

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

LA EFICACIA EROSIVA DE LA ACCIÓN NIVAL Y SU RELACIÓN CON LA HERENCIA GEOMORFOLÓGICA: MACIZO DE PEÑALARA, SISTEMA CENTRAL

Palacios, D.¹ y García Sánchez-Colomer, M.²

¹ Departamento de A.G.R. y Geografía Física, Universidad Complutense, 28040 Madrid

² Departamento de Calidad del Agua, CEDEX, MOPTMA, Virgen del Puerto 5, 28005 Madrid.

RESUMEN

Este trabajo estudia la importancia de la nieve en los procesos de erosión actuales en la cara sudeste del Macizo de Peñalara, Sistema Central. (40° 50' N; 3° 58' W) entre los 1.800 y los 2.400 m. Los resultados de la observación, realizada durante los inviernos de 1990/95, demuestran que existe una relación básica, ya sea directa o indirecta, entre la actividad erosiva generada en los neveros de larga duración y la herencia geomorfológica.

Palabras clave: Nivación, procesos de erosión en alta montaña, Sistema Central

ABSTRACT

This article examines how snow plays a role in current erosive processes in a high mountain area (1800-2400 m a.s.l.) known as Peñalara, located in Spain's Central Range (40° 50' N; 3° 58' W). Snow depth and the movement of selected blocks at each site were recorded from October 1990 to June 1995. The relationship among late-lying snowpatches, geomorphologic heritage and current erosive processes was determined.

Key words: Nivation, High mountain erosion processes, Sistema Central

INTRODUCCIÓN

La importancia de la nieve como agente de erosión está puesta en duda. En efecto, a excepción de las avalanchas, la acción directa de la nieve es mínima, ya que prácticamente carece de movilidad y, por tanto, de poder abrasivo. Incluso, la prolongada permanencia de la nieve sobre una superficie se ha considerado como un factor de prevención de los procesos erosivos. La nieve es, en efecto, un aislante térmico que impide que lleguen al suelo los fuertes cambios de temperatura diarios o estacionales. Por otro lado, la nieve mantiene constantemente a baja temperatura al suelo y lo previene del contacto

con el agua líquida, por lo que en principio, la meteorización química queda claramente amortiguada.

Sin embargo, en las áreas de alta montaña, el principal agente erosivo de la naturaleza, el agua, llega en forma de nieve. La nieve se comporta como un sedimento eólico y se acumula por desigual en relación con la variedad de protuberancias y obstáculos que se sucedan en un determinado ámbito. Esto hace que la distribución de la nieve sea sumamente irregular en las áreas de alta montaña, donde las irregularidades del terreno son máximas. Esta íntima relación entre formas previas del relieve y el mosaico de áreas con distinta permanencia y espesor de la nieve va a marcar un claro condicionante entre la herencia geomorfológica y las áreas de acumulación de nieve (ver síntesis sobre el papel erosivo de la nieve en THORN 1988).

El área elegida para comprobar experimentalmente esta relación es el circo glaciar de la cara sudeste del Pico Peñalara (2.428 m s.n.m.), llamado Pepe Hernando. Su origen glaciar se ha estudiado a lo largo del siglo (ver síntesis bibliográfica en SANZ HERRÁIZ 1988). Finalmente, SANZ HERRÁIZ (1988) realizó un estudio exhaustivo de su geomorfología glaciar, situando su origen a finales del Pleistoceno, con tres pulsaciones principales que han dejado sus respectivos arcos morrénicos.

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Para determinar la influencia de la geomorfología heredada en los procesos nivales actuales, se delimitaron todas las formas de relieve (fig.1), clasificadas según una cronología relativa, basada en la profundidad de las formas de alteración química (metodología aplicada de BENEDICT 1988) y en la liquenometría (metodología aplicada de Innes 1985) (fig.2). El circo glaciar se asienta sobre la ladera de un gran bloque tectónico compuesto fundamentalmente por gneis. Los hielos evacuaron los materiales de alteración, resaltando la estructura tectónica, hasta formar una alternancia de umbrales, limitados por paredes casi verticales, y depresiones de sobre-excavación.

Las morrenas, que componen el arco principal, nacen a los 2.200 m, al pie de la pared de cabecera del circo, y descienden casi paralelas, hasta juntarse a los 1.850 m. En el frente forman una profunda depresión finiglaciaria. Las dos morrenas tienen una morfología diferente. La morrena derecha tiene menor espesor (13 m máximo) y anchura (75 m máximo), mientras que la izquierda es mucho más potente (87 m máximo) y ancha (220 m máximo).

Esta disimetría entre las dos morrenas tiene una explicación lógica, dentro de la evolución del glaciar pleistoceno. La cabecera del circo tiene una orientación NW-SE, como el resto de los circos glaciares del sector. El glaciar, por tanto, se empezó a formar con esta dirección, por lo que la morrena izquierda sería en parte su morrena frontal. Cuando el glaciar creció en longitud y sobrepasó el primer gran escalón tectónico, su lengua giró hacia el sur, siguiendo la línea de máxima pendiente. En ese momento arrastró gran parte de la antigua morrena frontal y, a su vez, formó la morrena lateral derecha. Este proceso está claramente insinuado en circos glaciares próximos, más incipientes, que quedaron estancados en las primeras fases de esta evolución. La morfología de estas morrenas van a tener una gran importancia en los procesos nivales actuales, ya que constituyen dos cordones de más o menos

importancia (con dirección casi N-S), transversales a la dirección de los vientos más constantes del W.

El área glaciaria descrita está rodeada por formas de origen claramente preglaciario. El criterio más evidente para respaldar esta afirmación es la conservación en todo el sector de un manto de alteración de 20 a 150 cm de profundidad. La superficie de cumbres es de carácter muy llano. En la mayoría de la superficie aflora directamente el manto de alteración. Únicamente en algunos sectores afloran torsos o se desarrolla un "campo de bloques" de unos 2 metros de espesor. Los bloques están fuertemente afectados por la alteración química. Bajo el campo de bloques se continúa el manto de alteración (1 a 1,5 m de espesor). Las morrenas se montan sobre una ladera de composición muy compleja. La mayor parte de esta ladera preglaciaria está cubierta por bloques de gravedad, de varias generaciones. El manto de alteración es aquí profundo y ha sido removido por procesos de soliflucción, también durante varias fases.

Estas formas preglaciares están siendo retocadas ligeramente por procesos holocenos. Sobre el manto de alteración, que aflora en la superficie de cumbres, se forman pequeñas terracillas periglaciares e incipientes suelos. Únicamente se han excavado algunos nichos nivales de escasa profundidad (1,5 a 2 m), ya sea sobre el manto de alteración o sobre el antiguo campo de bloques. Con respecto a las laderas preglaciares, los procesos actuales o subactuales predominantes son la incisión torrencial y la soliflucción.

Los procesos recientes y actuales son más intensos sobre las formas glaciares. La gelifración ha sido intensa, y parece todavía activa, en las canales que surcan la pared del circo y de los distintos escalones. Los depósitos se acumulan en la base de las canales, formando conos. Se han distinguido tres tipos. La mayoría de ellos son activos y están compuestos únicamente por bloques de gran tamaño, sin finos. Los situados a altitud más baja (menos de 2.000 m) están recubiertos de una capa de finos y son claramente inactivos. Excepcionalmente, hay varios inactivos conos a gran altitud, bajo el Pico Peñalara, que se componen de bloques y finos entremezclados. La gelifración también es activa sobre los torsos que afloran en las cumbres o en la parte de mayor altitud de las laderas preglaciares, ya que aprovechan la fisuración desarrollada por la alteración química.

Las morrenas están deformadas en su vertiente oriental por nichos de nivación. Estos se manifiestan por la existencia de pequeñas depresiones, en cuya base se acumulan incipientes morrenas de nevado. Con frecuencia, solo se observa la depresión rodeada en su sector inferior por bloques dispersos. Algo similar ocurre sobre algunos escalones rocosos. En este caso, los bloques de gravedad se han dispersado al deslizarse sobre la nieve y han generado acumulaciones, que cercan pequeñas depresiones al amparo de la pared de estos escalones.

La soliflucción es frecuente en la ladera interior de las morrenas, en especial, cuando están en contacto con los umbrales rocosos, que sirven de diques de retención del agua. La acción torrencial es intensa, cortando los umbrales rocosos y la morrena frontal. Las laderas orientales de estos pequeños valles ya han sido remodeladas por la acción nival, y están llegando a formarse pequeños nichos.

Sobre todas las formaciones sedimentarias desprovistas de líquenes, se situaron numerosas estaciones de seguimiento del movimiento de "bloques-

muestra", según una adaptación a la metodología propuesta por RAPP y NYBERG (1988). En los veranos de 1990/95 se realizaron las mediciones de los movimientos y se analizaron sus causas por el contexto geomorfológico.

CARACTERÍSTICAS DE LA COBERTURA DE NIEVE

Para analizar la importancia de la cobertura nival, el área se dividió en una retícula de 50x50 m. En cada punto de la retícula se situó una estaca o señales de medición de la profundidad de la nieve (ver metodología en WATANABE 1988). Durante los inviernos y primaveras de 90/95 se han realizado observaciones de campo semanales. Con la información recogida, se ha realizado un mapa de duración anual de la cubierta nival para el citado periodo (fig. 3).

Se pueden diferenciar tres tipos de acumulación de nieve según los distintos pisos altitudinales (fig. 4). El nivel superior (2.400-2.200 m s.n.m.) se divide en dos sectores. En primer lugar está la superficie de cumbres, donde la nieve no se acumula, excepto en poco profundas pero extensas depresiones, sin llegar a alcanzar normalmente 1 m de espesor. Por contraste, en el borde oriental de esta superficie, cuando está orientado al NE, se forman grandes cornisas que acaban adquiriendo su mayor tamaño a principios de la primavera. Otro lugar importante de acumulación de nieve es al pie de la paredes orientales del circo, donde algunos meses se superan los 4 m de espesor. El resto de las laderas de este sector también recibe gran cantidad de nieve, excepto en las directamente orientadas al sudoeste, donde la nieve no se acumula casi nunca.

En el nivel intermedio (2.200-2.000 m) la nieve se acumula principalmente en dos tipos de localizaciones específicas. En primer lugar destaca el pie de los escalones glaciares, con medias de profundidades máximas en abril con 2,11 m. La nieve aguanta en determinados puntos mas de seis meses. Como siempre, las mayores acumulaciones se dan en las orientaciones al noreste. Este efecto de la orientación es más destacado si cabe en la segunda localización de las áreas de máxima acumulación. Se trata de las vertientes nororientales de ambas morrenas laterales. La nieve se acumula formando una cordón, paralelo a la cresta de la morrena. Los máximos espesores se alcanzan también en abril como media, con 1,9 m de profundidad. La permanencia supera siempre los seis meses. Por el contrario, en la vertiente suroccidental de estas morrenas laterales, no solo la nieve se deshiela rápidamente, sino que de hecho, tal y como se ha observado repetidas veces, la nieve nunca llega a acumularse en la mayoría de las nevadas.

El nivel inferior (2.000-1.800 m) está caracterizado por una mayor acumulación de nieve únicamente en las vertientes nororientales de las morrenas laterales. Estos cordones ahora están mejor desarrollados y por tanto su efecto barrera frente al viento es mayor. Las vertientes opuestas siguen sin recibir casi nada de nieve. Este modelo se rompe cuando las dos morrenas laterales se acercan mucho y discurren paralelas antes de pasar a formar la morrena frontal. En este sector inferior, la morrena meridional protege del viento a la ladera suroccidental de la morrena situada al norte. Precisamente en esta ladera se rompe la tendencia anteriormente citada, y la nieve se acumula con bastante intensidad.

Es evidente que la causa de esta distribución de la nieve se debe a la regularidad de los vientos del SW durante las tormentas de nieve. Las nevadas más abundantes (60%) se corresponden con situaciones del SW relacionadas con el paso del frente polar cálido. Aunque no tenemos datos exactos, la cantidad de nieve que aportan estas situaciones por tormenta es considerablemente mayor a las otras situaciones. Un segundo tipo de situación atmosférica que ha traído nevadas son las situaciones del NW que acompaña el paso del frente polar frío (27%). El último de tipo son las situaciones del Norte (13%) que provoca el desarrollo de un pequeño frente sobre la península Ibérica con disposición zonal. La cantidad de nieve que esta situación aporta en cada nevada es mínima, pero la distribuye en sentido opuesto al resto de las situaciones.

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Para observar la interrelación entre los procesos erosivos actuales y la nieve se ha realizado un mapa donde se superponen ambos conceptos (fig. 5). En él se ha identificado lo que se puede clasificar como neveros de larga duración (permanencia durante todas las primaveras). Estas áreas se superponen a los resultados obtenidos de la observación de los procesos erosivos en los bloques elegidos como ejemplo.

La incisión torrencial generó frecuentes movimientos de bloques en las laderas de los pequeños torrentes, en algunos casos relacionados con cierto avance de los acarcavamientos. Su desarrollo espacial no tiene relación con los neveros. Pero los torrentes secundarios nacen en ellos, principalmente en la vertiente oriental, y alimentan al torrente principal, que circula pegado al lateral izquierdo del Circo. Justamente este es el sector que antes queda libre de la nieve en la primavera y recoge todas las aguas de deshielo con más facilidad. Los procesos de gravedad son predominantes en las canales de la cabecera del circo. Estos procesos se localizan siempre por debajo de los neveros. En las cabeceras de estas canales es donde justamente se acumula mayor espesor de nieve y donde perdura durante más tiempo. Estos neveros protegen de los cambios de temperatura al substrato donde se localizan, pero suministran agua paulatinamente durante toda la primavera a sus canales inferiores, provocando la desestabilización de los bloques sueltos y facilitando los procesos de gelifración. La mayoría de los nichos que tuvieron alguna actividad durante el periodo de observación se sitúan sobre las morrenas laterales, entre los 2.000 y los 2.200 m de altitud, donde las laderas de estas son más escarpadas. Los procesos de soliflucción generaron el movimiento de numerosos bloques. Sólo algunos de estos procesos se localizan bajo los neveros. El resto no parecen tener relación alguna y están condicionados principalmente por los umbrales rocosos superiores donde se retiene el agua y por las condiciones favorables de los depósitos morrénicos.

CONCLUSIONES

Esta experimentación apoya la corriente científica que considera a la nivación como un proceso con escasa entidad propia. Su papel como agente erosivo consiste fundamentalmente en la "intensificación" (Thorn 1988), y diferente distribución, de otros procesos. Además, demuestra que su eficacia es

mayor donde la herencia geomorfológica predispone la existencia de una morfología y unos materiales especialmente sensibles a la nivación, como sucede por ejemplo en Peñalara sobre las morrenas laterales. La relativa importancia de los procesos nivales sobre formaciones preglaciares apoya la teoría de CHURCH y RYDER (1976), aplicada a la acción nival por THORN (1976) y también experimentada por RAPP (1984), donde numerosas formas en equilibrio durante una situación de glaciación, entran en desequilibrio en la deglaciación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENEDICT, J.B. 1985. *Arapaho Pass. Glacial geology and archaeology at the crest of the Colorado Front Range*. Centre for Mountain Archaeology. Research Report N° 3. Ward. 179 pp
- CHURCH, M. y RYDER, J.M. 1972. Paraglacial sedimentation: consideration of fluvial processes condicionated by glaciation. *Bulletin of the Geological Society of America*. 83: 3059-72
- INNES, J. L. 1985. Lichenometry. *Progress in Physical Geography* 9(2): 187-254
- RAPP, A. 1984. Nivation hollows and glacial cirques in Söderansen, Scania, South Sweden. *Geografiska Annaler*. 66A: 11-28
- RAPP, A., y NYBERG, R. 1988. Mass movements, nivation processes and climatic fluctuations in northern Scandinavian mountains. *Norsk Geografisk Tidsskrift*. 42: 245-253
- SANZ HERRAIZ, C. 1988. *El relieve del Guadarrama Oriental*, Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid. Madrid. 547 pp
- THORN, C. 1976. Quantitative evaluation of nivation in Colorado Front Range. *Bulletin Geological Society of America*, 87: 1169-78
- THORN, C. 1988. Nivation: a Gemorphic Chimera. En Clark, M.J. (Edi.) *Advances in Periglacial Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd. 3-31 pp.
- WATANABE, T. 1988. Studies of snow accumulation and ablation on perennial snow patches in mountains of Japan. *Progress in Physical Geography* 12(4): 533-559

Pies de Figura

Figura 1.- Mapa geomorfológico de la cara sureste de Pico Peñalara

A) Formas Preglaciares: 1.- Superficie del manto de alteración; 2.- Depósitos de ladera; 3.- Campos de bloques; 4.- Berrocales. B) Formas glaciares: 5.- Pared de circo; 6.- Superficies pulimentadas; 7.- Canales sobre la pared; 8.- Canales sobre superficies horizontales; 9.- Depresiones de sobre-excavación; Morrena Principal (estadio intermedio): 10.- cresta del cordón morrénico; 11.- Laderas morrénicas bien conservadas; 12.- Laderas morrénicas muy deformadas; 13.- Morrena correspondiente al máximo avance glaciar; 14.- Morrena correspondiente al último avance glaciar. C.- Formas postglaciares: - Formas Nivales: 15.- Área de formación de cornisas de nieve; 16.- Nichos nivales sobre umbrales glaciares; 17.- Nichos nivales sobre morrenas; 18.- Nichos nivales inactivos; 19.- Fondo del nicho nival; 20.- Morrena de nevé; 21.- Morrena de nevé incipientes; 22.- Bloques dispersos por acción de la nieve. -Formas de ladera: 23.- Canales de avalancha; 24.- Conos de gravedad activos; 25.- Pedreras activas; 26.- Campos de bloques activo; 27.- Conos de gravedad inactivo a gran altitud; 28.- Conos de gravedad inactivos a baja altitud; 29.- Lóbulos de solifluxión inactivos; 30.- Lóbulos de solifluxión activos; 31.- Bloques dispersos desprendidos de la morrena; 32.- Bloques morrénicos sin finos por lavado posterior. -Formas lacustres: 33.- Turberas. -Formas torrenciales: 34.- Acarcavamientos; 35.- Torrentes con una incisión menor a 2 m; 36.- Torrentes con una incisión menor a 2 m; 37.- Abanicos aluviales

Figura 2.- Diferenciación de áreas con distinta cronología relativa según la intensidad de la alteración y la liquenometría: 1.-Áreas Preglaciares: áreas con los thalus (*Rizocarpon Geographicum*) con un diametro mayor a 110 mm y pilancones con una profundidad mayor a 150 mm. 2.-Áreas glaciares: áreas con los thalus con un diametro mayor a 110 mm y pilancones con una profundidad menor a 50 mm. 3.-Áreas postglaciares: áreas con los thalus con un diametro menor a 52 mm y sin pilancones

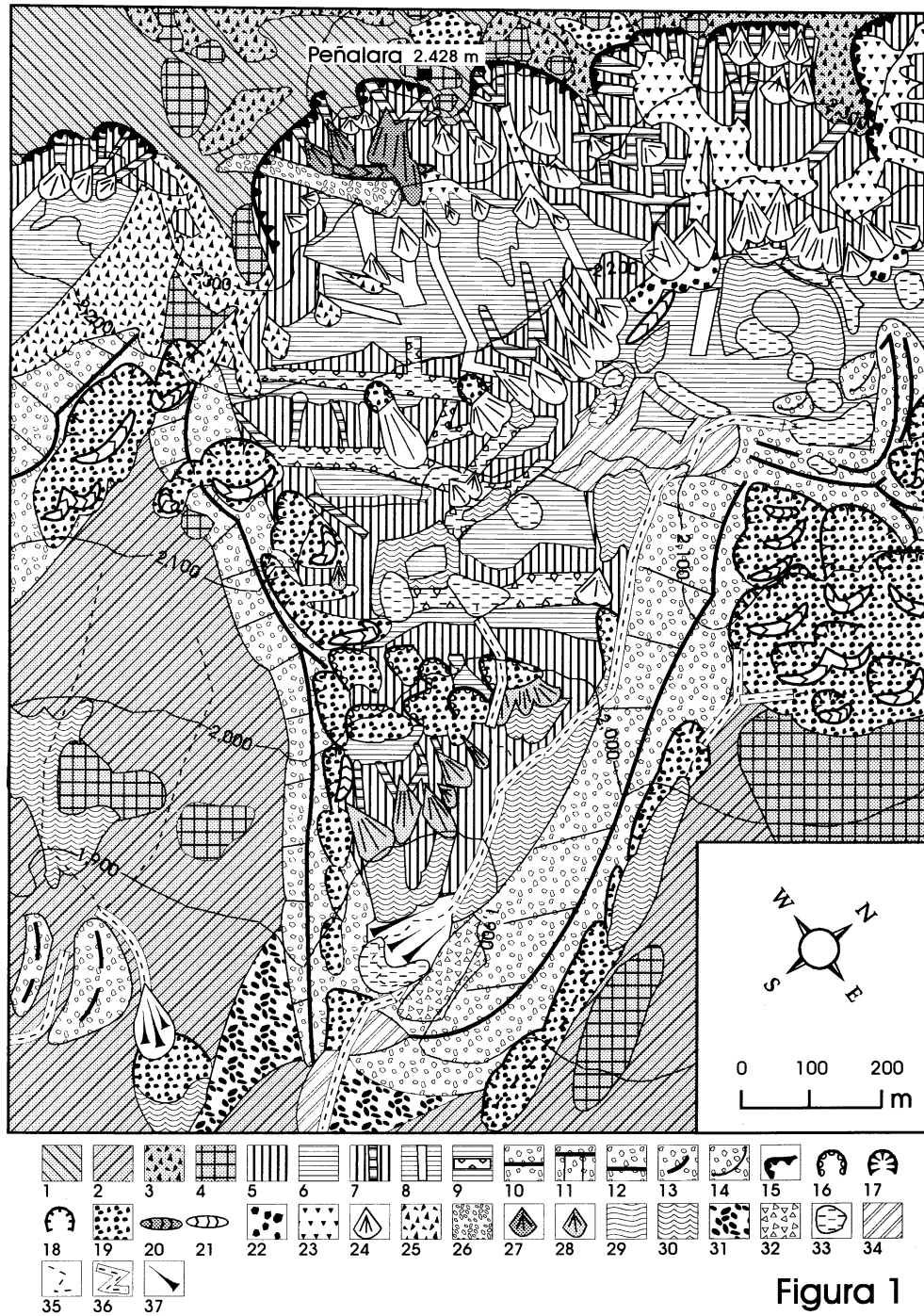
Figura 3.- Mapa de permanencia de la nieve (periodo de observación 1990/95)

1.- 240/220 días al año; 2.- 220/200; 3.- 200/180; 4.- 180/160; 5.- 160/140; 6.- 140/120; 7.- 120/100; 8.- 100/80; 9.- 80/60; 10.- 60/40; 11.- 40/20

Figura 4.- Tipología de áreas con gran acumulación nival, según los diferentes pisos altitudinales

Figura 5.- Mapa de los procesos observados durante el periodo 1990/95 y su relación con los neveros de larga duración (permanencia de la nieve durante toda la primavera)

Mapa Geomorfológico de la cara Sureste de Peñalara



Datación de áreas de acuerdo con criterios de meteorización de la roca y liquenometría. Cara Sureste de Peñalara.

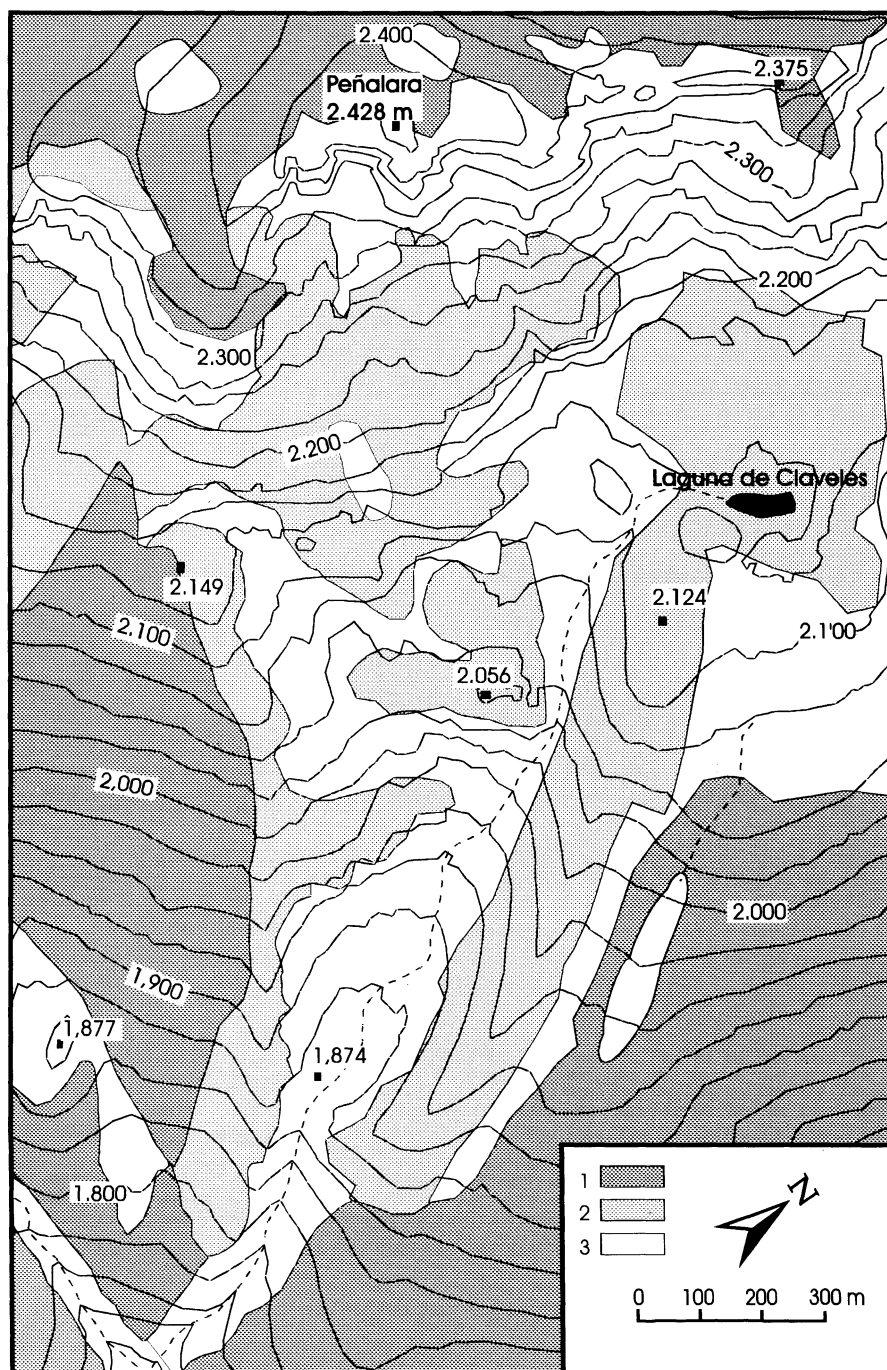
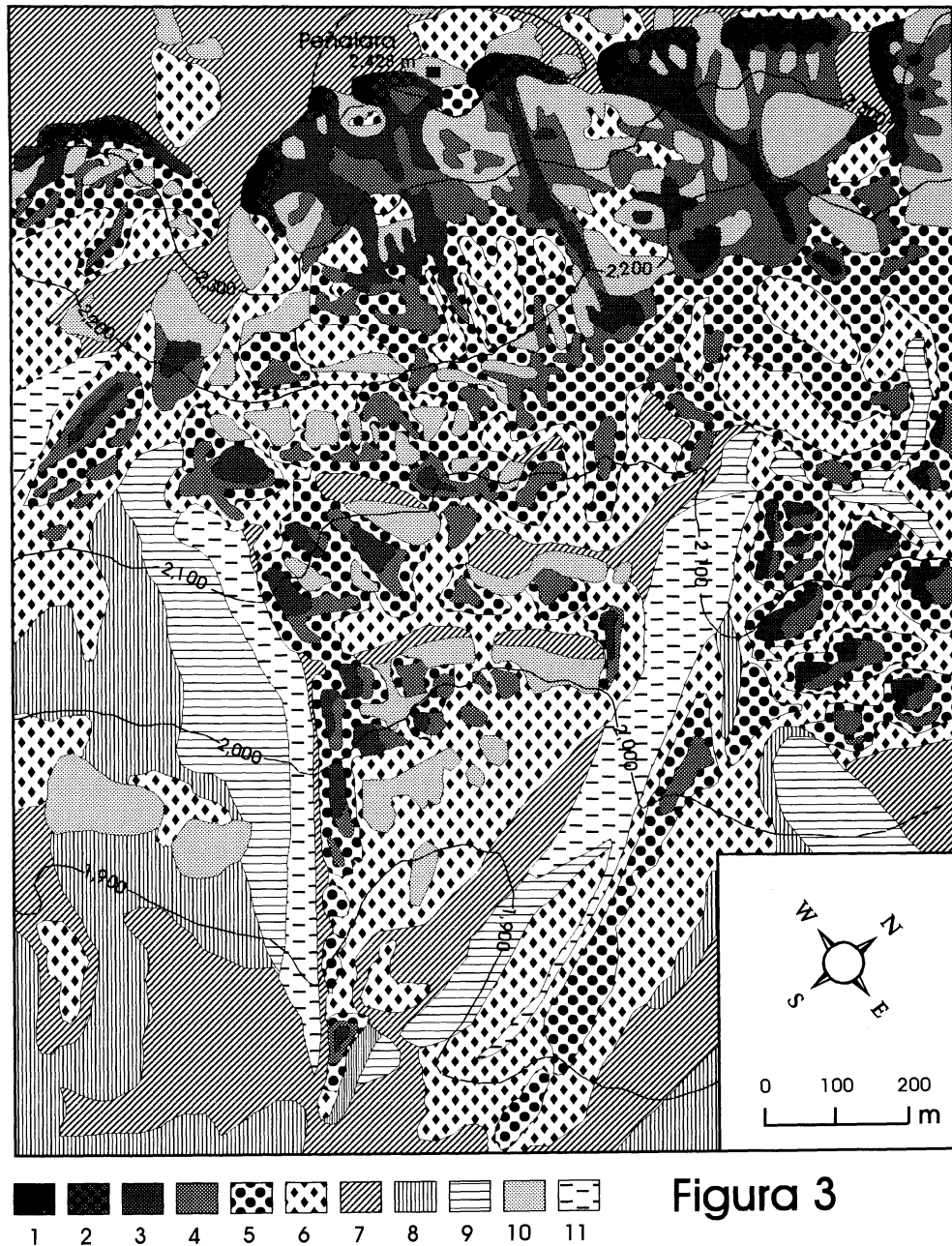


Figura 2

Mapa de duración de la cobertura de la nieve.
 Cara Sureste de Peñalara (1990/95).



Tipología de áreas de gran acumulación nival: Peñalara (Cara Sureste).

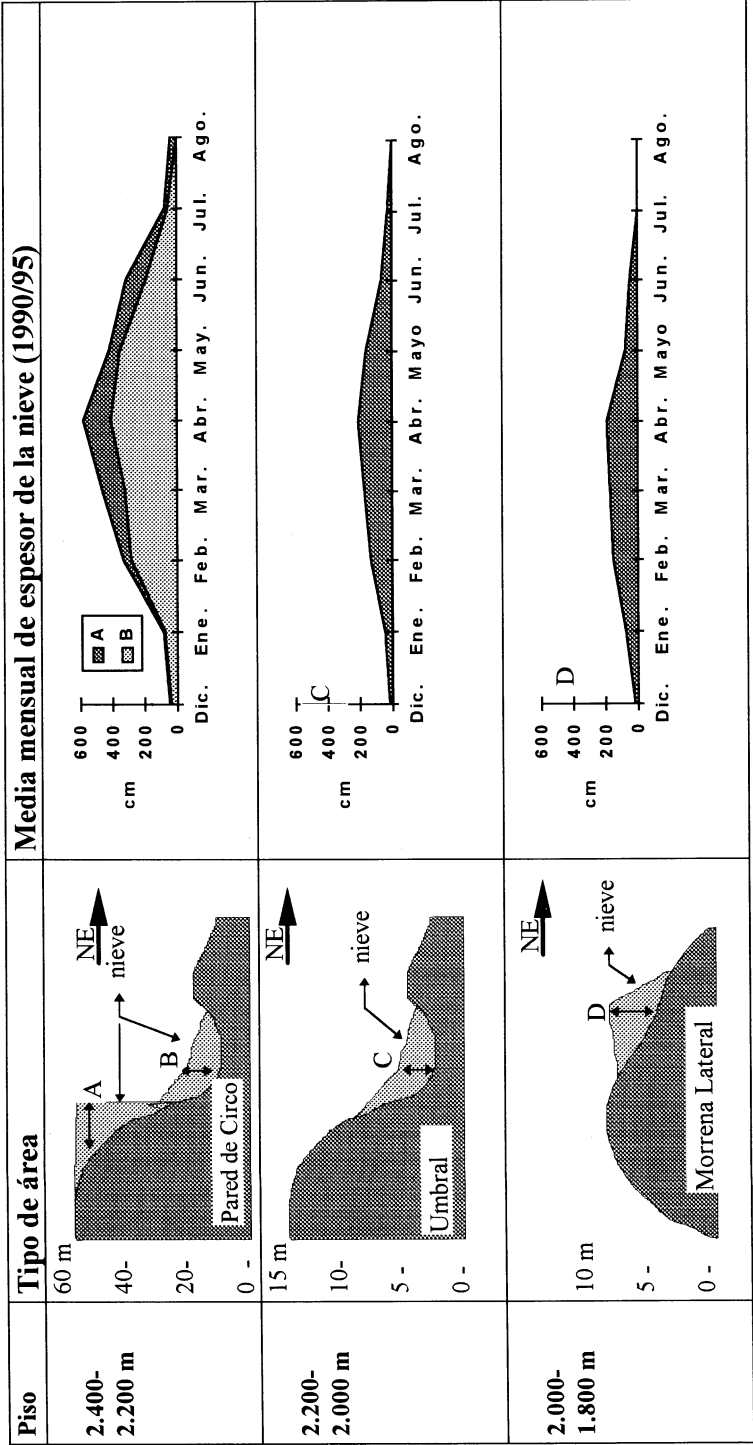


FIGURA 4

Actividad erosiva durante el periodo 1990/95
Cara Sureste de Peñalara

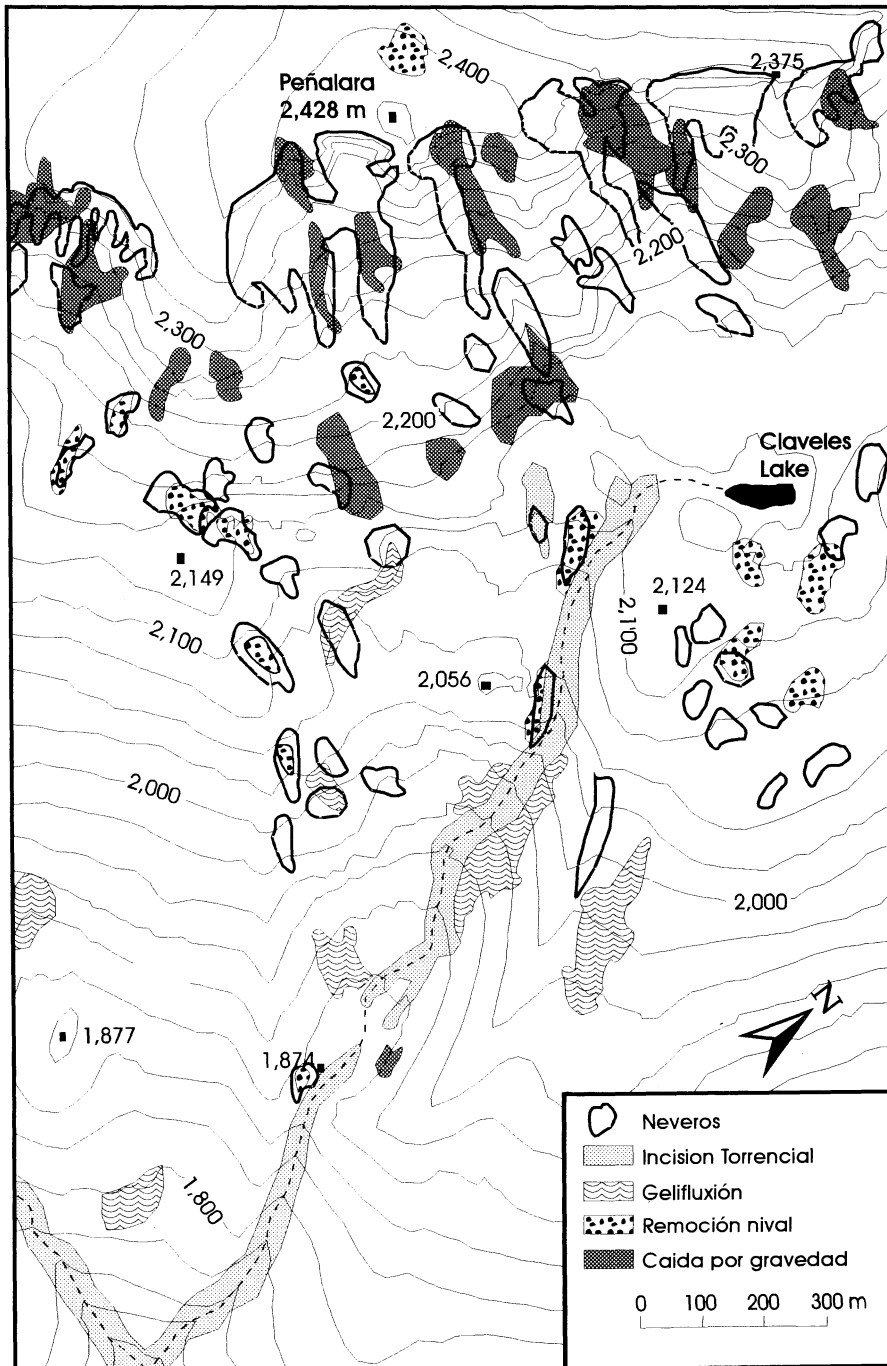


Figura 5