

## GENESIS DEL MODELADO TIPO MALLO\*

Gerardo Benito Ferrández\*\*

### RESUMEN

*En los conglomerados de borde de las Sierras Exteriores pirenaicas se desarrolla un modelado en pináculos, muy típico de esta banda de tránsito, conocido con el nombre aragonés de mallo. En este trabajo se analizan los factores que favorecen su desarrollo y evolución, tomando como base de estudio el sector más occidental de las Sierras prepirenaicas.*

*Para su formación se necesitan conglomerados masivos con elevada potencia y bien cimentados. Su génesis está favorecida por la práctica carencia de planos o juntas de estratificación y la presencia de una red de fracturas ortogonales regularmente espaciadas. En su desarrollo hay que considerar: la erosión y meteorización que individualizan y modelan los bloques conglomeráticos, la evacuación del material acumulado en su base y en algunos casos la presencia de movimientos gravitacionales en los bloques individualizados.*

### SUMMARY

*In the Pyrenean External Sierras, a "pinnacle modelate" –Known as mallo in Aragón– very typical of this transitional area is developed on conglomerate rocks. In the present work the factors that favour its development and evolution are analysed. The western portion of the prepirenean Sierras is taken as a model for its study.*

*Masive, well-cemented and very thick conglomerate rocks are needed for its genesis, which is favoured by the almost complete absence of stratification joints and the presence of regularly spaced perpendicular joints. Weathering and erosion –that model and individualize conglomerate blocks–, evacuation of material accumulated in the bottom, and in some cases gravitational movements of individualized blocks have to be considered in its development.*

\* Este trabajo forma parte de la Tesis de Licenciatura del autor.

\*\* Departamento de Geomorfología y Geotectónica. Facultad de Ciencias. Zaragoza.

En los conglomerados adosados a la vertiente meridional de las Sierras Exteriores oscenses se desarrolla un relieve muy típico de ésta banda de tránsito conocido con el nombre aragonés de *mallo*. Su morfología consiste en pináculos de paredes verticales o extraplomadas con zonas superiores redondeadas, presentando en conjunto más de un centenar de metros de desnivel. Este modelado aparece en otros sectores del borde de la Depresión del Ebro, tanto en la Cordillera Ibérica (Matute, Anguiano, Viguera) como en la Cordillera Costero Catalana (Montserrat, San Llorenç de Munt). En ésta zona el relieve resultante es conocido como modelado *montserratino* y está formado por monolitos cónicos en una masa prácticamente homogénea de conglomerados del Eoceno. Modelados similares se desarrollan en facies tipo Buntsandstein en la Cordillera Ibérica.

Con éste trabajo se pretende conocer los parámetros que intervienen en el modelado y la evolución general del mismo, siendo prácticamente imposible cuantificar los factores y la velocidad de evolución, ya que varían a lo largo del tiempo.

Los trabajos que abordan el tema desde un punto de vista estrictamente geomorfológico son escasos. En las Sierras Exteriores aragonesas BARRERE (1951), indica la relación de éste modelado con una red de fracturas verticales que guían el agua de infiltración. Para este mismo sector pirenaico, RODRIGUEZ VIDAL (1983), señala como principales factores para la génesis del modelado en *mallo*, la potencia del material, la intensidad de fracturación, la cementación y la excavación de la red fluvial. En el prepireneo catalán SOLE SABARIS (1952, 1956), describe el relieve montserratino apuntando algunos aspectos de carácter genético. Más recientemente, en la montaña de Montserrat, SALA Y ANDERSON (1984), intentan obtener datos cuantitativos del valor de las tasas de denudación actuales en estos monolitos.

Estas formas no son exclusivas de los conglomerados y pueden aparecer en todo tipo de materiales isótropos y homogéneos, afectados por una fracturación. Así, dada la escasa bibliografía de este modelado en conglomerados, se ha recurrido a la recopilación de trabajos sobre formas similares en granitos entre los que destacamos a TWIDALE (1976, 1982) y GERRARD (1974).

Para el análisis de estas formas se ha elegido una serie de puntos en la vertiente meridional de prepireneo oscense. En concreto, el área estudiada se encuentra ubicada entre las provincias de Huesca y Zaragoza (fig. 1), en las proximidades de la entrada del río Gállego en la Depresión del Ebro. En esta zona los conglomerados se encuentran adosados al edificio prepirenaico, presentándose con frecuencia un contacto de tipo mecánico. En los materiales afectados por este modelado se pueden diferenciar una serie inferior plegada de edad Oligoceno superior, y otra superior, apenas afectada por el cabalgamiento, de edad miocena. En general se trata de conglomerados

## MODELADO TIPO MALLO

dos de aspecto masivo, pobremente clasificados, de carácter oligomictico, empastados en una matriz arcillosa y fuertemente cementados. Lateralmente, estos conglomerados pasan de forma brusca a areniscas, limos y arcillas. Desde el punto de vista estructural, se caracterizan por estar afectados por una red de fracturas que condicionan el desarrollo ulterior del modelado.

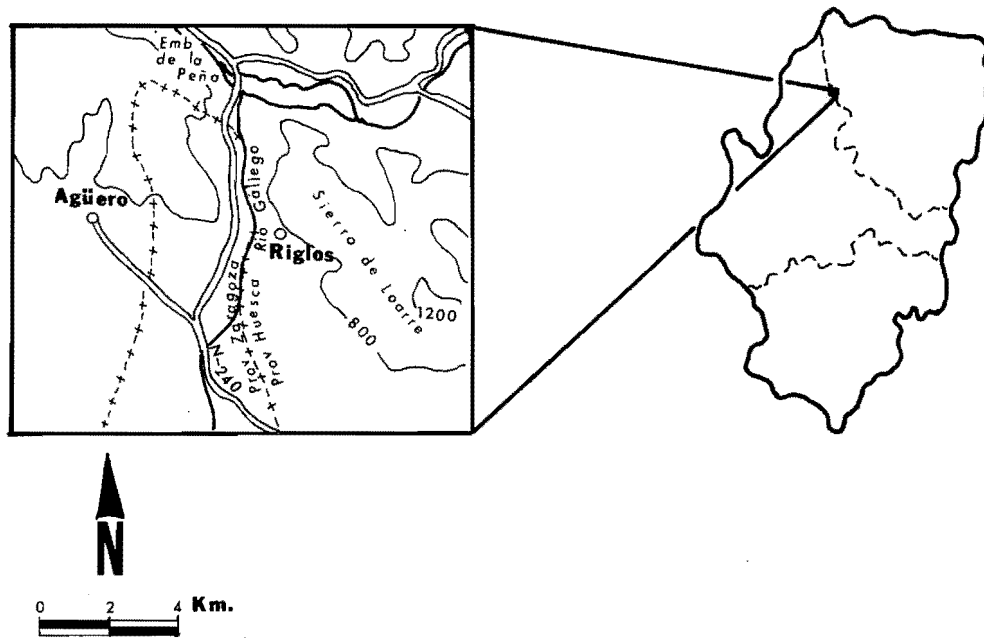


Figura 1  
Situación geográfica del área estudiada.

## **Factores que intervienen en el desarrollo del modelado en Mallo**

Para precisar los factores que intervienen en la génesis y evolución del modelado se ha realizado un cartografía geomorgológica, con abundantes observaciones de detalle en el campo, medida de la densidad y dirección de la fracturación (observada en la fotografía aérea), así como un estudio litológico de las formaciones afectadas. Por orden de importancia los factores que toman parte en el desarrollo de este modelado son:

### *a) Las características del material*

En el área de estudio los mallos se desarrollan en formaciones detríticas de borde formadas por bloques, a veces angulosos y de grandes dimensiones, y otras redondeados y de menor tamaño. Para la posterior evolución del relieve en pináculos se necesita una gran potencia del depósito (se han observado hasta 250 m.) y fuerte cementación que impida el desmoronamiento del material durante la formación del mallo.

Un factor básico para el desarrollo de los monolitos es la isotropía del material. En los conglomerados donde la estratificación está poco desarrollada, la erosión moldea los materiales en todos sus frentes sin que se produzca un avance diferencial de ésta. Cuando los conglomerados se presentan bien estratificados, la erosión progresa por los planos o la juntas de estratificación, a favor de los materiales más deleznable. El resultado final no es un modelado en mallo característico, sino un relieve en "torres" con poco desarrollo de la altura de los monolitos, ya que la inestabilidad de los bloques compartimentados da lugar a desplomes. Cuando en una secuencia litológica se tienen combinaciones de estratificación bien desarrollada y masiva, las formas resultantes son variadas y en algunos casos caprichosas, como ocurre en la zona de Agüero donde aparecen modelados piriformes.

Una característica común a todos los sectores estudiados es el brusco cambio lateral de facies desde conglomerados a arenisca. La erosión diferencial de las areniscas puede generar frentes conglomeráticos escarpados, en los que actúan con mayor intensidad los procesos de meteorización de la roca.

### *b) La fracturación*

Afectando a los conglomerados y areniscas del borde de las Sierras Exteriores, se desarrolla una intensa red de fracturas verticales o subverticales. La fracturación es el factor más importante en la generación del relieve tipo mallo, ya que va a condicionar la forma y el tamaño original de los bloques antes de ser moldeados por la meteorización. La génesis de estas fracturas es difícil de precisar y aunque las características del material impiden

## MODELADO TIPO MALLO

la observación de estrías, se puede observar cierta relación entre las distintas direcciones que toma el frente de cabalgamiento, al Norte del área estudiada, y las directrices de la fracturación.

En base a las características de la fracturación se han diferenciado cinco estaciones denominadas de Oeste a Este: Agüero (A), Punta Común (B), Alaniés (C), Riglos (D) y Os Fils (E). En éstas se han medido, a partir de la fotografía aérea, las direcciones y longitudes de cada una de las fracturas, representando en un rosa la longitud total de las fracturas para intervalos de dirección de 10° (fig. 2). De esta forma podemos observar las direcciones predominantes de fracturación y su repercusión en el modelado.

En la figura 2 vemos que las direcciones preferentes de fracturación son: N-S (excepto para la estación "A"), N050-N080E- (con diferente desarrollo para cada estación) y N140E-N160E (muy bien desarrolladas en Agüero y Punta Común). Además, se desarrollan otras direcciones de importancia local: N110E-N120E (en Agüero y Alaniés), E-W (Punta Común) etc...

Para conocer la relación entre la fracturación y el modelado hay que tener en cuenta dos factores fundamentales: las directrices de la fracturación y la densidad de la misma. En las *directrices de fracturación* hay que considerar varios elementos como son la verticalidad de las fracturas y los ángulos que forman, ya que condicionan la forma de los bloques antes de la meteorización, y por tanto el modelado final de los monolitos. La *densidad* determina el volumen inicial de los bloques y la génesis de los mallos, puesto que en las áreas donde la densidad de fracturación es excesivamente alta o baja, no se obtiene un relieve de pináculos típico. En el primer caso la erosión progresa rápidamente por las discontinuidades, desmantelando el sustrato y generando bloques en la vertiente, y en el segundo al no estar fracturados los conglomerados permanecen constituyendo plataformas. La densidad de fracturación media para cada una de las estaciones la encontramos en la tabla 1, expresada como número de fracturas por km<sup>2</sup>.

Estación	N.º de fracturas Medidas	Superficie aprox. de fracturación	Densidad. Fracturas/ Unidad superf.
Agüero (A)	68	1 km <sup>2</sup>	71.5 fract./km <sup>2</sup>
Punta común (B)	63	0.2 km <sup>2</sup>	331.5 fract./km <sup>2</sup>
Alaniés (C)	40	0.9 km <sup>2</sup>	46 fract./km <sup>2</sup>
Riglos (D)	56	0.4 km <sup>2</sup>	193 fract./km <sup>2</sup>
Os fils (E)	11	0.9 km <sup>2</sup>	12.5 fract./km <sup>2</sup>

Tabla 1. Datos de fracturación en los conglomerados del área estudiada.

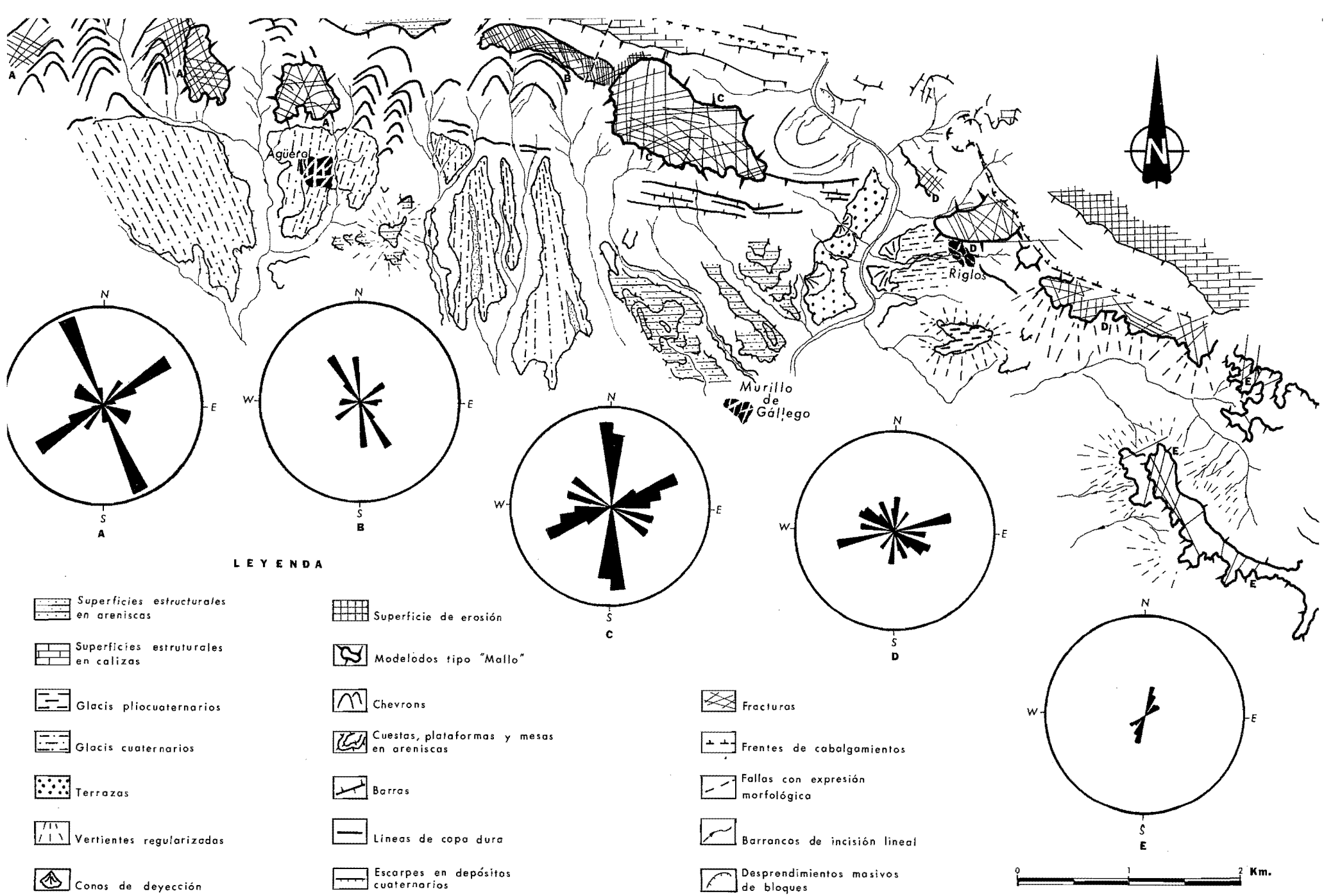


Figura 2

## GERARDO BENITO FERRANDEZ

En la estación A (Agüero), se presentan dos familias principales de fracturación (050-060 y 150-160), que forman ángulos de  $70^{\circ}$ - $90^{\circ}$  (ver figura 2). La densidad de fracturación media en estos conglomerados es de 71,5 fract./km<sup>2</sup>. Todas estas características permiten el desarrollo de pináculos con secciones aproximadamente circulares de hasta 100 metros de diámetro (foto 1).

En la estación B (Punta Común), se desarrollan tres familias principales de fracturación (060-070, 140-150, 170-180), que forman ángulos que oscilan entre  $20^{\circ}$ - $60^{\circ}$ . La densidad de fracturación media es muy elevada, impidiendo el desarrollo del modelado en mallo.

En los conglomerados miocenos de Alaniés (estación C), se presentan dos familias de fracturas principales (170-180 y 060-080), además de dos familias secundarias (100-110 y 120-130). Los ángulos entre ellas varían entre  $10^{\circ}$  y  $50^{\circ}$ , y la densidad de fracturación media es de 46 fract./km<sup>2</sup>, que aumentan aparentemente hacia las zonas próximas al escarpe. De acuerdo con esto, el volumen fracturado se comporta en las zonas alejadas al escarpe de forma masiva y homogénea, mientras que en el frente se desarrollan facetas triangulares con secciones variables y en general de diferentes dimensiones (foto 2).

Para la estación D (Riglos), se presenta una familia principal (070-080) y una serie de familias secundarias concentradas entre los 090-190. La densidad de fracturación media es de 193 fract./km<sup>2</sup>. Las medidas tomadas en cada estación se refieren a valores promedios y ocasionalmente puede ocurrir que estos datos no se mantengan, apareciendo sectores con densidades inferiores a la media. Este es el caso de dos espectaculares mallos situados a la izquierda del Gállego en su salida a la Depresión (los Mallos de Riglos). Aquí, son dos las familias principales de fracturación que afectan a los conglomerados, presentando una densidad de fracturación media de 70 fract./km<sup>2</sup>. Al Oeste y Suroeste de Riglos la densidad es mayor y se desarrollan unos pináculos muy finos y susceptible a la erosión (foto 3).

En el afloramiento de Os Fils se muestran dos direcciones de fracturación (010-030 y 050-070), pero dada la escasa densidad de fracturas (12.5 fract./km<sup>2</sup>) no llegan a constituir un relieve tipo mallo, obteniéndose un modelado en plataforma con desarrollo de algunas "torres".

En resumen, se obtiene que los ángulos de las direcciones principales de fracturación oscilan entre los  $50^{\circ}$ - $60^{\circ}$ , aunque en Agüero y de forma localizada en Riglos, son de  $70^{\circ}$ - $80^{\circ}$ . En las áreas donde la densidad media es excesivamente alta (Punta Común) o baja (Os Fils) no se obtiene un relieve tipo mallo característico. De acuerdo con las observaciones realizadas, se estima que la densidad ideal de fracturación para la formación del modelado en mallo es del orden de la encontrada en el área de Agüero (75 fract./km<sup>2</sup>), con monolitos de secciones aproximadamente circulares y equidimensionales de 60-100 metros.

## MODELADO TIPO MALLO

### c) *Meteorización*

La meteorización actúa de forma decisiva en la evolución del relieve, moldeando e individualizando los bloques conglomeráticos a partir de la fracturación existente. Puede intervenir en sus tres formas: mecánica, química y biológica.

La *meteorización física* es la más importante y ataca la roca de forma proporcional a la superficie expuesta. Según esto, el ataque principal se produce en los vértices, después en las aristas y finalmente en las caras de los bloques, presentando en el estadio final formas cilíndricas con terminaciones a modo de "cúpulas" semiesféricas. Entre los procesos que intervienen tenemos la acción hielo-deshielo, importante en la estación invernal, y los procesos de humectación y secado que actúan principalmente en la matriz de la masa conglomerática. Como consecuencia de estos procesos de meteorización, se producen descamaciones en la roca con desarrollo de modelados de meteorización típicos de rocas granudas (tafonización y cavernización)

La *meteorización química* interviene fundamentalmente disolviendo el carbonato cálcico tanto de los cantos como del cemento, y mediante procesos de hidratación. La *meteorización biológica* actúa en las zonas de fracturas, ya que al tratarse de puntos de mayor humedad se concentra la vegetación originando la descomposición de las paredes y la abertura de las grietas.

En general, resulta difícil cuantificar el valor de estos procesos por separado ya que la meteorización se muestra como el cómputo total de la acción física, química y biológica, cuyo resultado final es el modelado de la masa conglomerática.

### d) *Otros factores*

#### – Evolución de vertientes

Aunque no tenga relación directa con la fisonomía del modelado, sí que tiene su importancia en la evolución de los mallos. Si el material acumulado en la base no llega a exportarse, podría terminar por cubrir de detritos el frente escarpado presentando el aspecto, como ocurre en algunas áreas situadas al Este de Riglos, de riscos en una vertiente semiregularizada. Así, para el desarrollo del modelado en mallo es necesario que el material acumulado sea transportado, de tal forma que el monolito suponga una ruptura fuerte en la vertiente, en la que se presenta la mayor cantidad de superficie expuesta a la meteorización. De aquí, que las áreas con mayor desarrollo de los mallos se encuentran asociadas a zonas de fuerte erosión, salida de ríos (zona del Gállego), de fuertes barrancos (sector de Agüero), que aceleran los procesos de incisión y evacuación de los detritos de la base.



– *Movimientos gravitacionales*

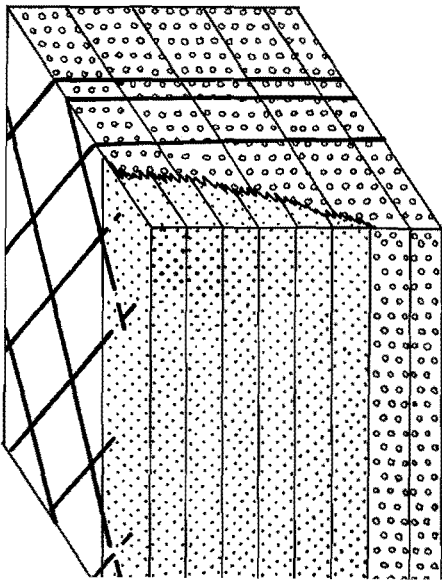
Algunos mallos de grandes dimensiones (zonas de Agüero y Riglos), presentan paredes extraplomadas. En general, pueden interpretarse como producto de una mayor erosión en las zonas medias y basales, pero en algunos casos particulares podrían explicarse por el movimiento debido al propio peso del monolito. Normalmente no se desploman ya que se encuentran fuertemente enraizados al sustrato y sustentados por los depósitos acumulados en su base. Sin embargo, es posible observar en los depósitos de vertiente próximos a los mallos, vestigios de desprendimientos de grandes bloques y pináculos empastados en material arcilloso, que indican la caída de bloques en otros tiempos. En este sentido PEÑA (1983), señala ejemplos de desplomes de monolitos conglomeráticos en el piedemonte leridano, que aparecen cuando las “raíces” no son muy profundas.

### **Evolución**

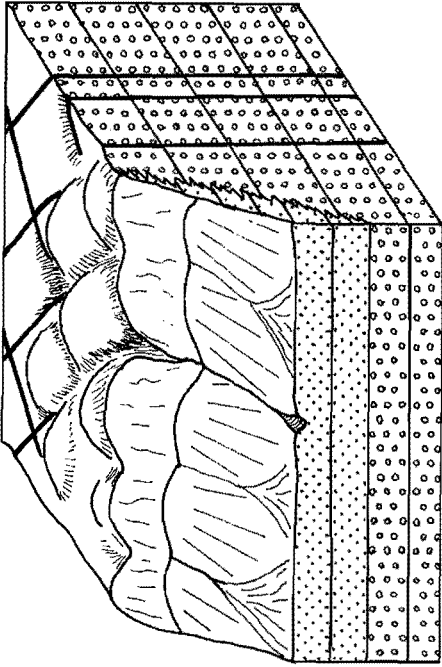
La evolución de estas formas parte de una masa potente de conglomerados de aspecto masivo, bien cementados y con escaso desarrollo de planos o juntas de estratificación. La práctica carencia de estos planos de anisotropía, facilita la formación de paredes verticales, extraplomadas y “lisas”. Estos conglomerados están afectados por una red de fracturas que condicionan la forma original de los bloques antes de ser moldeados por la meteorización. En un caso ideal (estadio 1 de la figura 3), los conglomerados se presentan afectados por dos familias de fracturas ortogonales y regularmente espaciadas con una densidad media del orden de 75 fract./km<sup>2</sup>, ya que por debajo de ésta cifra el relieve puede degradarse fácilmente y por encima el conglomerado no evoluciona y permanece constituyendo plataformas.

Cuando comienzan a actuar los procesos erosivos, el cambio lateral de facies muy rápido facilita, en los estadios iniciales, la generación de un frente escarpado en los conglomerados debido a la erosión diferencial en las areniscas. En este frente comienzan a actuar los procesos de meteorización modelando la roca expuesta e incidiendo los bloques en las zonas de fracturación preexistentes (estadio 2). La meteorización física es la más significativa y tiene lugar, por orden de importancia, en los vértices, las aristas y las caras de los bloques conglomeráticos.

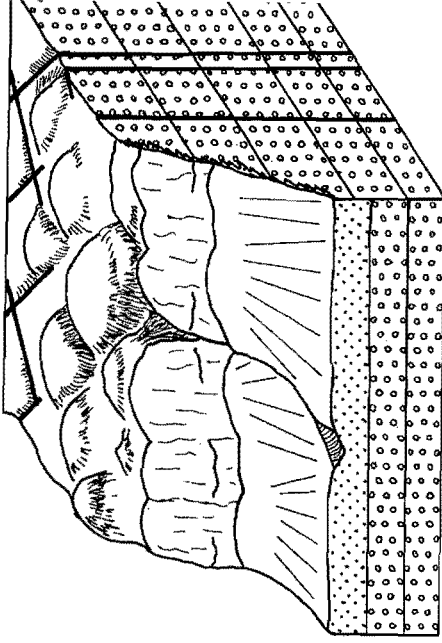
El material erosionado se acumula al pie de los escarpes y a la salida de los barrancos en forma de abanicos (estadio 2), que posteriormente en el área estudiada han sido modelados en glacia (estadio 3). Las vertientes pueden adquirir fuertes potencias y se observan vestigios de grandes desplomes y desprendimientos, desplazados posteriormente por la propia dinámica de la ladera. Si el material no es evacuado pueden llegar a enterrarse parcial-



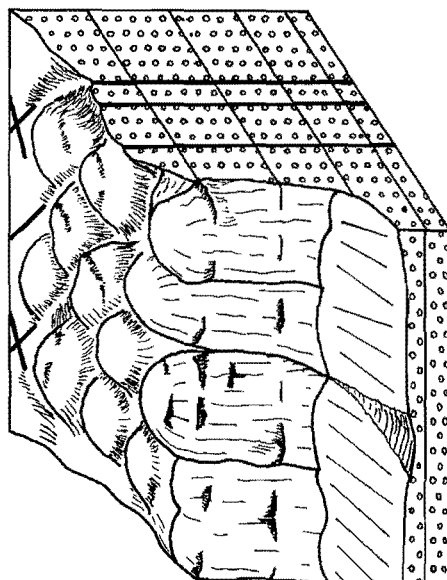
1



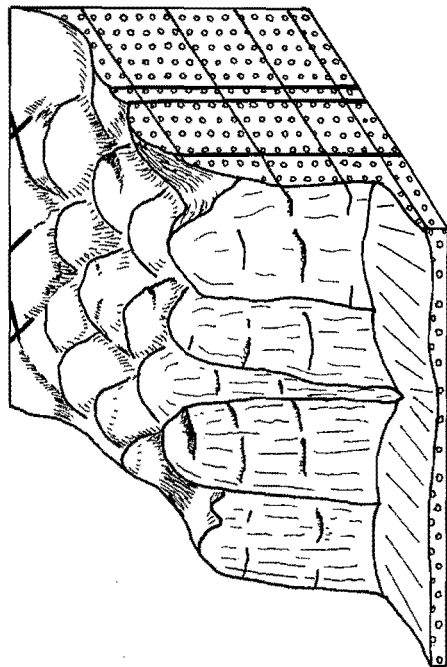
2



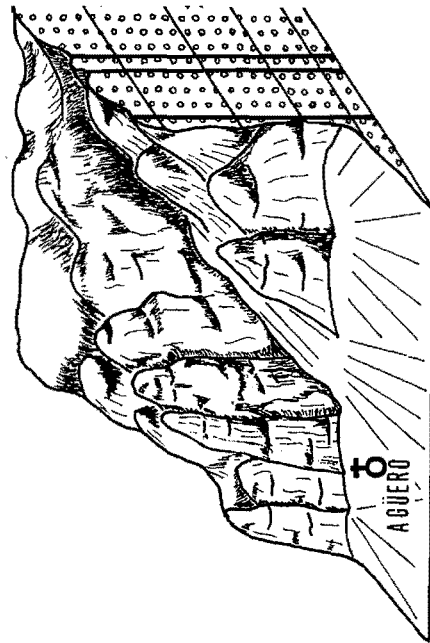
3



4



5



6

Figura 3  
Esquema de la evolución del relieve tipo mallo.

## MODELADO TIPO MALLO

mente los pináculos, evitando la incisión y la evolución del relieve en los conglomerados. De aquí, que estas formas se encuentren siempre ligadas a zonas de fuerte erosión como salida de ríos y barrancos importantes.

Los agentes erosivos actúan preferentemente en las zonas próximas al escarpe, transportando el material acumulado en su base y acelerando la incisión y los procesos de meteorización. Cuando la incisión progresa comienzan a individualizarse los mallos que constituían el antiguo frente del escarpe (estadio 5). En el nuevo frente se aceleran los procesos de erosión y evolución del modelado, mientras que los pináculos del antiguo escarpe se individualizan desarrollándose pasadizos entre los dos frentes (estadio 6 foto 4).

## BIBLIOGRAFIA

- BARRERE, P. (1951). La morphologie des Sierras oscenses. *Act. I Congr. Int. Est. Pirenaicos*. t. 5, secc. 4, p. 51-79, 9 figs., 20 pl., 2 mapas. San Sebastián. Publ. Inst. Estud. Pirenaicos, Zaragoza.
- BENITO FERRANDEZ, G. (1985). *Geomorfología del Somontano de Ayerbe (provs. de Huesca y Zaragoza)*. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias, Zaragoza. 188 pp.
- GERRARD, A.J.W. (1974). The geomorphological importance of jointing in Darrmoor granite. In: *Progress in geomorphology*. Brown, E.H. y Waters, R.S. Inst. of British Geographers Special Publication, n.º 7 pp. 39-52.
- PEÑA, J.L. (1983). *La Conca de Tremp y Sierras prepirenaicas leridanas comprendidas entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana: Estudio geomorfológico*. Instituto de Estudios Ilerdenses. C.S.I.C. Lérida. 373 pp.
- RODRIGUEZ VIDAL, J. (1983) *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias, Zaragoza. 433 pp.
- SALA, M. y ANDERSON, E. (1984). Plan de investigación y muestreo para el estudio de tasas de denudación en la montaña de Montserrat. *Cuadernos de investigación geográfica*. Tomo XI, fascículos 1-2 pp. 171-180, Logroño.
- SOLE SABARIS, L. (1956). *Geografía de Catalunya*. Vol. I: Geografía Física Aedos, Barcelona.
- SOLE SABARIS, L. y LLOPIS, N. (1952). *Geografía física*. Aedos, Barcelona.
- TWIDALE, C.R. (1976). *Analysis of landforms*. J. Wiley & Sons, Australasian pt. y Ltd. 572 pp.
- TWIDALE, C.R. (1982). *Granite landforms*. Elsevier Scientific Publishing Company. 372 pp.

GERARDO BENITO FERRANDEZ



Foto 1. Vista aérea oblicua de los mallos de Agüero.



Foto 2. Conglomerados miocenos en Alaniés. En su frente se observa el desarrollo de facetas triangulares con secciones variables.

## MODELADO TIPO MALLO

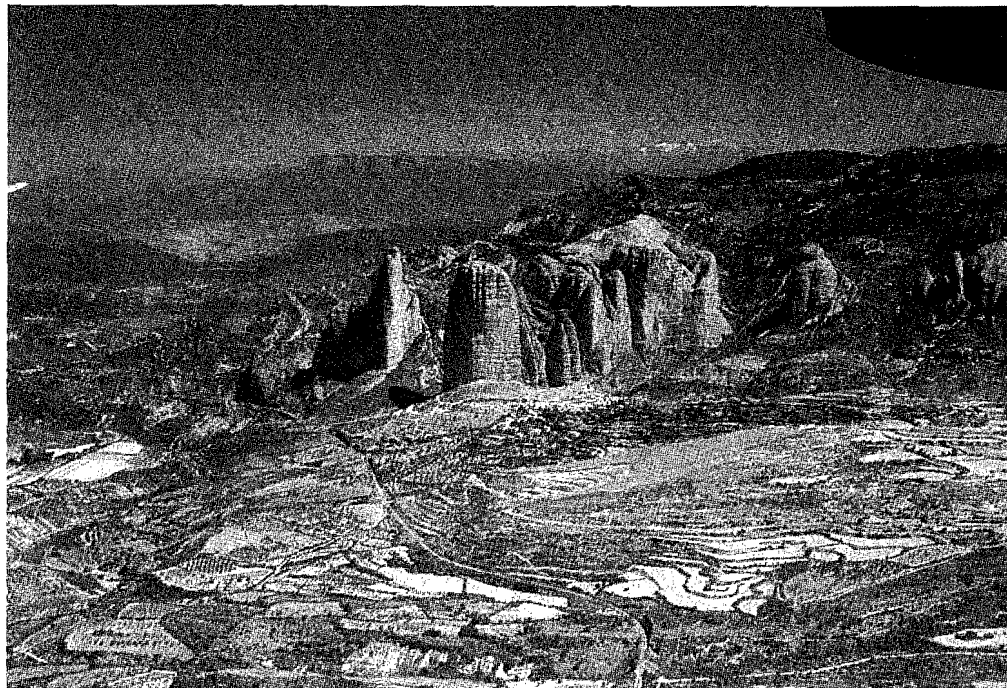


Foto 3. Vista aérea oblicua de los mallos de Riglos.



Foto 4. Mallos de Agüero. Se observa una individualización de los monolitos en el frente más evolucionado.

