

Evolución cuaternaria del relieve en la vertiente Sur del Sistema Central Español. Las formas residuales como indicadores morfológicas

Quaternary evolution of relief in the southern slope of the Central Range of Spain. Residual forms as morphological indicators

CENTENO CARRILLO, J. D.

Departamento de Geodinámica. Facultad de Geología. 28040 Madrid

INTRODUCCION

El estudio de formas graníticas ha permitido elaborar un modelo sobre la evolución cuaternaria de las superficies erosivas del Sistema Central, modelo que completa a los expuestos por PEDRAZA (en este mismo número) sobre el origen de esas superficies, principalmente durante el Terciario. El modelo propuesto sugiere que, durante el Cuaternario, y en las fases iniciales del encajamiento fluvial, se produjo un aplanamiento incipiente acompañado de procesos de alteración. La elaboración de este modelo parte de la edad de la superficie M_1 (SCHWENZNER, 1936) que, según los modelos más recientes, se formó durante el Plioceno por pedimentación (PEDRAZA, 1978) o por exhumación de una superficie preexistente (GARZON, 1980). Aceptada esta edad, todas las formas y depósitos enca-

INTRODUCTION

The study of granite landforms has permitted the elaboration of a model about the quaternary evolution of erosive surfaces of the Central Range, a model which has been complemented by those put forward by PEDRAZA in this issue about the origin of these surfaces, mainly during the Tertiary.

The proposed model suggest that, during the Quaternary and before the initial phases of river formation, an incipient planation took place, accompanied by processes of alteration.

The elaboration of this model depart from the age of the surface M_1 (SCHWENZNER, 1936) which, according to the latest studies was formed during the Pliocene period by pedimentation (PEDRAZA, 1978), or by exhumation of a pre-existing surface (GARZON, 1980). If this age is accepted,

jados en dicha superficie pueden considerarse como cuaternarios.

all the forms and deposits found on this surface may be considered as quaternary.

INDICIOS DE ALTERACION CUATERNARIA: GENESIS DE LAS PILAS

SIGNS OF QUATERNARY ALTERATION: ORIGIN OF GNAMMAS

Los primeros indicios regionales de procesos de alteración cuaternaria nos fueron suministrados al estudiar las características de las pilas (*gnammas*) su génesis y su evolución. VIDAL ROMANI (1983) sugería que, en Galicia, la formación de pilas es un proceso activo, tan solo interrumpido por la propia evolución de la forma que llega a estados en que finaliza su desarrollo.

The first regional signs of processes of quaternary alteration were provided when we studied the features of the *gnammas*, their origin and development. VIDAL ROMANI (1983), suggest that, in Galicia, the formation of *gnammas* is an active process, only interrupted by the evolution of the form itself which reaches a stage at which its development is ended.

Las obras para construcción de una pista en la rampa de El Escorial pusieron al descubierto algunas pilas incipientes. Todas estas pilas, de dimensiones centimétricas, estaban asociadas a enclaves máficos en granodioritas. Por lo tanto, las pilas se originan, al menos en sus primeras fases, bajo el manto de alteración. Las diferencias de tipo litológico pueden determinar su inicio, pero, puesto que son frecuentes en granitos sin enclaves, o dada su frecuente asociación a entornos estructurales concretos, como la culminación de domos, hay que considerar que las pilas son formas convergentes a partir de procesos diversos.

The building work carried out on a road in El Escorial (Madrid, Spain) exposed some *gnammas* in a stage of incipient development. All these *gnammas*, with centimetric dimensions, were developed from mafic enclaves in granodiorites. The *gnammas* originate (TWIDALE, C. R., 1982) in the weathering front, at least in their first stages. Lithological differences may determine their beginning, but, as they are often found in granites without enclaves or given their frequent association with specific structural surroundings, such as the sheet structure of domes, we are forced to conclude that we are dealing with convergent forms generated by different processes.

Aunque iniciadas en el frente de alteración, las pilas evolucionan una vez expuestas (ver por ejemplo TWIDALE & CORBIN, 1963). La mayoría de las pilas tienen su fondo en posición horizontal, aunque los bloques presentan a menudo pruebas de caída o basculamiento. Cuando el bloque soporte de una pila ha sufrido un basculamiento, la pila está siempre inactiva y en fase de degradación o, en unos pocos casos se ha formado un segundo fondo oblicuo respecto al anterior. Esto prueba que la alteración sobre estas formas funciona en superficie y en la actualidad.

Although they are initiated at the weathering front, the *gnammas* evolve once they are exposed on the open surface of the ground (e. g. TWIDALE & CORBIN, 1963). Most of them have their bottom part in a horizontal position although the blocks often signals of tilting movements. When the block bearing a *gnamma* undergoes a tilting movement, the *gnamma* is now not functional and moves on to a phase of destructive degradation, or, in a few cases, a second oblique bottom is formed related to the previous one (VIDAL ROMANI, 1983). This proves that, the alteration acting on these forms is carried out on the surface and is happening at present.

Las pilas son formas ideales para ilustrar los conceptos de reforzamiento y autoprotectura (TWIDALE *et al.*, 1974). Como

consecuencia de su capacidad de acumulación de agua y regolito, una vez iniciada la concavidad, esta misma acelera el proceso de su desarrollo. Además, y a consecuencia de la aridez estival de estas zonas se produce concentraciones de iones y endurecimientos o encostramientos de la superficie interior de las pilas. Esta concentración se realiza a expensas del resto del bloque soporte (OLLIER, 1960). Son por ello frecuentes las formas acuminadas, producidas por la alteración y lavado de un bloque protegido en su parte superior por una pila endurecida que forma un anillo de roca (*rock doughnut*).

Estas observaciones indican que las pilas son formas que autoaceleran el proceso de formación y cuya destrucción se retrasa por sus mismas características. En cambio, en pilas que pierden su posición original la destrucción es rápida desde el momento en que la circulación del agua posibilita el lavado.

Puesto que las pilas se destruyen, queda claro que los procesos de alteración son activos. En todo caso esa alteración no requiere transformaciones minerales importantes. Bastan procesos como la oxidación de biotita para producir la arenización del granito (PEDRAZA, 1984), pero al menos indican que existe la posibilidad de procesos de arenización y grabado subcutáneo de formas.

LAS PENDIENTES INVERTIDAS O *FLARED SLOPES* COMO INDICADORES MORFOLOGICOS

Las pendientes invertidas, abrigos o *flared slopes* son superficies cóncavas, a menudo extraplomadas, situadas en los márgenes de algunos relieves residuales. Su génesis fue explicada cuando estas formas fueron expuestas al excavar en el regolito para construir embalses en Australia. Según TWIDALE (1962) la forma se debe a un aumento del proceso de alteración en los márgenes de afloramientos de roca fresca, donde el

Gnammas are perfect examples to illustrate the concepts of reinforcement and self-perpetuation of the forms (TWIDALE *et al.*, 1974). As a consequence of its capacity to hold water and regolith, once hollowing has been started, it is self-accelerated. Besides this, and as a consequence of the summer anclity of these areas, both concentrations of ions (Ca^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} , Fe^{+2}) and hardening or crusting on the inner surface of the gnammas are produced. Such concentration is produced at the expense of elements coming from inner part of the supporting block of the form (OLLIER, 1960). In turn, such hardening increases the forms stability. For this reason acuminate forms are frequent, produced by the alteration and washing of a block protected at the top by a hardened (gnamma) which forms a rock doughnut. Moreover, these observations indicate that pits are forms which accelerate the process of formation themselves, and whose destruction is delayed by their own characteristics. On the other hand, in (gnamma) which lose their original position, destruction is speeded up from the moment at which the circulation of water makes washing possible.

Since pits are destroyed, processes of weathering are clearly taking place. In any case, these alterations do not require major mineral transformations. Processes like biotite oxidation are enough to produce grus formation in the granite (PEDRAZA, 1984) which at least indicates that there exists the possibility of grus forming processes and subcutaneous etching of forms.

FLARED SLOPES AS MORPHOLOGICAL INDICATORS

Flared slopes are concave surfaces, often overhanging, situated on the edges of some residual reliefs. Their origin was explained when these forms were exposed, when regolith was dug up for the building of dams in Australia. According to TWIDALE (1962)

balance hídrico del suelo se beneficia de la escorrentía superficial procedente de la roca fresca más impermeable. Su formación, por tanto, requiere dos condiciones: primero, la existencia de un afloramiento de roca con regolito o *grus* en sus márgenes, y segundo, un período de estabilización de este regolito y esa morfología. A estas condiciones seguiría una activación del lavado, que expondría la forma.

La exigencia de estas condiciones ha permitido utilizar estas formas como indicadores morfológicos de etapas de estabilización y alteración frente a otras de erosión y dismantelamiento del regolito. Así, por ejemplo TWIDALE & BOURNE (1975) establecían el carácter episódico de la exposición en *inselbergs* de varias regiones de Australia.

El modelo genético puede aplicarse en el Sistema Central Español porque se han expuesto *flares* en las obras de una pista forestal de la Pedriza de Manzanares (pista de las Zetas).

EL ENCAJAMIENTO CUATERNARIO EN LA RAMPA DE CADALSO DE LOS VIDRIOS

Los arroyos que drenan la rampa de Cadalso, y otras partes de la rampa meridional, circulan encajados en la superficie pliocena (GARZON *et al.*, 1982). El encajamiento, como veremos, es bastante complejo, pero evidentemente debió producirse durante el cuaternario, al igual que la exposición de las formas residuales de esas vertientes (PEDRAZA, 1984).

Un análisis detallado de las vertientes muestra que este encajamiento tiene un perfil ideal como el de la figura 1:

- a) Unos replanos encajados en la superficie M_1 , formados por abundantes plataformas de roca entre áreas de regolito.
- b) *Flared slopes* con culminaciones

the form is due to an increase of weathering in the margin of outcrops of fresh rock, where the hidric balance of the soil cover benefits from the surface runoff proceeding from the most impermeable dominant relief of fresh rock. Thus, its formation requires two conditions: firstly, the existence of an outcrop of rock with regolith (*grus*) in its surroundings, and secondly, a period of stabilization so that subsurface alteration should be produced. These conditions, an activation of followed by washing will expose the form.

The need for these conditions has allowed these forms to be used as morphological indicators of the stages of stabilization and alteration as compared with others of erosion and destruction of the *grus*. So, for instance, TWIDALE and BOURNE (1975) established the periodic nature of the exposure for the *inselbergs* of several areas of Australia.

The genetic model can be applied to the Spanish Central Range, as *flares* have been exposed during work on a road in Pedriza de Manzanares (Pista de las Zetas).

QUATERNARY INCISION IN THE RAMP OF CADALSO DE LOS VIDRIOS

The streams which drain the ramp of Cadalso, and elsewhere on the meridional ramp, flow entrenched in the Pliocene surface (GARZON *et al.*, 1982). This encasement as we shall see, is rather complex, but must obviously have been produced during the Quaternary, as was the exposure of the residual forms of those slopes (PEDRAZA, 1984).

A detailed analysis of the slopes shows that, this incision has an ideal profile like that shown in figure 1:

- a) Replanes cutted in surface M_1 , formed by abundant rock platforms areas of regolith.

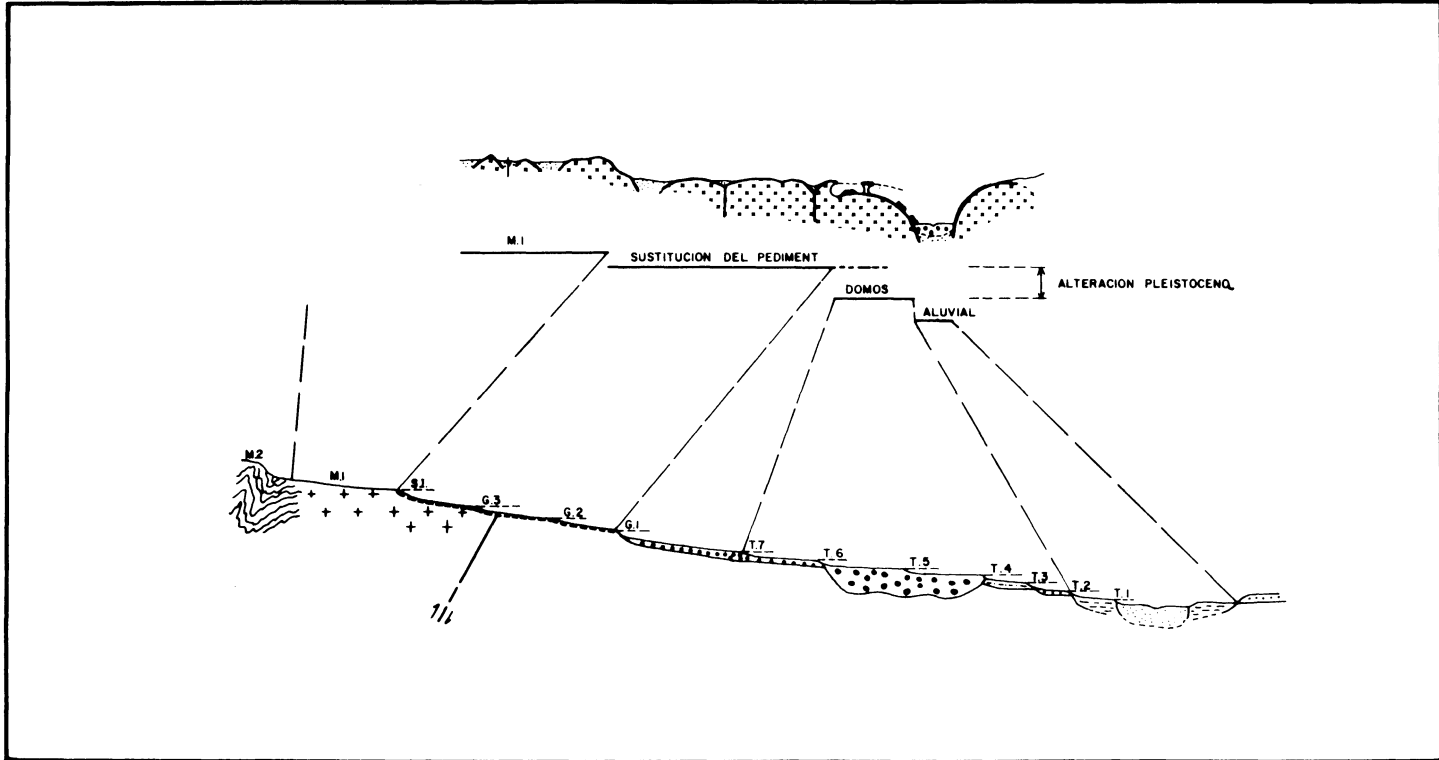


Fig. 1. Perfil ideal del valle del arroyo Tabalón y de otros arroyos en la rampa de Cadalso de los Vidrios. Perfil del valle del Río Alberche (según PEDRAZA, 1976) y correlación entre ambos.

Idealized profile of the arroyo Tabalon and the arroyos of the ramp of Cadalso de los Vidrios. Perfil of the valley of Alberche river (after PEDRAZA, 1976) and correlation of both.

- que enrasan con los replanos anteriores.
- c) Vertientes erosivas irregulares, con domos y lanchares frecuentes, en cuyas culminaciones se observan *flares* y rocas fungiformes.
 - d) Por debajo de estas vertientes, un depósito mixto aluvial-coluvial asociado al cauce actual o ligeramente disectado por el río.

Por tanto, pueden distinguirse las siguientes etapas en la evolución de esta zona:

1. Inicio del encajamiento, posterior al aplanamiento plioceno. Formación de replanos.
2. Estabilización, alteración y grabado de formas residuales.
3. Lavado y encajamiento fluvial. Exposición de las formas grabadas en el episodio anterior.
4. Deposición de aluviales y coluviales en el fondo de valle.
5. Incisión.

LA ALTERACION CUATERNARIA

La formación de *flares* en los márgenes de plataformas rocosas encajadas en la superficie M_1 implica una alteración de edad cuaternaria. Los restos de alteración que quedan al pie de estas formas son las únicas muestras posibles. Su composición da una idea de los procesos de alteración implicados y las condiciones en que se produjeron.

En las dos muestras analizadas se encuentra un 35 % y 40 % de filosilicatos: caolinita (30 %) e illita (70 %) en la primera, y caolinita (45 %), illita (30 %) y vermiculita (25 %) en la segunda (Fig. 2).

La composición no difiere sustancialmente, por ejemplo, de las alteraciones precretácicas o paleógenas de la región (CEN-

- b) Flared slopes with culminations which are levelled with the previously mentioned replanes.
- c) Irregular erosive slopes with frequent domes and sheet structures, at whose culminations flares and fungiform rocks are to be observed.
- d) Beneath these slopes there is an alluvial-colluvial deposit associated which the present channel or slightly dissected by the river.

Thus, the following stages in the evolution of this area can be distinguished:

1. Beginning of the incision after the pliocene planation. Formation of platforms.
2. Stabilization, alteration and etching of residual forms.
3. Fluvial washing and incision. Exposure of forms etched in the previous episode.
4. Deposit of alluvials and colluvials in the bottom of the valley.
5. Incision.

QUATERNARY ALTERATION

The formation of flares at the edges of rocky platforms entrenched in the surface M_1 implies a quaternary weathering.

The remains of regolith which are still at the base of these forms are the only points for the taking of samples. Their compositions gives an idea of the processes of alteration implied and of the conditions in which they were produced. In the two samples analysed, between 35 and 40 percent of phyllosilicates are found: caolinite 30 %, Illite 70 %, in the first, and caolinite 45 %, illite 30 % and vermiculite 25 % in the second (Fig. 2).

The composition is not substantially different, for example, from the precretaceous

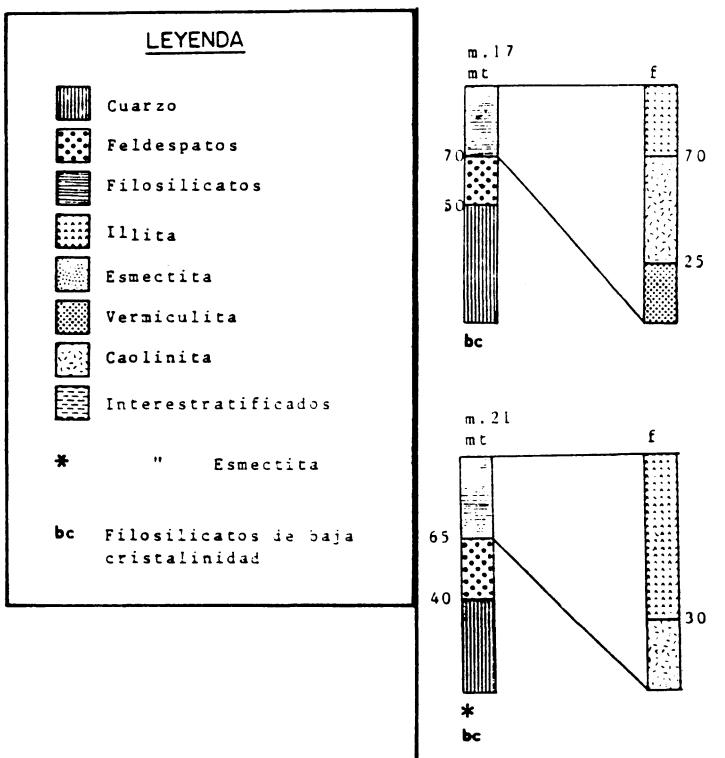


Fig. 2. Composición de las alteraciones pleistócenias (según CENTENO, 1987 y CENTENO y BRELL, 1988).

Mineralogical composition of pleistocene alterites (after CENTENO, 1987 and CENTENO and BRELL, 1988).

TENO, 1987; CENTENO Y BRELL, 1987) que han sido a menudo interpretadas como el resultado de climas tropicales-húmedos. La presencia de esta composición en alteritas pleistocenas apunta más bien a condiciones controladas por factores locales y estructurales como las sugeridas por MOLINA *et al.* (1986).

or paleogene alterites of the region (CENTENO, 1987; CENTENO and BRELL, 1988) which have often been interpreted as the result of humid tropical climates. The presence of this composition in pleistocene alterites rather points to conditions controlled by local and structural factors such as those suggested by MOLINA *et al.* (1986).

LA EDAD DE LOS PROCESOS MORFOGENETICOS CUATERNARIOS

THE AGE OF MORPHOGENETIC QUATERNARY PROCESSES

La presencia de estas alteraciones ofrece por otro lado la posibilidad de correlacionar las etapas de encajamiento con las mejor conocidas de la cuenca terciaria del Tajo. La fi-

The presence of these alterations offers on one hand the chance to correlate our stages of incision with the bestknown ones of the Tajo river basin. Figure 1 shows the co-

gura 1 muestra también la correlación con éstos. El perfil del valle del río Alberche muestra una sucesión de terrazas, encajadas en un sistema de glacis de ladera que, a su vez, se encajan en la superficie M_1 .

Los niveles de terraza T_7 y T_6 , este último erosivo, presentan suelos rojos y rubefacciones. Estas son equivalentes a las que ALFEREZ (1977) describe en el río Tajo con contenidos de caolinita variables, que permiten efectuar la correlación. Según esta la alteración se produjo entre el Pleistoceno Inferior y el techo del Pleistoceno Medio, según correlacionamos con los suelos de los valles del Alberche, el más cercano, o el Tajo, el mejor estudiado.

A partir de esta correlación puede proponerse el modelo evolutivo general de la figura 3.

Tras la formación pliocena de la M_1 , se inicia la incisión de la red fluvial, con formación de superficies de sustitución del pediment en el macizo y los glacis de ladera en la cuenca. A mediados del Pleistoceno Inferior, mientras en el Alberche se forman los suelos rojos, se inicia la alteración y la formación de formas grabadas. El proceso se prolongaría hasta el techo del Pleistoceno Inferior o el Medio según nuestra fuente de correlación. Las siguientes fases de encajamiento, durante el Pleistoceno Medio y Superior o Superior, darán lugar a la exposición de las formas grabadas anteriormente.

CONSIDERACIONES FINALES

El modelo evolutivo propuesto sugiere que los procesos morfogenéticos de aplanamiento y grabado, fundamentales para entender la evolución terciaria del relieve, han sido activos en varios momentos del Cuaternario. En estas circunstancias, las interpretaciones climáticas deben revisarse y deben considerarse condicionantes estructurales tanto para la alteración como para la morfogénesis.

Las formas residuales son la clave para el

relation between the two places. The profile of the Alberche river valley shows a succession of terraces trenched into a system of slope-glacis, which, in turn, are incised into the M_1 surface, according to PEDRAZA (1976). The level of terraces T_7 and T_6 , the latter being erosive, present red soils and rubefactions. These alterations are equivalent to those which ALFEREZ (1977) describes in the River Tajo, with variable contents of caolinite, a criterium which we use to carry out the correlation. According to this, the weathering was produced between the lower Pleistocene and the top of middle Pleistocene, depending we make the alteration correspond with the soils of the valleys of Alberche river (the nearest) or those of the Tajo river, which have been more thoroughly studied.

From these correlation we propose the general evolutionary model synthesized in figure 3.

After the pliocene formation of M_1 , the incision of the river network is begun, with the formation of surfaces of substitution of the pediment in the massif and the slope-glacis in the tertiary basin. In the middle of lower Pleistocene, while in the river Alberche red soils are formed, the alteration and formation of etched forms are begun.

This process would be prolonged until the end of the lower or middle Pleistocene, according to the criterium of correlation chosen. The following phases of entrenchment during the Middle and later Pleistocene, would produce the exposure of forms etched previously.

FINAL CONSIDERATIONS

The evolutionary model proposed suggest that the morphogenetic processes of planation and etching, which are fundamental to understand the tertiary evolution of the relief have been active at several moments in the Quaternary. In these circumstances, climatic interpretations must be revised, and structural conditioning factors considered both for weathering and morphogenesis.

Residual forms are the key to the study

	A PARTIR DE DATOS LOCALES (ALBERCHE)	A PARTIR DE DATOS MEGAREGIONALES (TAJO)
HOLOGENO	DEPOSITOS ALUVIALES	
PLEISTOCENO SUPERIOR	ENCAJAMIENTO Y EXPOSICION DE DOMOS	
PLEISTOCENO MEDIO	ALTERACION Y FORMACION DE FLARED SLOPES'	
PLEISTOCENO INFERIOR	INICIO DE LA INCISION REPLANOS DE SUSTITUCION DEL PEDIMENT	
PLIOCENO	FORMACION DEL PEDIMENT INFERIOR (M ₁)	

Fig. 3. Modelo sobre la evolución cuaternaria de la rampa meridional del Sistema Central.

Evolutive model of the Cuaternary of the southern piedmont of the Spanish Central Range.

estudio de la morfogénesis de áreas con escasa o nula sedimentación. La idea era ya propuesta por ADAMS (1975) para quien las superficies de aplanamiento pueden estudiarse gracias a que no son perfectamente planas.

of morphogenesis of areas with little or no sedimentation. The idea had already been put forward by ADAMS (1975), for whom the planation surfaces could be studied thanks to the fact that «they are not completely flat».

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS (1975) (Ed.). *Plankton surfaces* Benchmark Papers in Geology, V. 22, Dowden, Hutchinson and Ross Inc., 476 pp (Introducción).
- ALFEREZ, F. (1977). Estudio del sistema de terrazas del río Tajo al Oeste de Toledo, *Estudios geol.* 33: 223-250.
- CENTENO, J. D. (1987). *Morfología granítica de un sector del Guadarrama Occidental (Sistema Central Español)*. Ed. Universidad Complutense. Colec. Tesis Doctorales, n.º 262/88, 321 pp. Madrid.
- CENTENO, J. D. y BRELL, J. M. (1987). Características de las alteraciones de las Sierras de Guadarrama y Malagón (Sistema Central Español). *Cuaderno Lab. Xeológico de Laxe*. Coruña, vol. 12: 79-87.
- GARZON, M. G. (1980). *Estudio geomorfológico de una transversal en la Sierra de Gredos oriental (Sistema Central Español)*. Tesis doctoral. Fac. C. Geológicas. Univ. Complutense (inédita).
- GARZON, M. G.; PEDRAZA, J. y UBANELL, A. G. (1982). Los modelos evolutivos del relieve del Sistema Central Ibérico (sectores de Gredos y Guadarrama). *Rev. R. Acad. Cienc. Ex., Fis. y Nat. de Madrid*. Tomo 86(2).
- MOLINA, E.; BLANCO, J. A.; PELLITERO, E. and CANTANO, M. (1986). Weathering processes and morphological evolution of the spanish hercinian massif. *International Geomorphology*. Ed. by Gardiner, Part. II, pp. 957-977.
- OLLIER, C. D. (1960). The Inselbergs of Uganda *Z. Geomorph.* 4 (1): 43-52.
- PEDRAZA, J. (1976). Algunos procesos morfogenéticos recientes en el valle del río Alberche (Sistema Central Español). La depresión de Aldea del Fresno. Almorox. *Bol. Geol. y Min.* 87 (1) 1-12.
- PEDRAZA, J. (1978). *Estudio geomorfológico de la zona de enlace entre las sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español)*. Tesis doctoral. Facultad C. Geológicas. Universidad Complutense (inédita).
- PEDRAZA, J. (1984). Domos graníticas de exhumación cuaternaria en la rampa de Cadalso de los Vidrios (Sistema Central Español). *Congreso Español de Geología*, T. I, 535-552.
- SCHWENZNER, J. E. (1936). Zur Morphologie de Zentral spanischen Holchlandes. *Geol. Abhand.* Trad. por C. VIDAL BOX (1943). *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat.*, 41: 121-147.
- TWIDALE C. R. (1962) Steepened margins of inselberg from northwestern Eyre peninsuler, South Australia. *Z. Cpomab.* 6:51-69.
- TWIDALE, C. R. (1982). *Granite landforms* Elsevier Scientific Publ. Company, 372 pp.
- TWIDALE, C. R. and CORBIN E. M. (1963) Gnammas. *Rev. Geom. Dyn.* 14: 1-20.
- TWIDALE, C. R. and BOURNE, J. A. (1975). Episodic exposure of cuselbers. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 86: 1473-1481.
- TWIDALE, C. R.; BOURNE, J. A. and SMITH, D. M. (1974). Reinforcement and stabilization mechanism in landforms development. *Rev. Geom. Dyn.* 23: 115-125.
- VIDAL ROMANI, J. R. (1983). El cuaternario de la provincia de A Coruña. Geomorfología granítica. Modelos elásticos de formación de cavidades (2T). Tesis Doctoral. Universidad Complutense, 600 pp.