

ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS ÁREAS FAVORABLES AL DESENCADENAMIENTO DE ALUDES EN EL CIRCO DE PIEDRAFITA (HUESCA)

María PALOMO SEGOVIA*

RESUMEN.— El desencadenamiento de aludes en zonas de montaña supone un peligro considerable, especialmente cuando se trata de áreas en las que se desarrollan actividades antrópicas. Conocer los factores y mecanismos que intervienen en su génesis es fundamental de cara a una eficiente planificación y gestión del territorio.

En este trabajo se presenta una cartografía de áreas susceptibles al desencadenamiento de aludes de la cabecera del río Aguas Limpias (situado en el alto valle de Tena, Pirineo español). Para elaborar esta cartografía se realizó un detallado análisis de los parámetros relacionados con el terreno integrándose en un Sistema de Información Geográfica. La aplicación de un análisis multicriterio nos ha permitido delimitar las zonas más favorables a este fenómeno.

ABSTRACT.— Avalanches are a serious risk in mountain areas, especially in avalanche prone locations, where people or objects can be affected by them. Having knowledge of the mechanisms and factors playing a part in their unleashing is fundamental towards an efficient land planning and management.

This work presents an avalanche triggering prone areas cartography in the headwaters of Aguas Limpias River (Upper Tena Valley, Spanish Pyrenees).

* Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). C/ Leonardo Prieto Castro, 8. E-28040 MADRID.
mpalomo@inm.es

In order to prepare this map, an extensive analysis of the terrain-related parameters was made and integrated later in a Geographic Information System. We have delimited avalanche prone areas by using multicriteria analysis.

KEY WORDS. — Avalanches, risk, danger, mountain areas, Spanish Pyrenees.

INTRODUCCIÓN

Las zonas de montaña presentan, por sus características de relieve y topografía, una exposición especial a ciertos riesgos naturales. La ordenación y gestión del territorio, la construcción de nuevas infraestructuras y la planificación de actividades en áreas de montaña exigen del conocimiento de los factores que generan estos riesgos así como de la utilización de una cartografía en la que aparezcan las zonas expuestas a ellos.

Tradicionalmente, el uso más común de las zonas de montaña era el ganadero, sin embargo, desde hace varias décadas estas zonas han pasado a tener otros usos entre los que destacan el aprovechamiento hidroeléctrico a principios del siglo XX y, a partir de los años cincuenta, un uso mayoritariamente turístico. Este cambio de uso de suelo ha originado la construcción de distintos tipos de infraestructuras en estos espacios como estaciones de esquí, refugios de montaña, hoteles, urbanizaciones y carreteras.

Entre los peligros característicos de las zonas de montaña se puede destacar el desencadenamiento de aludes, que ha pasado de ser un fenómeno inevitable o una catástrofe natural, a constituir un riesgo natural que puede llegar a ocasionar numerosas pérdidas humanas y un fuerte impacto económico.

Nuestro país no presenta, en general, un riesgo elevado de desencadenamiento de aludes. La mayor parte de ellos se producen en la cordillera pirenaica, donde el número de víctimas por este fenómeno se ha ido incrementando en las últimas décadas.

Todos estos hechos dan lugar a que el estudio y análisis de la dinámica de aludes, tanto en su vertiente espacial como temporal, haya ido cobrando cada vez mayor interés. En los últimos años, se han elaborado distintos estudios sobre la incidencia de este proceso en áreas concretas y sobre los aspectos teóricos de su dinámica.

En este trabajo nos ocuparemos de delimitar, en un área concreta del Pirineo oscense, las zonas que son favorables al desencadenamiento de aludes. La zona elegida es el circo de Piedrafita, situado en el Pirineo central aragonés.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El circo de Piedrafita se localiza en el Pirineo Axil, en el Pirineo central aragonés, al norte de la provincia de Huesca (Fig. 1).

La zona se caracteriza por la existencia de enérgicos relieves, en los que destacan picos como el Arriel (2824 m), Frondiellas (3071 m), Balaitús (3146 m), Palas (2970 m), Cambalés (2965 m), Gran Facha (3005 m), Punta Zarra (2947 m), Piedrafita (2969 m), Pondiellos (2893 m), Tebarray (2916 m) y Musales (2654 m).

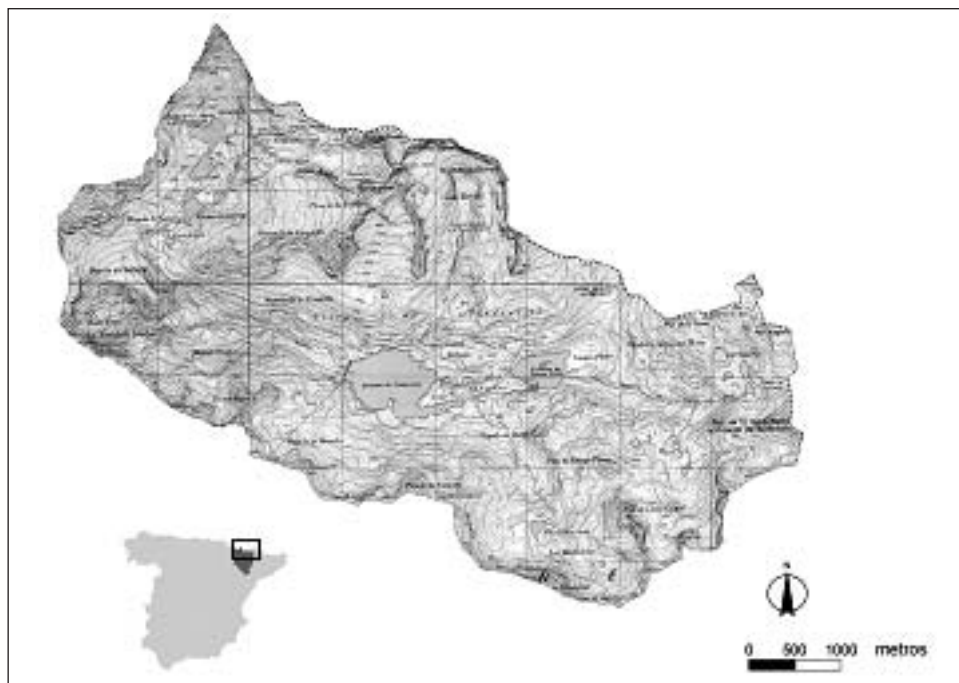


Fig. 1. Localización espacial del circo de Piedrafita.

La mayor parte de la zona de estudio está constituida por el batolito granítico de Panticosa-Cauterets, aunque también existen pequeñas áreas de areniscas y calizas en la cima del Balaitús y, en el extremo sur, aparecen otros materiales paleozoicos metamórficos correspondientes a la orla metamórfica creada en contacto con el batolito (CHUECA et alii, 2000).

La existencia de un sistema de fallas en el que predominan las direcciones norte-sur y este-oeste ha condicionado la instalación de la red fluvial y la aparición de escarpes y de algunos circos glaciares. De esta forma, las distintas fases orogénicas y los procesos asociados a los modelados glacial, periglacial y fluvial han dado como resultado el relieve existente en la actualidad con la pervivencia de ejemplos de morfologías glaciares (valles glaciares, crestas afiladas, hörns, rocas aborregadas, bloques erráticos, estrías y alvéolos en los granitos, etcétera) y periglaciares (canchales o canales mixtos nivofluviales).

Los canales de aludes ocupan extensiones importantes en el circo de Piedrafita y su comportamiento tiene en muchos casos un carácter fluvio-



Fig. 2. Crestas de los picos de Frondiellas.

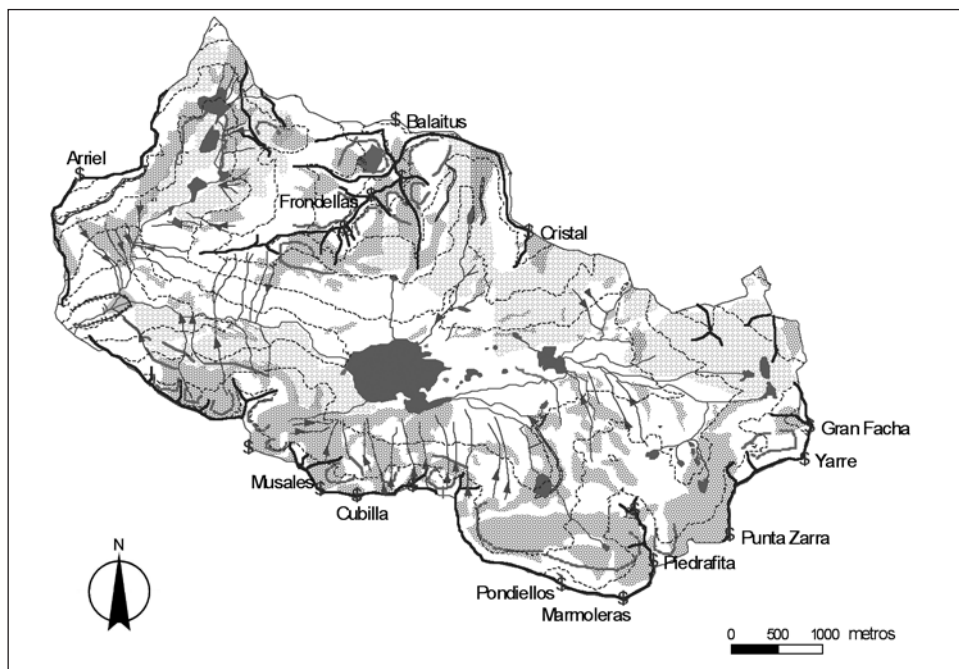


Fig. 3. Mapa geomorfológico del circo de Piedrafita.

nival. Al igual que la red fluvial, la presencia de estos canales está condicionada por la estructura (zonas de fallas o con estratificación favorable) y por la presencia de pendientes favorables (entre 28 y 45°). Las zonas donde estas morfologías aparecen más ampliamente representadas son el Paso del Onso, el Llano Cheto y toda la mitad sur de la zona de estudio.

En la actualidad, las manifestaciones glaciares se encuentran confinadas en áreas de elevada altitud, importante alimentación nival y escasa insolaación. En la zona de estudio estas condiciones solo se presentan al pie de los macizos de Balaitús, en el circo de Frondiellas donde todavía persisten el helero de Frondiellas Norte, a 2700 m de altitud, y los heleros-neveros de la Brecha Latour y Balaitús (CHUECA et alii, 2004) (Figs. 2 y 3).

El clima de la zona de estudio puede calificarse como de montaña, húmedo con influencia atlántica aunque la configuración del relieve en el circo da lugar a que esta área constituya una zona de transición entre el clima oceánico y el mediterráneo de matiz continental.

Las temperaturas son las típicas de un clima de montaña con bajas temperaturas medias, mínimas bajas, máximas moderadas y amplitud térmica anual considerable. La altitud de la isoterma de 0 °C, factor que condiciona de forma importante los fenómenos de innivación y permanencia de la nieve, presenta una variación anual de entre 1611 m en el mes de febrero y 2998 m en el mes de octubre (RIVA, 2000).

Las precipitaciones y su distribución están condicionadas por la configuración del relieve. La presencia del macizo granítico y su orla metamórfica da lugar a relieves fuertes y abruptos que dificultan la penetración de las masas de aires húmedos del noroeste, dando lugar a una disminución de las precipitaciones con respecto a zonas menos protegidas.

El límite lluvia-nieve varía a lo largo del año; las máximas nevadas se presentan entre diciembre y marzo. El manto de nieve cubre el suelo de forma continua todas las temporadas entre los meses de diciembre y mayo. El

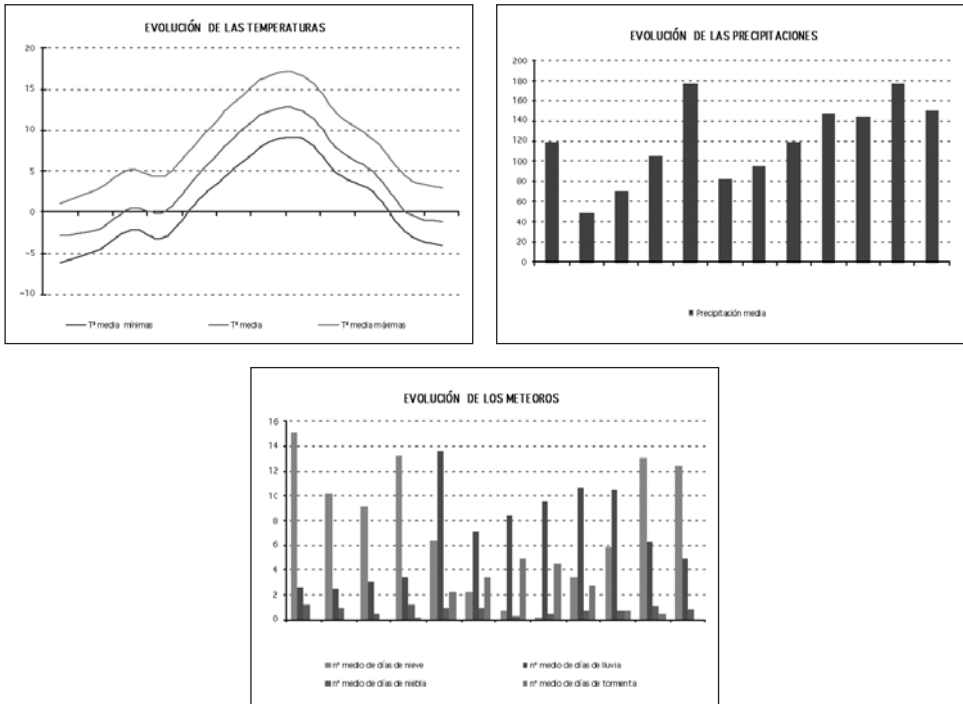


Fig. 4. Evolución a lo largo del año de distintas variables meteorológicas en el área de estudio. Datos de la estación nivometeorológica del refugio de Respomuso. Fuente: AEMet.

espesor de este manto de nieve presenta una gran variabilidad tanto inter como intraanual.

En general, el manto no es superior a los 2 m aunque la información procedente de los sondeos nivológicos realizados en la estación nivometeorológica de Resposuso (Figs. 4 y 5) permite asegurar que, puntualmente, este espesor puede alcanzar los 4 m. Si tenemos en cuenta el hecho de que la estación de observación se encuentra situada en el fondo del circo de Piedrafita, podemos suponer que el espesor de este manto será muy superior en las cotas más elevadas.

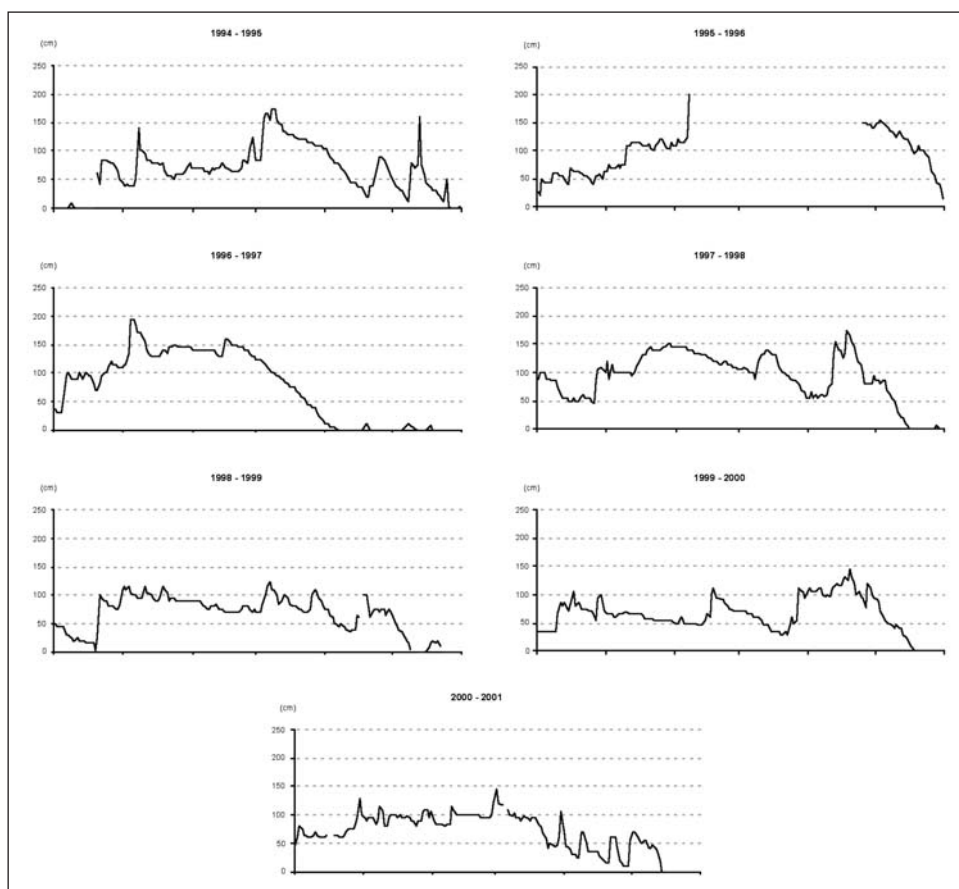


Fig. 5. Evolución del espesor del manto de nieve a lo largo de las campañas 1994-1995 a 2000-2001. Datos de la estación nivometeorológica del refugio de Resposuso.

Fuente: AEMet.

Las características climatológicas de la zona, con grandes oscilaciones de temperatura, ventiscas y alternancia de momentos secos con otros de precipitaciones importantes, no permiten definir en la evolución del manto periodos únicos de formación y consolidación.

El espesor del manto no solo es sensible a las precipitaciones, sino también a los vientos. Así, asociadas a periodos de días con vientos fuertes, el manto de nieve registra importantes modificaciones y oscilaciones en su espesor.

Entre los meses de abril y mayo, cuando las temperaturas comienzan a elevarse, la nieve entra en su periodo de fusión. En este momento el espesor del manto disminuye rápidamente para terminar desapareciendo.

La cubierta vegetal que aparece en la zona de estudio está condicionada por factores tan diversos como la altitud, las fuertes pendientes y la orientación de las laderas, el sustrato litológico o la acción humana. La combinación de todos estos factores da como resultado la existencia de una vegetación de gran variedad, apareciendo especies rupícolas en las zonas rocosas de mayor altitud, pastizales, cervunales y pinares de pino negro en las zonas de altitudes sucesivamente más bajas así como vegetación hidrófila ligada a los ibones, a los arroyos y a los medios higroturbosos con presencia de suelos ácidos en el fondo del circo (Fig. 6).

La acción humana también ha influido en la cubierta vegetal y sus características. La utilización de esta zona como pastos estivales de forma tradicional genera cambios tanto en el grado de cobertura vegetal como en su porte y su composición florística.

Los usos más significativos que han tenido lugar en la zona han estado relacionados con la ganadería. De forma tradicional, el ganado que el resto del año se mantenía en las zonas del valle con menor altitud se desplazaba, durante la temporada estival, hacia áreas más altas donde los pastos eran aptos para ser utilizados como alimento.

Posteriormente, desde principios del siglo xx, los embalses situados en la cabecera del Gállego fueron represados y modificados con el fin de obtener un aprovechamiento hidroeléctrico. El aumento de la demanda energética generado por la instalación de distintas industrias en poblaciones como Sabiñánigo, tuvo como consecuencia la conversión de los distintos lagos

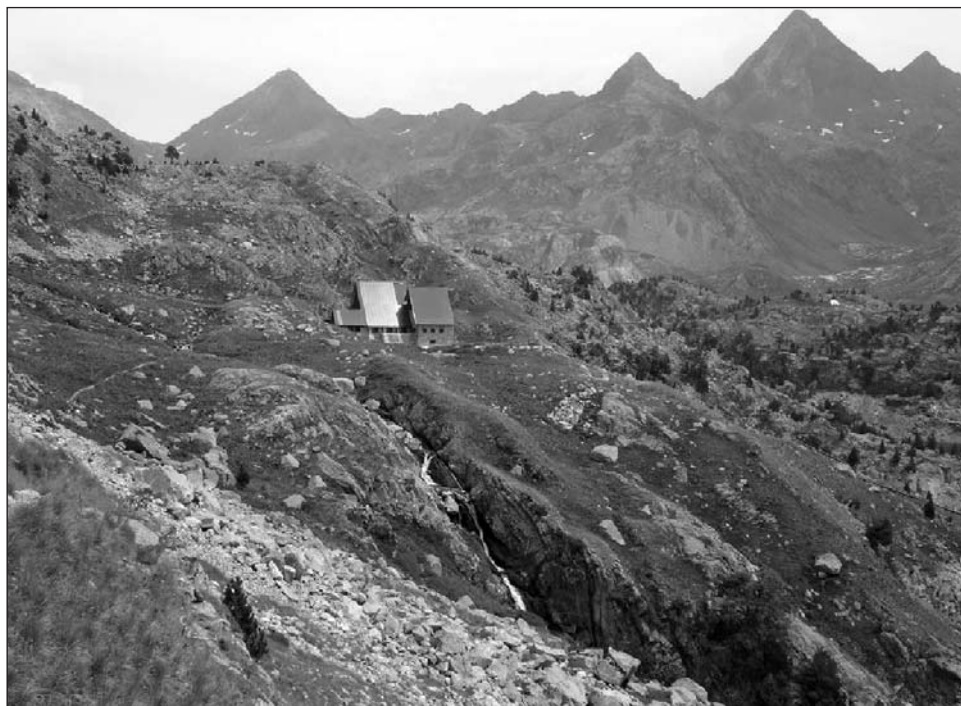


Fig. 6. Cubierta vegetal característica de una gran parte de la zona de estudio.

situados en el curso alto del río en presas destinadas a la producción de energía eléctrica. En el circo de Piedrafita, el embalse de Resposuso fue uno de los que sufrió esta transformación, construyéndose una presa en el extremo occidental del lago. La creación de estos embalses ha modificado el régimen del río y las características geomorfológicas del fondo del valle, por ejemplo, cubriendo algunos de los conos mixtos nivofluviales que existían.

Desde mediados del siglo XX el desarrollo de las actividades turísticas ha tenido una importancia primordial en el valle del Alto Gállego. El desarrollo de los deportes de invierno, en particular el esquí alpino, ha hecho que importantes áreas hayan sufrido una transformación significativa. Otras actividades deportivas como el montañismo, la escalada o el esquí de travesía también se han generalizado en la zona, que presenta unas condiciones muy favorables para su desarrollo. En el caso de la zona de estudio, la generalización de deportes como el senderismo, dio lugar a la construcción de un refugio de montaña en la zona central del circo. Este refugio se

encuentra integrado en la red de Refugios de Montaña de la Federación Aragonesa de Montaña desde 1993.

Todas estas actividades han dado lugar a que la presión humana haya aumentado en la zona de forma significativa, aunque esta ocupación es mucho menor que en otros valles vecinos en los que existe una estación de esquí.

El circo de Piedrafita es una de las zonas del Pirineo aragonés que más frecuentemente experimenta el desencadenamiento de aludes. Las características físicas de esta área, de elevadas altitudes y fuertes pendientes, hacen que sea una zona especialmente propicia al fenómeno. De hecho, existe constancia en los últimos años de la ocurrencia de distintos accidentes que han causado daños tanto personales como materiales de diversa consideración.

Datos

La delimitación de zonas favorables al desencadenamiento de aludes en un área determinada exige tener un conocimiento lo más pormenorizado posible de sus características fisiográficas. Para la elaboración de este trabajo la información de la que se ha partido es variada.

- La altimetría digital a escala 1: 25 000 suministrada por el Instituto Geográfico Nacional correspondiente a la Hoja 145 (Sallent de Gállego) se ha utilizado para la elaboración de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que ha servido como base para la realización de otros productos cartográficos.
- La fotointerpretación se ha hecho a partir de la fotografía aérea del vuelo del Instituto Geográfico Nacional a escala 1: 25 000 de 1981.
- La información directa facilitada por los guardas del refugio ha servido como ayuda a la hora de delimitar zonas de sobreacumulación, canales habituales de aludes y direcciones dominantes de las ventiscas.
- El tratamiento de toda esta información y la elaboración de la cartografía se ha hecho con el Sistema de Información Geográfica ArcView 3.2. En la elaboración de esta cartografía nos hemos basado en la establecida por el CEMAGREF, aunque teniendo en cuenta que no tenemos como objetivo delimitar toda el área cubierta por los aludes, sino solamente aquellas zonas donde estos pueden desencadenarse.

La mayor parte de los autores consideran las siguientes variables en relación con la delimitación de zonas probables de aludes:

- *Altitud*. Nos permite separar, a partir de una cota, zonas donde se producen los aludes de aquellas otras donde no tienen lugar debido a la ausencia de un manto de nieve más o menos continuo. Esta altitud crítica viene dada por la altitud media de la isoterma de 0 °C.
- *Pendiente*. Los aludes se originan en zonas con pendientes que oscilan entre los 28° y los 45°. Por debajo de 28° el manto de nieve permanece estático a no ser que se produzcan situaciones atmosféricas inusuales que den lugar a nevadas extraordinarias. Por encima de los 45° la nieve caída no se ancla al suelo o al manto subyacente, sino que se deposita en niveles inferiores.
- *Morfología del terreno*. Es otro factor que puede favorecer o inhibir el deslizamiento de la capa de nieve. En las zonas cóncavas se producen en el manto fuerzas de compresión que tienden a estabilizarlo. En las zonas convexas aumentan las fuerzas de tracción, hecho que puede dar lugar al desencadenamiento de aludes.
- *Rugosidad del terreno*. Un sustrato rugoso favorece el anclaje de la nieve y reduce la probabilidad de desencadenamiento de aludes. En este factor influyen tanto la litología como la geomorfología o la vegetación.
- *Vegetación*. Es uno de los criterios directos más importantes para la delimitación de zonas probables de aludes, porque las trazas del paso de aludes permanecen en la vegetación, dando lugar a zonas con ausencia total de esta cuando el fenómeno es frecuente y, además, porque el porte y la densidad de la vegetación son factores muy importantes en relación con el desencadenamiento de aludes, siendo los bosques cerrados el tipo de vegetación menos proclives a registrar aludes aunque pueden verse afectados por avalanchas desencadenadas en cotas superiores, fuera del bosque.
- *Orientación*. Tiene importancia no tanto en el desencadenamiento de aludes como en el tipo de los que se pueden producir.

Para analizar todas estas variables en la zona de estudio se han seguido varias fases que quedan resumidas en la figura 7.

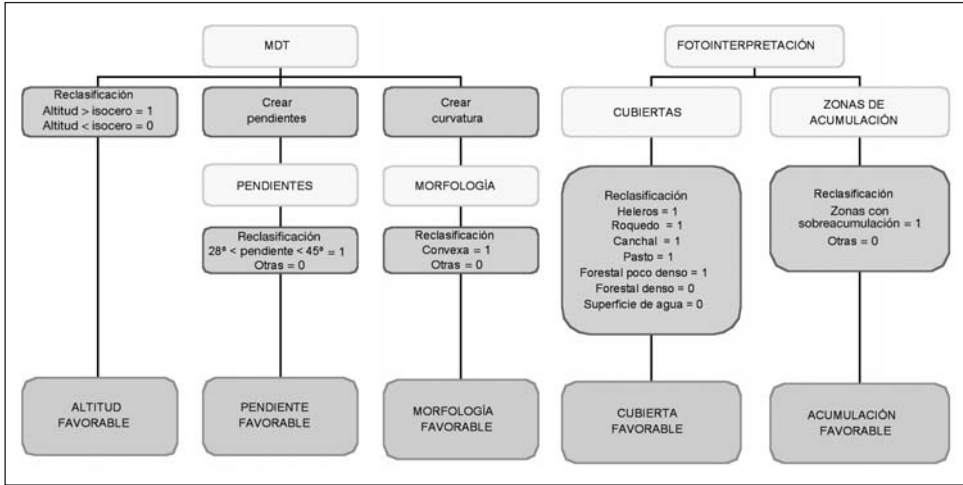


Fig. 7. Esquema de trabajo.

1. Fotointerpretación. En esta fase se han realizado las siguientes cartografías:
 - *Cartografía de cubiertas.* En esta cartografía se han diferenciado áreas de distinta rugosidad con distinto comportamiento frente a las probabilidades de desencadenamiento de los aludes. Posteriormente, se ha llevado a cabo una reclasificación de las distintas categorías para obtener un *mapa de cubiertas favorables al desencadenamiento de aludes.*
 - *Cartografía de zonas con sobreacumulación.* Se han cartografiado las áreas existentes en la zona de estudio en las que se producen acumulaciones de nieve normalmente como consecuencia de ventiscas y vientos fuertes. Para la realización de esta cartografía no solo se ha utilizado la fotointerpretación, sino también la información facilitada por los guardas del refugio de Respomuso, cuyo conocimiento del entorno de la zona permite delimitarlas. La reclasificación de las zonas de sobreacumulación se ha hecho suponiendo favorables al desencadenamiento dichas zonas y no favorables aquellas en las que la nieve no queda acumulada. El resultado es un mapa de acumulaciones favorables (Fig. 8).



Fig. 8. Aspecto típico de una sobreactumulación.

2. Creación de un Modelo Digital de Elevaciones. El MDE se ha elaborado a partir de la altimetría digital a escala 1: 25 000 suministrada por el Instituto Geográfico Nacional correspondiente a la Hoja 145 (Sallent de Gállego). Mediante la utilización del Sistema de Información Geográfica (ArcView 3.2) se han derivado las siguientes cartografías:
 - *Cartografía de altitudes favorables.* Se han considerado altitudes favorables aquellas que superan la altitud de la isocero y no favorables aquellas que quedan por debajo de esa cota. Puesto que esta altitud varía a lo largo de la temporada y que disponemos de la estimación de esta altitud por meses en la zona de estudio (RIVA, 2000), se ha realizado un mapa para cada mes de la temporada invernal (diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo).
 - *Cartografía de pendientes favorables.* A partir de la reclasificación del mapa de pendientes se ha obtenido el de pendientes favorables. Se han considerado pendientes favorables aquellas comprendidas entre los 28 y los 45° y no favorables todas las demás.

- *Cartografía de morfologías favorables.* A partir del MDE se ha elaborado el mapa de curvaturas, con las categorías convexa, cóncava y llana. Este mapa se ha reclasificado considerando favorables las curvaturas convexas, que favorecen la rotura del manto de nieve por tracción y su deslizamiento, y no favorables las curvaturas cóncavas y planas.
- *Cartografía de orientaciones.* A partir del MDE se ha elaborado una cartografía en la que aparece la orientación de cada píxel de 10 m de lado. Las categorías diferenciadas son norte, este, sur, oeste y zonas llanas. Esta cartografía se ha utilizado de forma cualitativa para analizar la distribución espacial de los aludes a lo largo de la temporada.

Las zonas favorables al desencadenamiento de aludes se han localizado superponiendo una combinación de los mapas de altitudes favorables, el de pendientes favorables, el de morfologías favorables, el de cubiertas favorables, el de zonas con sobreacumulación favorable y el de cubiertas favorables.

Para elaborar esta combinación se ha considerado que no todas las variables tienen el mismo comportamiento al contribuir al desencadenamiento de aludes. Así, los aludes no se producen si no existe un manto de nieve continuo, si la pendiente no es favorable o si la cubierta es lo suficientemente rugosa como para no permitir el desencadenamiento. En este sentido, la altitud favorable, las pendientes favorables y las cubiertas favorables se han considerado como factores necesarios para que se produzca un alud. Por el contrario, la existencia de sobreacumulación o la existencia de morfologías favorables no son suficientes por sí mismas para que se produzca un desprendimiento de nieve, por lo que se han tomado solo factores de intensificación.

Todas estas consideraciones han hecho que para delimitar las zonas favorables al desencadenamiento de aludes se haya propuesto la combinación de variables que puede verse en la figura 9.

De esta combinación se obtiene un conjunto de seis mapas, uno para cada uno de los meses considerados en el estudio. En estos mapas, la pro-

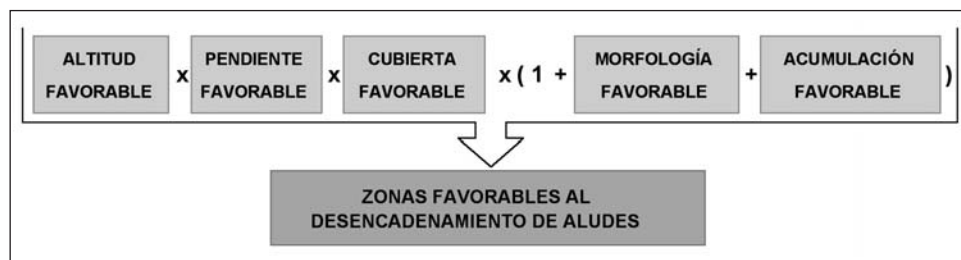


Fig. 9. Criterio utilizado para la superposición de coberturas.

babilidad de desencadenamiento de aludes toma valores de 0 a 3. La escala que se ha propuesto es la siguiente:



Se han considerado zonas con baja probabilidad de desencadenamiento aquellas para las que el valor de la superposición de las variables es 0, lo que significa que al menos una de las variables necesarias es no favorable.

La probabilidad moderada se aplica a aquellas zonas para las que las variables necesarias (altitud, pendiente y cobertura) son favorables, pero las de intensificación (morfología y sobreacumulación) no lo son.

La probabilidad se considera alta para aquellas zonas en las que las variables necesarias son favorables simultáneamente y también lo es una de las variables de intensificación. En estas áreas el valor de la superposición es 2.

Finalmente, cuando todas las variables, tanto las necesarias como las de intensificación, son favorables a la vez el valor de la superposición de coberturas es 3 y la probabilidad de desencadenamiento de aludes en estas zonas se ha definido como muy alta.

RESULTADOS

En la figura 10 aparecen los mapas de zonas favorables al desencadenamiento de aludes en el circo de Piedrafita para los meses considerados (diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo).

Como puede observarse, gran parte de la superficie del circo de Piedrafita presenta probabilidad de ser origen de un alud. Esta superficie disminuye a lo largo de la temporada de forma que es máxima en enero y febrero y mínima en mayo.

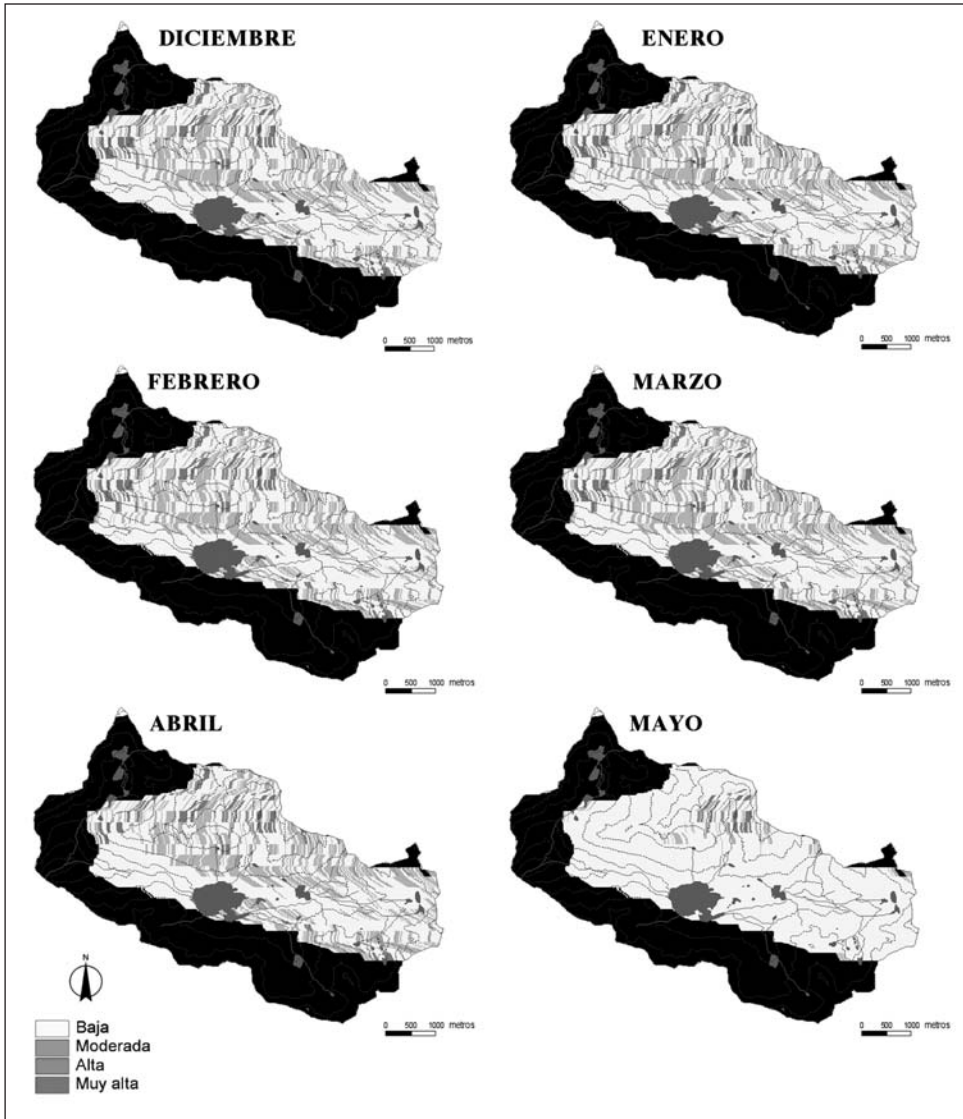


Fig. 10. Cartografía de zonas favorables al desencadenamiento de aludes en el circo de Piedrafita.

La probabilidad de desencadenamiento es baja en todas aquellas zonas que presentan menores pendientes. Incluso en las mayores altitudes, la presencia de una topografía llana o con escasa pendiente hace que la probabilidad sea baja. De esta forma, la probabilidad es baja en el fondo del circo, sensiblemente plano y con presencia de una cubierta que no favorece el desencadenamiento, y en los fondos de los valles colgados adyacentes, que aunque presentan una altitud y una cubierta favorable al desencadenamiento, no cumplen los requisitos de pendiente favorable.

Las zonas con probabilidad moderada son muy escasas. Según los criterios elegidos para la elaboración de estos mapas, la probabilidad se considera moderada cuando se cumplen los criterios necesarios (altitud, pendiente y cubierta favorable), pero no los de intensificación (morfología y sobreacumulación). De la observación de la figura se llega a la conclusión de que en aquellas zonas en las que se dan los tres criterios necesarios, en general, también es favorable alguno de los criterios de intensificación.

Las áreas con probabilidad alta son aquellas en las que son favorables los criterios necesarios y uno de los criterios de intensificación. Tal y como se observa, una gran parte de la superficie del circo de Piedrafita presenta una probabilidad alta de desencadenamiento. Si comparamos los mapas obtenidos con el de morfologías favorables (Fig. 11) observamos que las zonas con probabilidad alta de desencadenamiento se ajustan bastante a

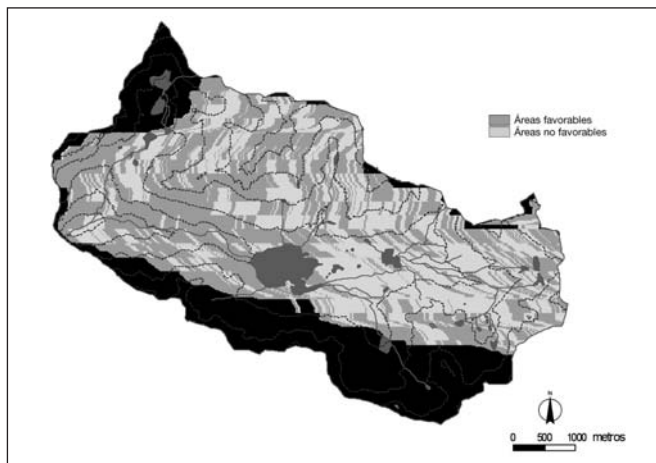


Fig. 11. Mapa de morfologías favorables.

aquellas con morfologías favorables. Esto nos permite concluir que, en la mayor parte de los casos, el criterio de intensificación que contribuye es el de morfología frente a la sobreacumulación.

Las zonas con probabilidad muy alta de desencadenamiento son aquellas en las que son favorables tanto los criterios necesarios como los de intensificación. Estas zonas aparecen mayoritariamente asociadas a las zonas de sobreacumulación.

Con respecto a la distribución espacial, el fondo del circo y los fondos de los valles colgados adyacentes presentan, en general, una probabilidad baja, debido a su topografía llana.

Las áreas con probabilidad moderada aparecen dispersas en todo el circo presentando una gran variedad de altitudes y orientaciones. En general, se localizan en los bordes de las áreas con probabilidad alta o muy alta. Una característica de estas zonas es que no se agrupan para dar áreas extensas, sino que aparecen constituyendo píxeles aislados.

Las áreas con probabilidad alta también aparecen distribuidas por todo el circo, en laderas con distintas orientaciones y a distintas altitudes. Frente a las de probabilidad moderada, estas sí que aparecen agrupadas, dando lugar a grandes extensiones en las que la probabilidad de desencadenamiento es alta.

Finalmente, las zonas con probabilidad muy alta aparecen en las zonas con mayor altitud, y son mucho más frecuentes en el cuadrante noroeste del circo (valles de Arriel, Frondiellas y pie del Balaitús) debido a que la topografía favorece la sobreacumulación de nieve.

La evolución temporal de estas zonas está condicionada por la variación de la altitud de la isocero a lo largo de la temporada. Los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril, la altitud de la isocero se encuentra por debajo de 2000 m. Puesto que la mayor parte del circo de Piedrafita se encuentra por encima de dicha altitud, durante estos meses una gran parte de su superficie presenta alguna probabilidad de desencadenamiento. La situación cambia de forma radical en el mes de mayo. En este mes, la altitud de la isocero se eleva por encima de los 2500 m (RIVA, 2000). Puesto que el criterio de altitud favorable se ha elaborado en función de la isocero, el mapa resultante para el mes de mayo solo presenta probabilidades moderadas, altas o muy altas en las zonas del circo que se encuentran por

encima de esa altitud y que cumplen los otros criterios favorables. En consecuencia, en el mes de mayo, la superficie con probabilidad baja de desencadenamiento aumenta notablemente mientras que las zonas en las que esta es moderada, alta o muy alta disminuyen de forma importante. Lógicamente, estas áreas de mayor probabilidad se localizan en las zonas más elevadas del circo, en los circos de Frondiellas y Balaitús y en el extremo oriental de este.

CONCLUSIONES

Entre los riesgos naturales que afectan a las áreas de montaña, el desencadenamiento de aludes ocupa un lugar significativo.

En España, los aludes solo se presentan de forma habitual en la cordillera pirenaica de forma que es en esta cadena montañosa en la que se ha llevado a cabo la mayor parte de los trabajos relacionados con aspectos teóricos y prácticos de este proceso geomorfológico.

El Pirineo central aragonés es una de las zonas en las que el desencadenamiento de aludes se presenta con mayor frecuencia. La existencia de elevadas altitudes, fuertes pendientes y cubiertas poco rugosas hacen que la zona sea propicia al desencadenamiento de avalanchas. Otros hechos como la presencia de zonas de acumulación y de fuertes rupturas de pendiente en el terreno contribuyen y aumentan la probabilidad de estos desencadenamientos.

En el circo de Piedrafita existe constancia de ocurrencia de aludes en distintas temporadas y con consecuencias muy variadas.

El extremo norte del circo, el valle de Arriel, el circo de Frondiellas, y el pie del Balaitús son las zonas donde se concentra la mayor probabilidad de desencadenamientos. Los extremos meridional y oriental de la zona de estudio presentan una probabilidad menor a estos. Las zonas menos probables son aquellas con menor pendiente, el fondo del circo y los fondos de los valles adyacentes.

Entre diciembre y abril la distribución de áreas favorables al desencadenamiento de aludes es muy similar. En mayo esta situación cambia, ya que al ir desapareciendo el manto de nieve la probabilidad de ocurrencia de

aludes se limita al macizo de Balaitús y el circo de Frondiellas, en los que este manto se mantiene.

Los resultados obtenidos suponen una primera aproximación a la delimitación de las zonas de aludes. El siguiente paso a llevar a cabo sería la comprobación en campo de la ocurrencia de aludes en las zonas delimitadas y la mejora del algoritmo utilizado a partir de los resultados obtenidos con este trabajo.

Estos resultados muestran cómo el desencadenamiento de aludes se ve muy condicionado por la radiación recibida por el manto. En consecuencia, la incorporación de la distribución espacial de la radiación recibida supondría, probablemente, una notable mejora del método propuesto para la elaboración de la cartografía.

La delimitación de estas zonas favorables al desencadenamiento de aludes supone un primer paso para la elaboración de mapas de riesgo de aludes. Estos mapas, como otras cartografías de riesgos, son esenciales para la planificación y gestión del territorio y para la instalación de distintas infraestructuras en áreas de montaña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLOGNESI, R. (2002). Protection du refuge de Respomuso contre les avalanches. En CHUECA, J., y JULIÁN, A. (1999). Cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Ordesa (Pirineo aragonés). *Geographica*, 37: 73-86. Zaragoza.
- CHUECA, J.; JULIÁN, A., y PEÑA, J. L. (2000). El relieve del Alto Gállego. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 41-79.
- CHUECA, J.; JULIÁN, A., y RENÉ, P. (2004). El glaciario actual en los macizos de Balaitús e Infiernos – Punta Zarra (Pirineo central). *Resúmenes de las Jornadas de Geografía Física de Aragón*: 95-101. Zaragoza.
- CUCHÍ, J. A., y LEO, E. (2004). Análisis de avalanchas en el Pirineo altoaragonés. *Barra-bes.com, cuadernos técnicos*, 13 (marzo-abril): 28-31.
- GUYOMARC'H, G. (1996). *Les avalanches*. Centre d'Études de la Neige. Météo France. S. Martin d'Heres. Grenoble.
- IBARRA, P., y PÉREZ, F. (2000). La vegetación del alto valle de Tena. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 127-149.
- JULIÁN, A., et alii (2000). Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: metodología y resultados. *Boletín de la AGE*, 30: 119-134. Madrid.

- MCCLUNG, D., y SCHAEERER, P. (1996). *Avalanchas*. Sua Edizioak – Ediciones Desnivel. 309 pp.
- PEÑA, J. L., et alii (2002). *Mapa geomorfológico de Aragón*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza.
- REY, L. (1985). *La nieve, su metamorfosis. Los aludes*. MOPT. Madrid.
- RIVA, J. de la (2000). Caracterización climática del alto valle de Tena. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 81-109.
- RODES, P. (1999). *Análisis de los accidentes por aludes de nieve en España. Una aproximación a la revisión histórica*. Ediciones Ergon. Madrid. 73 pp.
- SÁEZ ALAGÓN, M^a T. (1993). *Memoria de la Cartografía 1: 25 000 de zonas probables de aludes en el cuadrante II de la hoja 144 de Ansó*. ITGME. Madrid.