan perfiles cóncavos con ángulos desde 8° a 38° . Por encima del tramo de caliza siempre aparece un tramo convexo desarrollado en el gravas pliocuaternarias, por lo cual se ha tomado el techo de las calizas como nivel de referencia del retroceso del escarpe (Fig. 3).

Las ecuaciones de las curvas de ajuste de los perfiles de las facetas S_5 , S_4 y S_3 en el Cerro de San Pablo se muestran en la tabla 1. En los retrocesos calculados por extrapolación se observa por término medio unos valores superiores en la ladera Norte del cerro que en la Sur para las etapas S_4 y S_3 .

La acumulación detrítica de las laderas está compuesta por clastos heterométricos de caliza y cuarcita con una matriz arcillosa. Los clastos calizos y cuarcíticos son suministrados por la caliza miocena y el conglomerado pliocuaternario respectivamente, y aparecen orientados según la dirección de máxima pendiente. Estos depósitos presentan una potencia media de 1 m y aparecen ligeramente cementados por carbonatos. La cementación se incrementa progresivamente con la edad de las facetas, favoreciendo por tanto su preservación. Dentro de las dos acumulaciones más recientes se han encontrado fragmentos de cerámicas, lo que permite obtener una datación relativa *postquem*. Las cerámicas encontradas en el interior de S_2 indican una edad final de generación posterior al Bronce Medio-Final (3.500-3.100 BP). Las laderas S_1 contienen cerámicas de la misma edad que la anterior y cerámicas de los siglos

XVIII y XIX, por lo cual su edad final de generación es posterior al siglo XIX. Por otro lado, la aparición de carbón vegetal y cenizas dentro de las acumulaciones permite realizar dataciones absolutas por Carbono-14. Los resultados para la acumulación S_2 han sido de 2.930 ± 60 BP en el Cerro de San Pablo y 2.529 ± 52 BP en el Cerro de Las Coronas. Para la acumulación S_3 se ha obtenido una datación de 27.864 ± 444 BP en el Cerro de Las Coronas. Para S_4 la datación ha sido de 35.570 ± 490 BP en el Cerro de San Pablo. En la S_5 no se ha podido obtener ningún tipo de información cronológica.

Utilizando el retroceso medio del escarpe para cada uno de los períodos de tiempo entre etapas se obtienen unas velocidades medias de retroceso muy similares para los intervalos S_2 - S_3 y S_3 - S_4 (Tabla 1). Si considerásemos un valor similar para la tasa de retroceso del período S_4 - S_5 , podríamos estimar la edad de la acumulación S_5 en torno a 60.000 BP.

CONCLUSIONES

La evolución de las laderas en un medio semiárido puede dar lugar a la aparición de secuencias de facetas triangulares de ladera. Su generación se encuentra ligada a la alternancia de etapas de acumulación e incisión como consecuencia de modificaciones en los procesos morfogenéticos. La relación de esta alternancia con oscilaciones climáticas puede conducir al esclarecimiento de la incidencia regional de los cambios climáticos que han tenido lugar en el pasado reciente.

A lo largo de las etapas de acumulación e incisión el escarpe sufre un retroceso continuo y paralelo a sí mismo (GERSON, 1982), variando la tasa de retroceso en función de las características litológicas, estructurales y climáticas. Durante los períodos de acumulación puede alcanzarse un equilibrio dinámico entre la producción y la evacuación de materiales en la ladera (HOWARD & SELBY, 1994), por lo cual la tasa de retroceso del escarpe debe ser menor que en los períodos de incisión. La ruptura de este equilibrio por el dominio de los procesos de erosión hídrica provoca una rápida evacuación de los materiales en las laderas, pudiendo individualizarse facetas triangulares por la incisión de la red de primer orden en las partes medias de la ladera. En el área estudiada los cálculos efectuados sobre el retroceso del escarpe muestran velocidades medias de 0.9 y 1 m/1.000 años. Estos valores son ligeramente inferiores a los obtenidos por SANCHO *et al.* (1988) en Chalamera (Huesca) de 3 m/1.000 años. Ambos valores son mayores que los retrocesos calculados a partir de facetas en medios de mayor aridez, que dan valores de 0.1-0.6 m/1.000 años (GERSON, 1982; GERSON & GROSSMAN, 1987) y 0.5 m/1.000 años (SCHMIDT, 1989, 1994). Por otro lado, la utilización de métodos distintos a las facetas triangulares de ladera para calcular el retroceso de escarpes en medios climáticos semiáridos muestran unos valores medios de 3-3.5 m/1.000 años (SAUNDERS & YOUNG, 1983). En consecuencia, la diferencia entre las tasas de retroceso en medios áridos y semiáridos a partir del estudio de las facetas triangulares pone de manifiesto una dinámica y evolución más activa en las laderas semiáridas.

Entre las distintas técnicas utilizadas para el cálculo de la tasa de retroceso de escarpes estructurales en regiones áridas (OBERLANDER, 1989), el

estudio de las facetas triangulares de ladera se presenta como un método válido para el cálculo de las tasas de retroceso de escarpes, siempre y cuando las características sean apropiadas para su aparición y conservación, y sea posible la datación relativa o absoluta de su generación.

Por otra parte, además de la obtención de tasas de retroceso de escarpes, un estudio más exhaustivo de estas morfologías en zonas de clima árido y semiárido puede proporcionar una importante información acerca de la diferente incidencia de los cambios climáticos globales en ambos medios (GERSON, 1982; GERSON & GROSSMAN, 1987; SCHMIDT, 1994; BULL, 1991; ARAUZO *et al.*, en prensa).

BIBLIOGRAFÍA

- ARAUZO, T.; GUTIÉRREZ, M. & SANCHO, C. (en prensa). Facetas triangulares de ladera como indicadores paleoclimáticos en ambientes semiáridos (Depresión del Ebro). *Geogaceta*.
- BLUME, H. & BARTH, H. K. (1972). Rampenstufen und Schuttrampen als Abtragungsformen in ariden Schichtstufenlandschaften. *Erkunde*, **26**, 139-156.
- BÜDEL, J. (1982). *Climatic Geomorphology*. Princenton University Press, 443 pp.
- BULL, W. B. (1991). *Geomorphic responses to climatic changes*. Oxford University Press, 326 pp.
- DORN, R. I. (1983). Cation-ratio dating: a new rock varnish age-determination technique. *Quaternary Research*, **20**, 49-73.
- EVERARD, C. E. (1963). Contrasts in the form and evolution of hill-side slopes in central Cyprus. *Transactions of the Institute of British Geographers*, **32**, 331-347.
- GERSON, R. (1982). Talus relicts in deserts: a key to major climatic fluctuations. *Israel Journal of Earth Sciences*, **31**, 123-132.
- GERSON, R. & GROSSMAN, S. (1987). Geomorphic activity on escarpments and associated fluvial systems in hot deserts. En: **R. Rampino, J. E. Sanders, W. S. Newman & L. K. Königsson** (Eds.), *Climate, history, periodicity, predictability*. Van Nostrand Reinhold, New York, 300-322.
- GOSSMANN, H. (1976). L'importance des processus se déroulant à la ligne de partage locale des eaux pour l'évolution des versants sous la dominance du ruissellement pluvial (à l'aide de formules mathématiques élémentaires). *Actes du Symposium sur les versants en pays méditerranéens, Aix en Provence, 28-30 Avril 1975*. Centre d'Etudes Géographiques et de Recherches Méditerranéennes vol. **V**, 139-143.
- GUTIÉRREZ, M. & PEÑA, J. L. (1989). Upper Holocene climatic change and geomorphological processes on slopes and infilled valleys from archaeological dating (NE-Spain). *European Conference on Landscape Ecological Impact of Climate Change, Lunteren, Netherlands, 3-7 December 1989*. Dutch Ministry of the Environment, Lunteren.
- GUTIÉRREZ, M. & PEÑA, J. L. (1992). Evolución climática y geomorfológica del Holoceno Superior (Cordillera Ibérica, Depresión del Ebro y Pre-Pirineo). En: **A. Cearreta & F. M. Ugarte** (Eds.), *The Late Quaternary in the Western Pyrenean region*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao, 109-124.
- HOWARD, A. D. & SELBY, M. J. (1994). Rock Slopes. En: **A. D. Abrahams & A. P. Parsons** (Eds.), *Geomorphology of Deserts Environments*. Chapman & Hall, London, 123-172.
- KING, L. C. (1962). *The Geomorphology of the Earth*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 726 pp.
- KOONS, D. (1955). Cliff retreat in the southwestern United States. *American Journal of Science*, **253**, 44-52.
- OBERLANDER, T. M. (1989). Slope and pediment systems. En: **D. S. G. Thomas** (Ed.), *Arid Zone Geomorphology*, Belhaven Press, London, 56-84.

- SANCHO, C.; GUTIÉRREZ, M. & PEÑA, J. L. (1988). A quantitative approach to scarp retreat starting from triangular slope facets, central Ebro Basin, Spain. *Catena Supplement*, **13**, 139-146.
- SAUNDERS, J. & YOUNG, A. (1983). Rates of surface processes on slopes, slope retreat and denudation. *Earth surfaces processes and landforms*, **8**, 473-501.
- SCHMIDT, K.-H. (1989). Talus and pediments fluvial erosional and depositional features on dryland cuesta scarps. *Catena Supplement*, **14**, 107-118.
- SCHMIDT, K.-H. (1994). Hillslopes as evidence of climatic change. En: **A. D. Abrahams & J. Parsons** (Eds.), *Geomorphology of deserts environments*. Chapman & Hall, London, 553-570.
- SCHWARZ, R. (1970). *Die Schichtstufenlandschaft der Causses*. Tübinger Geographie Studien H. **39**, Tübingen.

Pies de Figuras

Figura 1. Secuencia de facetas triangulares de ladera al pie del Cerro de Las Coronas (Mezalocha, Zaragoza)

Figure 1. Talus flatirons sequence at the foot of Cerro de Las Coronas (Mezalocha, Zaragoza)

Figura 2. Localización del área de estudio y mapa geomorfológico del Cerro de San Pablo. 1: Gravas pliocuaternarias. 2: Calizas miocenas. 3: Valles de fondo plano. 4: Incisiones lineales. 5: Acumulación de ladera S₁. 6: S₂. 7: S₃. 8: S₄. 9: S₅.

Figure 2. Location of the study area and geomorphological map of Cerro de San Pablo. 1: Upper Pliocene-Lower Pleistocene gravels. 2: Miocene limestone. 3: Infilled valleys. 4: Gullies. 5: Slope accumulation S₁. 6: S₂. 7: S₃. 8: S₄. 9: S₅.

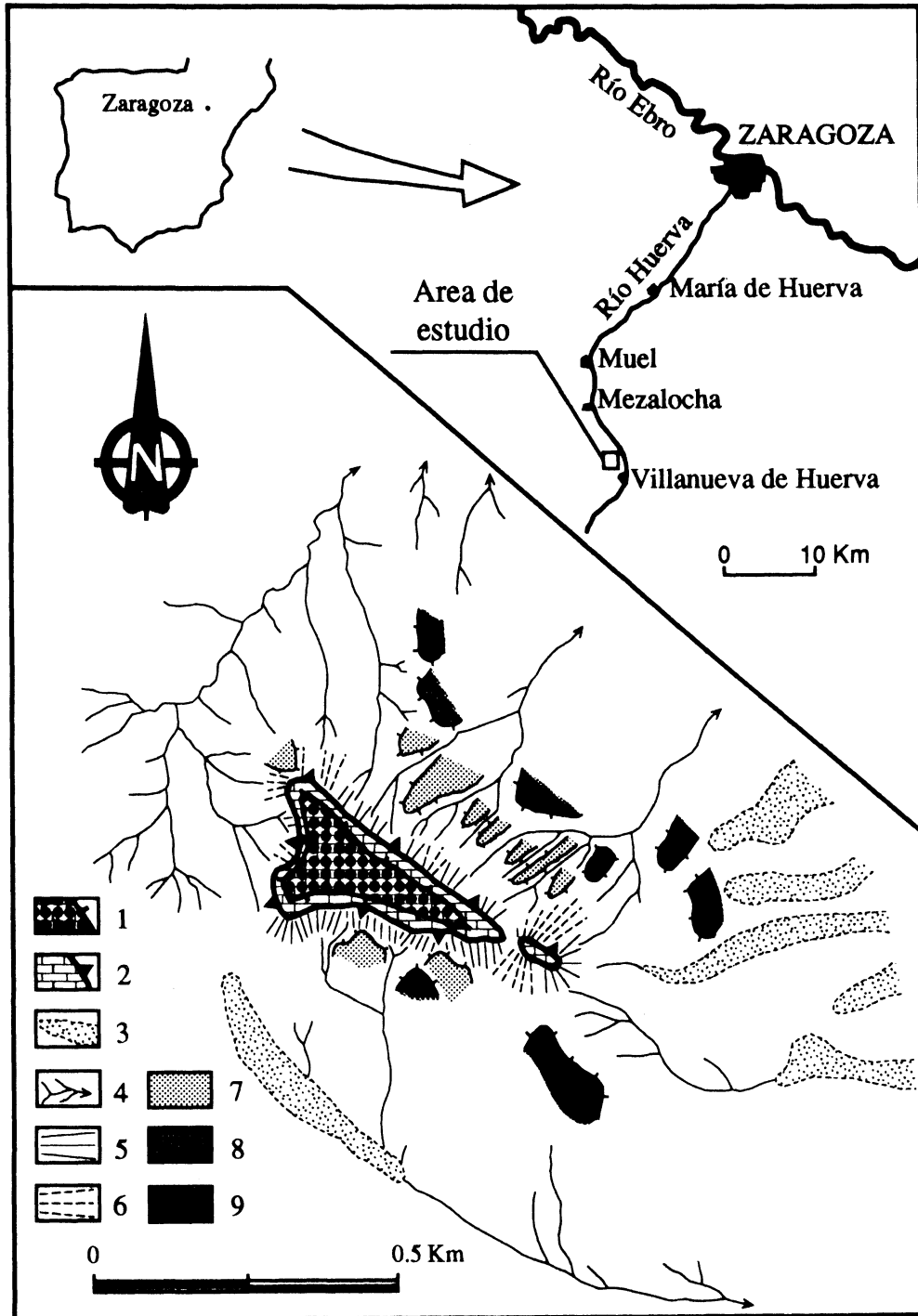
Figura 3. Corte esquemático del Cerro de San Pablo con la extrapolación de los perfiles de las facetas triangulares de ladera.

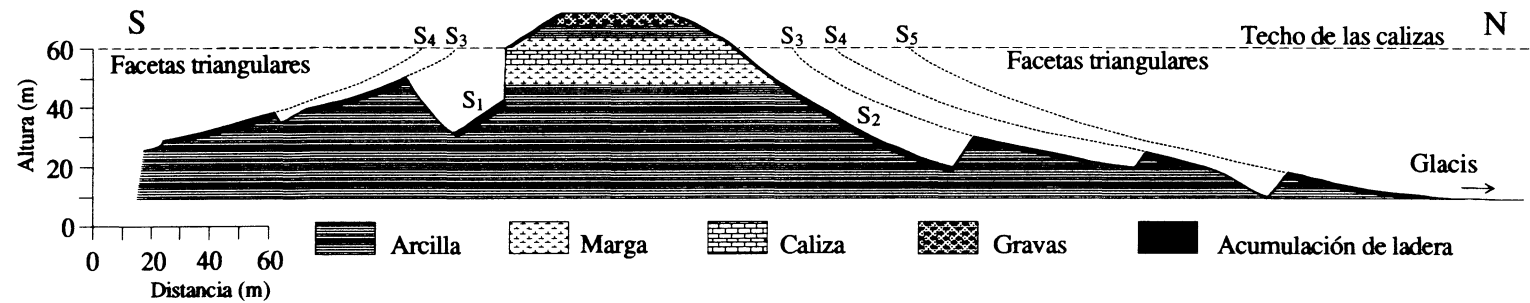
Figure 3. Schematic cross-section of Cerro de San Pablo with the extrapolation of the talus flatiron profiles.

Tabla 1. Ecuaciones de las curvas de ajuste de los perfiles de las facetas triangulares de ladera del Cerro de San Pablo, coeficiente de determinación (R²), retrocesos absolutos del escarpe, retrocesos relativos entre estadios generativos y estimación de las velocidades de retroceso.

Table 1. Equation fit curves of talus flatirons profiles from Cerro de San Pablo, determination coefficient (R²), absolute scarp retreats, relative scarp retreats between generation stages, and estimate of scarp retreat rates.







Ajuste de perfiles de las facetas de orientación Sur

Etapas de faceta	Ecuación de ajuste	R ²	Retroceso del escarpe
S ₃	y=45,444-35,346Log(x)	0,999	19,30 m
S ₃	y=39,323-32,454Log(x)	0,993	16,27 m
S ₄	y=71,298-48,678Log(x)	0,999	29,15 m

Ajuste de perfiles de las facetas de orientación Norte

Etapas de faceta	Ecuación de ajuste	R ²	Retroceso del escarpe
S ₃	y=66,825-50,198Log(x)	0,997	21,44 m
S ₃	y=66,337-50,871Log(x)	1,000	20,13 m
S ₃	y=57,967-45,688Log(x)	0,992	18,56 m
S ₃	y=82,858-58,720Log(x)	0,999	25,76 m
S ₃	y=96,413-66,045Log(x)	0,990	28,82 m
S ₃	y=103,06-72,700Log(x)	0,999	26,15 m
S ₃	y=100,38-69,866Log(x)	0,997	27,33 m
S ₄	y=82,261-54,595Log(x)	0,980	32,11 m
S ₄	y=144,55-88,716Log(x)	0,989	42,59 m
S ₄	y=67,057-52,776Log(x)	0,994	18,64 m
S ₅	y=139,57-79,668Log(x)	0,999	56,48 m

Retrocesos del escarpe ladera Sur

Período entre etapas	Retroceso del escarpe	Intervalo de tiempo	Velocidad retroceso
S ₂ -S ₃	17,88 m	25.000 años	0,7 m/1.000 años
S ₃ -S ₄	11,37 m	7.500 años	1,5 m/1.000 años

Retrocesos del escarpe ladera Norte

Período entre etapas	Retroceso del escarpe	Intervalo de tiempo	Velocidad retroceso
S ₂ -S ₃	24,02 m	25.000 años	0,9 m/1.000 años
S ₃ -S ₄	7,09 m	7.500 años	0,9 m/1.000 años
S ₄ -S ₅	25,37 m	?	?

Retrocesos medios del escarpe

Período entre etapas	Retroceso del escarpe	Intervalo de tiempo	Velocidad retroceso
S ₂ -S ₃	22,64 m	25.000 años	0,9 m/1.000 años
S ₃ -S ₄	7,98 m	7.500 años	1 m/1.000 años
S ₄ -S ₅	25,86 m	?	?