

SISTEMES I PROCESSOS

Estudi geomorfològic de la dinàmica nival i del risc d'allaus a la vall Ferrera (Pallars Sobirà)*

Montserrat Mases i Coberó**

Rebut: abril 1994

Resum

La vall Ferrera és una conca d'alta muntanya tributària de la Noguera Pallaresa i enclavada al Pirineu Occidental Català (fig. 1). S'hi han realitzat una sèrie d'observacions entorn del fenomen de les allaus. En primer lloc, s'han realitzat una sèrie de treballs de tipus cartogràfic. Partint del mapa de «Localització Probable de Zones d'Allaus», s'ha efectuat una classificació de les diferents morfologies de les zones d'allaus, i se n'ha deduït que aquestes són el resultat de l'adaptació al modelatge glacial preexistent. A partir d'aquesta cartografia s'ha obtingut, també, el primer «mapa pilot de risc d'allaus», i s'ha presentat una discussió sobre la problemàtica de la seva elaboració i la seva utilitat. En un segon bloc s'analitzen les conseqüències geomorfològiques de les allaus especialment pel que fa referència a la seva contribució en la construcció dels cons de dejecció de les conques de dinàmica mixta nivotorrencial. Les observacions realitzades ens porten a pensar que la contribució de les allaus en la formació d'aquests cons és poc rellevant.

MOTS CLAU: Pirineu, risc geomorfològic, neu, allau, zona d'allau, conca de dinàmica mixta nivotorrencial.

Abstract

Geomorphological study of snow dynamics and avalanche risk in the Ferrera valley (Pallars Sobirà)

In this paper we present a study about avalanches realized in the Ferrera basin, located in the western catalonian Pyrenees (Fig. 1). On one hand, mapping of the avalanche path location leads us to propose a classification of the different morphologies of the snow avalanche paths. These morphologies are the result of the avalanche adaptation to the previous glacial relief.

An avalanche risk map have been constructed using the avalanche path location map. In this work we discuss about its construction and its utilities.

On the other hand, we discuss the geomorphological consequences of avalanches and its contribution in fan construction deposits.

From our observations we conclude that the contribution of the avalanches in the formation of intramontaine fans is minimal.

KEYWORDS: Pyrenees, geomorphological risk, snow, avalanche, avalanche path, snow-torrential dynamic basin.

* Aquest article és el resum del treball que porta el mateix títol, guardonat amb el Premi per a estudiants 1993 de la Institució Catalana d'Història Natural.

** Dpt. de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia. Universitat de Barcelona. Zona Universitària de Pedralbes. Martí Franquès s/n. 08028 Barcelona. Adreça actual de l'autor: CEMAGREF. 2 Rue de la Papeterie, BP. 76. 38402 Saint Martin D'Hères. França.

Resumen

Estudio geomorfológico de la dinámica nival y del riesgo de aludes en la vall Ferrera (Pallars Sobirà)

La vall Ferrera es una cuenca de alta montaña tributaria del río Noguera Pallaresa, situada en el Pirineo occidental catalán (fig. 1). En ella se ha llevado a cabo una serie de observaciones en torno al fenómeno de los aludes.

En primer lugar, hemos realizado el mapa de «Localización Probable de Zonas de Aludes». A partir de él, hemos efectuado una clasificación de las diferentes morfologías de las zonas de aludes, deduciendo que éstas son el resultado de la adaptación al modelado glacial preexistente.

Esta cartografía nos ha permitido obtener el primer «mapa piloto de riesgo de aludes». En este trabajo presentamos una discusión sobre la problemática planteada para su elaboración y la utilidad de este tipo de mapas.

En segundo lugar, hemos analizado las consecuencias geomorfológicas de los aludes, especialmente en lo que se refiere a su contribución en la construcción de los conos de deyección de las cuencas de dinámica mixta nivotorrencial.

Las observaciones realizadas nos llevan a pensar que la contribución de los aludes en la formación de los conos de deyección es poco relevante.

PALABRAS CLAVE: Pirineos, riesgo geomorfológico, nieve, alud, zona de alud, cuenca de dinámica mixta nivotorrencial.

Introducció: Les allaus

La neu, contràriament al que hom pensa, no és únicament una capa blanca i freda, homogènia i regular. De fet, en el mateix moment que la neu es diposita sobre el sòl, comença a patir una sèrie de transformacions físiques que donen lloc a una capa amb diversos horitzons, cadascun dels quals té propietats diferents. Aquestes transformacions poden fer que el mantell tendeixi a ésser estable, és a dir, a romandre on ha estat diposi-

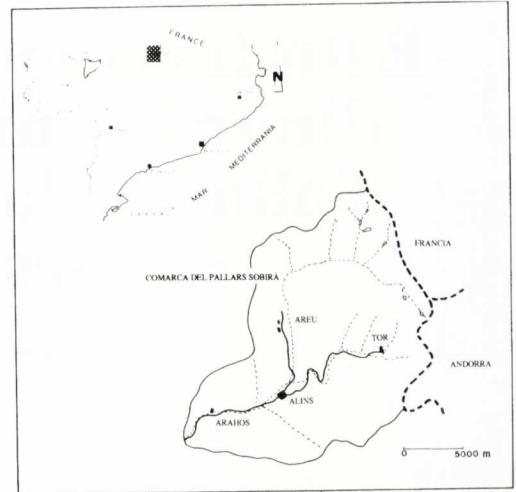


FIG. 1. Situació geogràfica de la vall Ferrera. Schematic map of the study area.

tat, o bé que tendeixi a inestabilitzar-se i produir allaus.

Quan en una porció del mantell nival, situada en un vessant, les forces motrius (component del pes paral·lel al vessant) superen les forces resistents (fregament, cohesió, etc.) es produeix una inestabilitat i es desencadena una allau.

Així, es defineix una allau com una porció de massa del mantell nival que es posa en moviment per ruptura d'un equilibri entre les forces resistents i les forces motrius (VILAPLANA *et. al.*, 1989). Hi ha molts tipus d'allaus, depenent del tipus de neu que es mobilitza i del seu estat físic, però essencialment es poden agrupar en tres tipus, allaus de neu pols, allaus de neu humida i allaus de placa (UNESCO 1981).

No hem de confondre, però, una allau amb el que anomenem zona d'allaus. Entenem per zona d'allaus aquella superfície o porció de superfície del terreny afectada per allaus de forma periòdica. Les observacions que es presenten en aquest treball, fan totes referència a les zones d'allaus de la vall Ferrera, no pas a les allaus.

Una zona d'allaus es pot subdividir a la vegada en tres zones (fig. 2). Zona de sortida, és la part més alta on comença a posar-se en moviment el mantell nival. Zona de trajecte on es produeix exclusivament la circulació de la neu i zona d'arribada on el moviment de la neu queda frenat i aquesta es diposita.

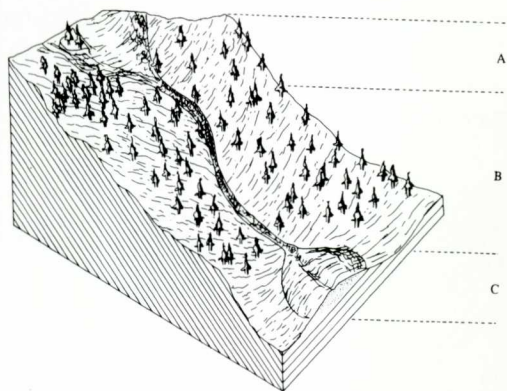


FIG. 2. Parts d'una zona d'allaus. A-Zona de sortida. B-Zona de trajecte. C-Zona d'arribada.

Avalanche path parts: A-Starting zone. B-Track zone. C-Runout zone.

La cartografia de les zones d'allaus. Mapa de Localització Probable de Zones d>Allaus

La cartografia de Localització Probable de Zones d>Allaus és el document base elaborat per confeccionar tant la classificació morfològica de les zones d'allaus com el mapa de risc d'allaus.

En el mapa de Localització Probable de Zones d'allaus, no es fa altra cosa que delimitar i representar tota la superfície del territori afectada per allaus. Es realitza seguint el model de mapes confeccionats pel Ministeri Francès d'Agricultura (CEMRA-GREF 1981) i pel *Servizio de la Calamita Pubblica, Ufficio Neve e Valangue* de la Província Autònoma de Trento (1986).

Per fer-los, se segueixen tres etapes: la primera de fotointerpretació on s'identifiquen tant les zones de grans allaus com les de petites allaus o purgues. S'utilitzen fotografies aèries verticals sense neu, preferentment de tardor, perquè precisament en aquesta època els caducifolis canvien de color i es poden observar molt millor, fet que, com veurem més endavant, és molt útil com a criteri d'identificació de les zones d'allaus.

Un cop realitzada la fotointerpretació, s'han de corroborar les dades obtingudes al camp. La cartografia de camp es realitza a l'estiu i a la tardor, èpoques en què les condicions nivometeorològiques permeten arribar a zones que l'hivern són de difícil accés i, sobretot, on es poden observar millor les distorsions que les allaus produeixen a la vegetació.

Per últim, es realitza una enquesta a la població per obtenir una idea aproximada de quina és la freqüència de les allaus, de quin tipus són i, especialment, s'intenta esbrinar quina és la distància màxima que una determinada allau ha assolit històricament.

criteris d'identificació de les zones d'allaus

La cartografia de localització probable de zones d'allaus és possible gràcies al fet que les allaus pràcticament sempre es produeixen al mateix lloc i que incideixen sobre el medi, especialment nafrant i destruint la vegetació.

Els criteris d'identificació són els següents:

Altitud

L'altitud és el primer criteri que fem a l'hora d'anar a buscar les zones d'allaus. Al Pirineu Català es poden desencadenar allaus a partir de 1.700-1.800 m. En zones més baixes l'elevada temperatura i l'escassa inniva-

ció fan que el mantell nival sigui de poca gruixària i desaparegui ràpidament sense tenir temps de desencadenar-se el fenomen. (FURDADA *et al.* 1988)

Críteris topogràfics

Les allaus es desencadenen gairebé sempre en vessants el pendent dels quals oscil·la entre 28° i 45. En pendents superiors la neu ja no s'hi acumula i en pendents inferiors és difícil que s'arribi a inestabilitzar, exceptuant alguns casos molt concrets de períodes d'elevada temperatura molt perllongats (MARTINELLI 1974).

Orientació dels vessants

La incidència dels raigs solars és molt important en les transformacions de la neu i, per tant, influeix directament en l'evolució de l'estabilitat posterior a una nevada.

Orientació dels vessants respecte als vents dominants

És molt freqüent al Pirineu Català que les nevades vagin acompanyades de forts vents o bé que aquests es produeixin poc després de les nevades. El vent erosiona la neu de les superfícies d'aplanament i dels vessants oberts i l'acumula en els vessants que queden a sotavent. La identificació d'aquestes sobreacumulacions és essencial perquè d'elles se'n poden derivar allaus de gran incidència.

Críteris morfològics

Molt sovint és la morfologia dels vessants la que ens indica la presència d'una zona d'allaus. Hi ha dues morfologies característiques, la que anomenem pala (veurem la definició més endavant) i el corredor.

El perfil longitudinal del vessant controla el desencadenament de l'allau: un perfil convex afavoreix l'allau, atès que els esforços que es produeixen en el mantell nival (frega-

ment i esforç gravitacional) s'oposen i donen lloc a una tracció que pot produir una esquerda. Un perfil esglaonat no afavoreix l'allau perquè cadascun dels esglaons constitueix un ancoratge. Perquè es produeixi l'allau és necessari que el perfil esglaonat es regularitzi (fig. 3). En canvi, en un perfil còncau els esforços convergeixen i donen lloc a una compressió que proporciona estabilitat al mantell, la neu és un material que es caracteritza per tenir molt poca resistència a la tracció però, en canvi, és molt compressible.

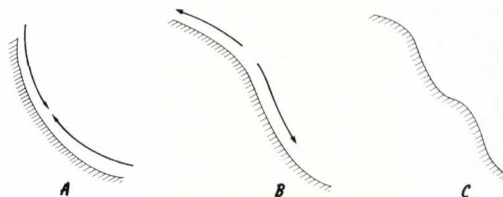


FIG. 3. Representació dels esforços del mantell nival en el perfil longitudinal d'un vessant.
Stress directions in longitudinal snow profiles.

Rugositat del terreny

La microtopografia o textura de la superfície del terreny afavoreix o tendeix a frenar el moviment de l'allau. Afavoreixen l'allau el prat alpí amb l'herba llarga, la superfície rocosa polida per les glaceres quaternàries, el sòl cobert totalment per arbusts, etc.

En canvi tendeix a frenar el moviment de l'allau el prat alpí amb l'herba curta mossegada pel bestiar, una superfície amb força ressals rocallosos, un sòl amb recobriment arbustiu esclarissat, etc.

Impacte de les allaus sobre el paisatge vegetal

De tots els críteris d'identificació, els que fan referència a la vegetació són els més útils i fiables. Es basen pràcticament tots en la

destrucció total o parcial de la vegetació autòctona i de la seva posterior regeneració. En la realització de la cartografia hi ha dues formes d'observar l'impacte sobre la vegetació, quan l'allau entra o es produeix dins del domini boscós. D'una banda, les *observacions de paisatge* que són molt útils per delimitar les grans zones d'allaus i d'una altra, les *observacions de detall* que es basen en el reconeixement de diferents nafres que poden quedar en arbres i arbusts com a conseqüència del pas de les allaus. Aquestes últimes s'utilitzen quan hi ha dubtes en un sector determinat de si hi ha hagut allaus o no, en el cas que la destrucció del bosc no ha estat total.

Observacions de paisatge

Zonació vertical del bosc

És un dels criteris més evidents i molt freqüent. Molt sovint el pas de les allaus produeix una destrucció del bosc en franges verticals. Existeixen diferents zonacions verticals del bosc, totes elles corresponen a diferents estadis de regeneració de l'àrea malmesa. De menor a major temps de regeneració tenim:

— Coníferes—prat alpi. Quan les allaus baixen molt freqüentment i no deixen temps perquè el bosc es recuperi. La franja vertical és ocupada per herba de prat alpi. És típic a les zones de capçalera on el pas d'allaus és més freqüent.

— Coníferes—arbusts. La vegetació arbustiva és la que colonitza la franja vertical si el temps de regeneració és una mica més llarg que en el cas anterior.

— Coníferes—caducifolis. Els caducifolis apareixen a les franges verticals si el temps de regeneració és més important. Aquests arbres es caracteritzen per tenir un tronc flexible, quan l'allau els passa per sobre es vin-

clen però no es trenquen, quan la neu s'ha fos, per fototropisme, tendeixen a tornar a la verticalitat. És el contrari que passa amb les coníferes de tronc més rígid que es trenca sota la força de l'allau.

— Coníferes adultes—coníferes joves. Si el temps de regeneració és perllongat poden començar a créixer a la zona d'allau coníferes.

Zonació del perfil longitudinal del bosc

És la zonació que observariem si féssim un tall de dalt a baix en un vessant. Aquesta zonació es deu també als diferents temps de regeneració que hi ha verticalment dins d'una mateixa zona d'allau. D'aquesta forma, a la part superior del vessant (Zona de sortida), la més afectada perquè en ella tenen lloc tant les allaus de petita magnitud com les extraordinàries, tindrem prat alpi. Més avall començaran a aparèixer arbusts, generalment nerets. Més avall trobarem caducifolis de troncs flexibles i, per últim, a la part més baixa del vessant apareix el bosc de coníferes, primer joves i després ja grans (fig. 4).

Arbres que creixen protegits

Moltes vegades en un vessant de prat alpi s'observa com hi ha coníferes que creixen vessant avall protegides per ressals rocallosos. Aquestes coníferes poden tenir la copa escapçada, si en algun moment aquest ha sobresortit per sobre del ressalt rocallós i ha quedat desprotegida.

Bosc esclarissat

A les zones en què la magnitud de les allaus no és gaire important, el bosc no queda destruït per complet sinó que els arbres queden malmesos o són arrencats selectivament.

Observem aleshores en el paisatge un bosc esclarissat.

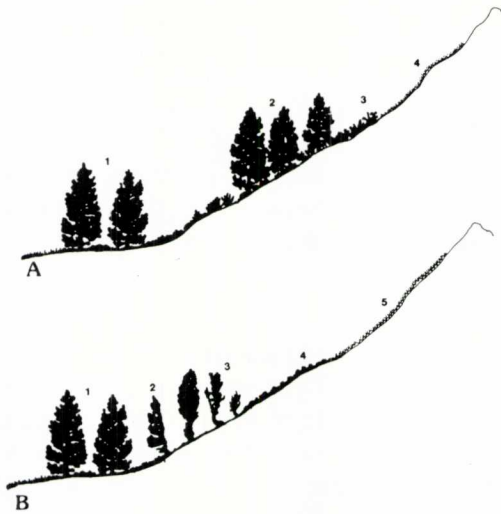


FIG. 4. Zonació del perfil longitudinal d'un bosc a l'alta muntanya. A-Zonació altitudinal típica de la zona subalpina (simplificació de RIBA *et al.* 1980). 1-Bosc de pi negre amb neret. 2-Bosc de pi negre amb bàlec i ginebró. 3-Sudornar, als rosts de sovell. 4-Festuca. B-Zonació de la vegetació típica en una zona d'allaus. 1-Coníferes (Pi negre). 2-Coníferes nafrades. 3-Caducifolis. 4-Arbust (neret). 5-Festuca.

A) vegetal zonation in a subalpine area (RIBA *et al.* 1979). 1-*Pinus uncinata* woodland with *Rhododendrum*. 2-*Pinus uncinata* woodland with *Genista purgans* and *Junipens nana*. 3-*Festuca eskia* grassland. 4-Festuca patches. B) vegetal zonation in an avalanche path. 1-*Pinus uncinata* trees. 2-Damaged *Pinus uncinata* trees. 3- Deciduous trees. 4-Festuca patches.

Acumulacions de troncs

Una allau pot arrencar la vegetació i emportar-se-la vessant avall on deixarà una acumulació caòtica de troncs.

Observacions de detall

Arbres amb la copa escapçada

Tal com hem vist, aquest fet es produeix en arbres que creixen arrecerats sota ressaltos rocallosos. Però el mateix resultat el podem obtenir quan baixa una allau de neu

pols que circula sobre un coixí d'aire o bé quan baixa una allau que no afecta el terra, sinó que llisca sobre un horitzó de neu que protegeix la part baixa de l'arbre (fig. 5).

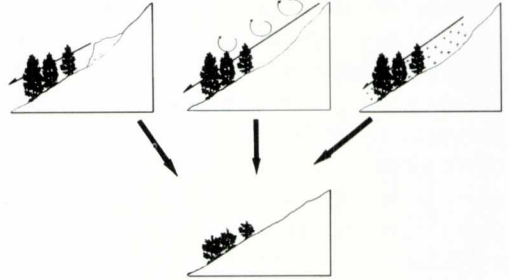


FIG. 5. Representació dels tres mecanismes que poden donar lloc a arbres amb la copa escapçada en una zona d'allaus. A-Arbres que creixen protegits, en part, per ressaltos rocallosos. B-Allau de neu pols que circula per sobre d'un coixinet d'aire. C-Arbres amb la part inferior protegida pel mantell nival.

Mechanisms for making trees without top. A-Trees protected by rocks. B- Trees protected under the power-snow avalanche. C-Trees protected by snow-cover.

Branques trencades

El pas de l'allau pot trencar les branques dels arbres. Observarem arbres que vessant amunt no tenen branques i que en canvi vessant avall sí. Aquest és un criteri d'identificació molt utilitzat.

Senyals d'impacte en els troncs

És possible que l'allau en el seu moviment arrossegui fragments de roca, que en impactar amb els troncs dels arbres deixin un senyal, que nosaltres posteriorment podrem observar.

Arbres retorçats i ajaguts

El pas d'una allau i especialment la neu que queda després, fan ajaure els arbres. Aquests, si el tronc no s'ha trencat, amb la fusió de la neu tendiran a aixecar-se a la recerca de la llum. El resultat és un tronc que en la

seva part més baixa és arquejat. Sovint l'arbre queda tan vinclat que té dificultats per redreçar-se. Aquest és un procés llarg i de vegades en el moment de l'observació encara romanen ajaguts.

Amb tots aquests criteris d'identificació, juntament amb l'enquesta a la població, s'arriba a confeccionar el «Mapa de Localització Probable de Zones d'Allaus» que ha estat la base per confeccionar la classificació de les zones d'allaus i el mapa de risc d'allaus. A la figura 6 podeu observar el mapa juntament amb la seva llegenda.

Classificació de les zones d'allaus

A partir de les observacions realitzades en fotointerpretació, i especialment a partir de les observacions de camp, es proposa la primera classificació de les zones d'allaus. Aquesta ha resultat força difícil de confeccionar, atès que la tipologia de les zones d'allaus és molt variada i resulta pràcticament impossible d'incloure-les en una classificació senzilla. Així, que s'ha optat per una classificació bidimensional amb doble entrada, en la qual s'analitzen per separat la zona de sortida i la zona de trajecte.

Zona de sortida:

- Vessant obert regular o irregular.
- Pala ben definida.
- Conca.
- Coll.
- Sortida lineal en bosc.
- Sortida lineal en roca.
- Múltiples canals en roca.

Zona de trajecte:

- Vessant obert regular o irregular.
- Lineal en bosc.
- Múltiples canals en bosc.
- Múltiples canals en roca.

Zona d'arribada

En la classificació, les zones d'arribada no s'han tingut en compte ja que només se n'han reconegut de dos tipus: vessants oberts, on no hi ha cap morfologia d'acumulació i cons de dejecció on trobem una morfologia de ventall. Aquestes coincideixen amb cons d'esbaldregalls i amb cons de dinàmica mixta nivo-torrencial.

Descripció dels diferents tipus morfològics reconeguts

Vessant obert

Es tracta d'un vessant sense incisions ni cap tipus de ressals importants, amb escassa vegetació (*Festuca supina* i *Rhododendron ferrugineum*) o sense vegetació. Amb un pendent que oscil·la entre 28° i 45°.

Es considera vessant regular aquell que no té ressals rocallosos ni tan sols de petites dimensions, li manca vegetació (o en tot cas tan sols prat alpí) i no té contrapendents importants. O bé es tracta de roca polida pel gel. Per contra, un vessant es considera irregular quant té ressals rocosos (no molt importants), la vegetació és més desenvolupada amb nerets o coníferes joves o bé té algun contrapendent, aquestes són característiques del vessant que poden actuar com a ancoratge del mantell nival.

Pala ben definida

Es tracta de la part d'un vessant, normalment la més alta, caracteritzada per un pendent que oscil·la entre 28° i 45° i per una gran regularitat, sense convexitats ni concavitats significatives. Acostuma a estar limitada per zones del mateix vessant amb rugositats majors.

Conca

La sortida de l'allau es produeix en una

petita conca, normalment de dinàmica mixta nivotorrencial, per on poden desencadenar-se les allaus i ocupar la totalitat de la seva superfície o baixar individualitzades per cadascuna de les canals que la formen. En tot cas la neu baixa sempre cap a la canal principal.

Coll

La sortida de l'allau es produeix en un coll, normalment sense incisions i prou ample.

Zones de sortida puntuals en roca i de trajecte lineals en roca

La mateixa morfologia la trobem tant en zones de sortida com en zones de trajecte. Es tracta d'una zona deprimida o canal, incidida en un vessant rocallós per on poden desencadenar-se i circular les allaus. La part superior de la canal pot estar eixamplada i constituir una petita zona d'acumulació. El grau d'incisió a la roca és molt variable i poden ésser des de canals de fons pla fins a estar molt incidides. Aquest tipus de morfologia és característica de les zones de circ.

Zones de sortida puntuals en bosc i de trajecte lineals en bosc

També la morfologia pot ésser la mateixa per a la zona de sortida com per a la zona de trajecte. Es tracta d'un tall longitudinal al bosc, produït pel pas de les allaus. Normalment en aquest cas la incisió és poc important i constitueix una canal ampla de fons pla, a voltes, però, estan força incidides a causa dels processos de dinàmica torrencial. Aquests tipus de morfologies són típiques de les zones més baixes on la proliferació del bosc és més important.

Múltiples canals en roca

Aquesta classe no és més que una generalització del grup lineal en roca. Es caracteritza per la presència de diverses canals ben definides en un vessant rocallós. Poden ocu-

par una part o la totalitat del vessant i les allaus poden desplaçar-se per cadascuna de les canals individualment o bé fer-ho per totes alhora.

Una zona d'allau s'inclou en aquesta classe quan l'escala de la cartografia no permet de representar una única canal.

Múltiples canals en bosc

També és una generalització del tipus lineal en bosc, es tracta de diversos talls longitudinals en el bosc produïts pel pas de les allaus. Una zona d'allau s'inclou en aquest grup quan l'escala de la cartografia que s'utilitza no permet representar una sola de les canals. Com en el cas anterior pot circular una sola allau o bé circular allaus al mateix temps en totes elles.

De la correlació entre les zones de sortida i les zones de trajecte s'obtenen 54 grups de tipus de zones d'allaus (fig. 6) en els quals s'han pogut incloure totes les allaus observades a la vall Ferrera. D'aquests grups, 6 no s'han observat a la vall Ferrera i creiem que és difícil que es donin en la natura ja que correspondrien a zones d'allaus amb una sortida puntual (coll, puntual en bosc i puntual en roca) i zona de trajecte en múltiples canals (en bosc o en roca), ja que la neu que baixa per una única canal en principi no té prou energia per bifurcar-se i modelar més d'una canal a la zona de trajecte.

Els grups obtinguts s'han agrupat novament en 8 classes diferents (taula I i fig. 7), seguint criteris de similitud morfològica.

Cadascuna de les zones d'allaus observades al camp ha estat identificada en una d'aquestes classes. D'aquesta manera s'ha obtingut un mapa de classes de zona d'allaus que ha resultat ésser força interessant, especialment comparant-lo amb el mapa geològic de la vall Ferrera. En aquest mapa s'observa com existeix una clara diferència entre la meitat N i la meitat S de la conca. A la meitat N les zones d'allaus són de menor magnitud i

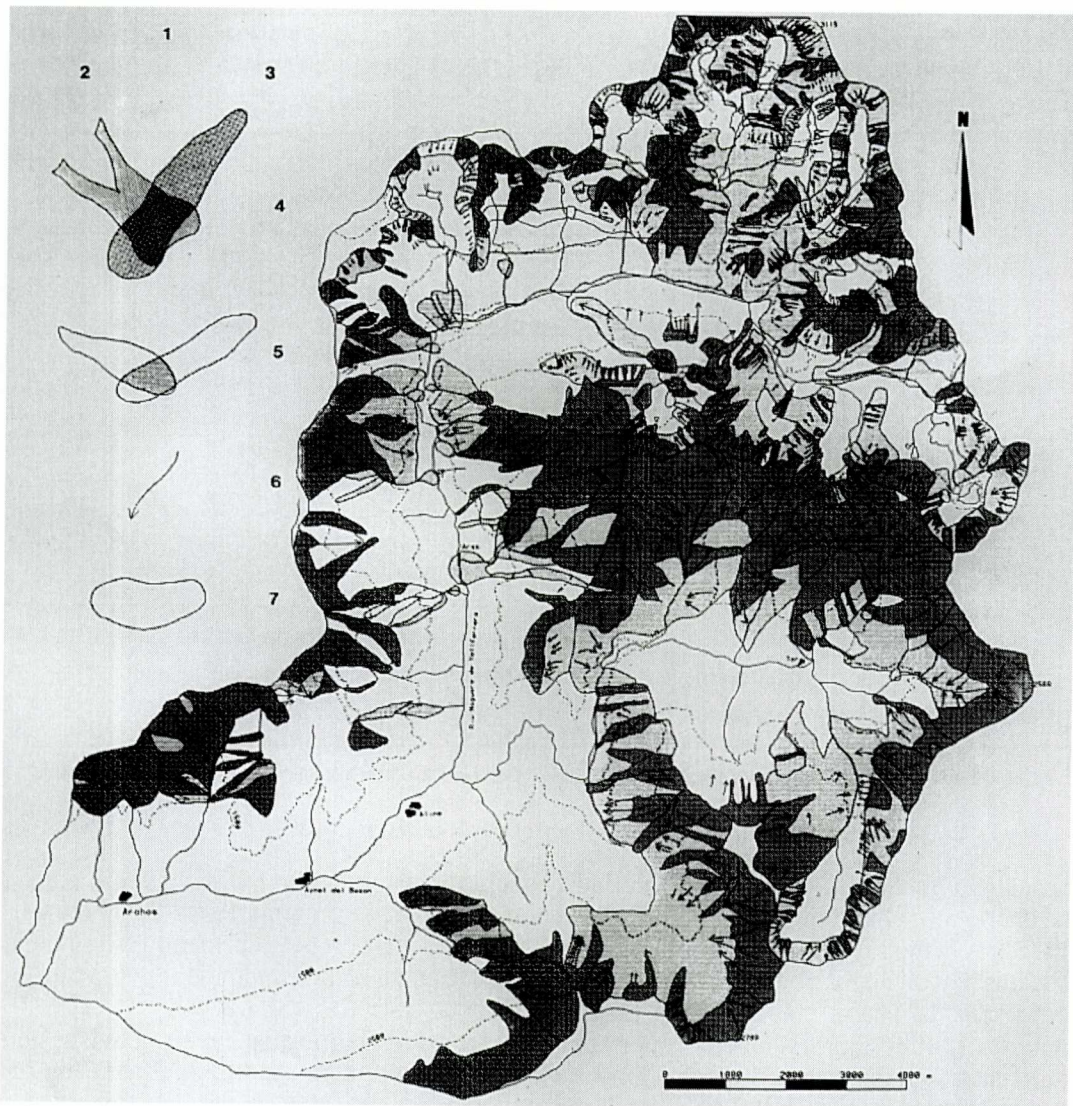


FIG. 6. Mapa de localització probable de zones d'Allaus:
 1- Intersecció de zones determinades per fotointerpretació i per enquesta sobre el terreny. 2-Determinació per fotointerpretació. 3-Determinació per enquesta sobre el terreny. 4-Allaus. 5-Zones perilloses: pràcticament tots els punts són exposats a petites allaus. 6-Perill localitzat. Zona de circulació preferent. 7-Zones amb deflació.

Avalanche paths map. 1-Intersection of areas determined by photointerpretation and field inquiries. 2-Determination through photointerpretation. 3-Determination through field work and inquiries. 4-Avalanches. 5-Hazard zones: all points exposed to small avalanches and sluffs. 6-Localized hazard: preferent circulation zone. 7-Wind-dripping zones.

ZONA DE SORTIDA TRAJECTE	VESSANT OBERT		PALA BEN DEFINIDA	CONCA	COLL	LINEAL EN ROCA	MÚLTIPLES CANALS EN ROCA	LINEAL EN BOSC	MÚLTIPLES CANALS EN BOSC
	IRREGULAR	REGULAR							
VESSANT OBERT	REGULAR	1	2	3	4	5	6	7	8
	IRREGULAR								
LINEAL EN BOSC	19	20	4	5	6	7	8	10	11
MÚLTIPLES CANALS EN BOSC	23	24	30	31	32	33	34	35	36
LINEAL EN ROCA	34	35	36	37	38	39	40	41	42
MÚLTIPLES CANALS EN ROCA	43	44	45	46	47	48	49	50	51

TAULA I. Classificació morfològica de les zones d'allaus. Geomorphological classification of the avalanche paths.

desnivell i la seva tipologia és molt variada. La classe més abundant és la 8 seguida de la 1 i la 4. A la meitat sud de la conca les zones d'allaus són de major dimensió i de desnivell important. La classe més abundant és la 5. Aquesta dissimetria N-S coincideix perfectament amb una diferència litològica existent entre la meitat N i la meitat S de la conca. La part N és formada per gresos, pissarres quasítiques i filites força resistents a l'erosió. Mentre que la part S és formada per pissarres i filites més erosionables. Per tant, hi ha una bona correlació entre la litologia i les classes de zones d'allaus. Podríem arribar a pensar que la litologia condiona les classes de zones d'allaus.

En general, però, a les allaus no se'ls atribueix un gran poder erosiu sobre la formació

superficial i un poder quasi nul sobre la roca mare (MARTINELY 1974, PEIRY 1990). Basant-nos en aquests fets, en principi la diferència litològica no ha de condicionar pas la morfologia de les zones d'allaus.

La diferència litològica, en canvi, sí que podria haver estat un condicionant important en el modelatge glacial.

Diferents autors (SERRAT 1977, VILAPLANA 1983 i BRU 1985) estableixen una relació directa entre les roques del substrat i les formes resultants del modelatge glacial, les valls glacials més típiques apareixen modelades en roques competents mentre que en roques menys resistents les formes típiques apareixen en menor freqüència (BRU 1985). A la vall Ferrera, a la part N, es van modelar circs de fons pla i parets abruptes, mentre

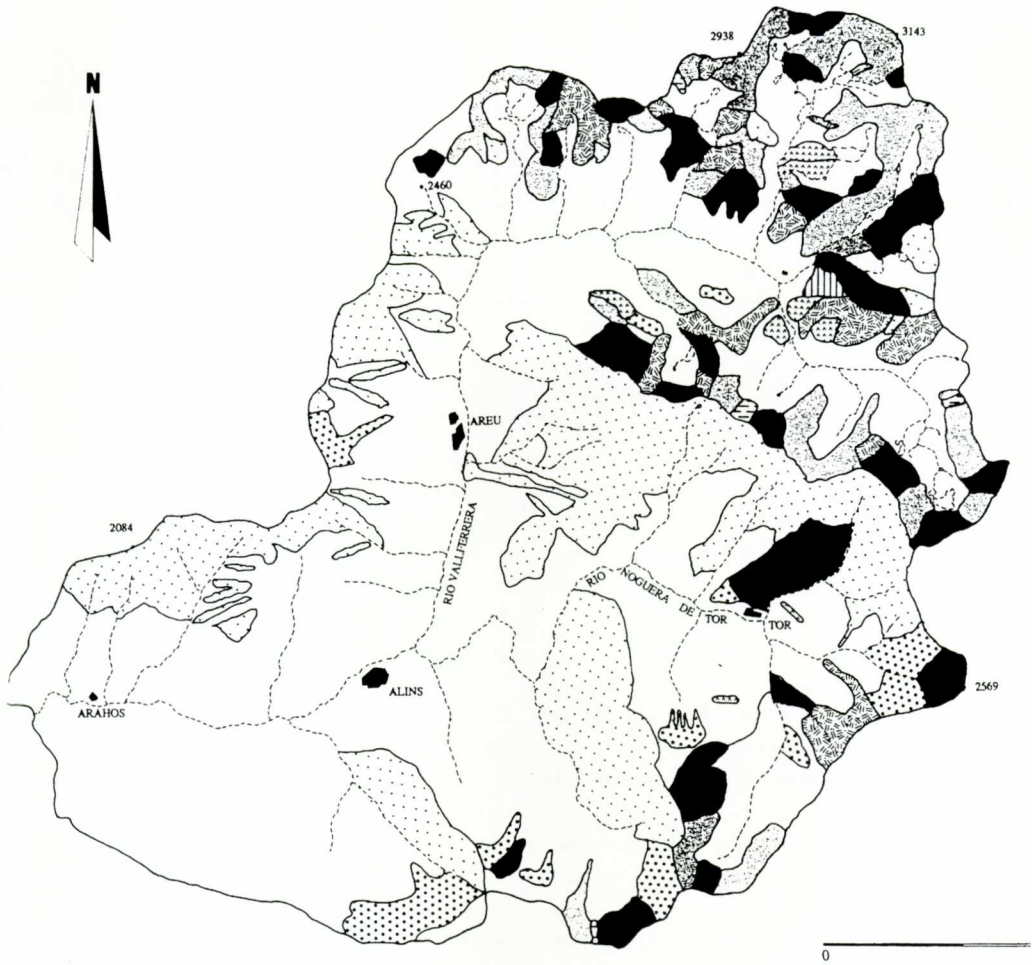


FIG. 7. Mapa de classes de zones d'allaus a la vall Ferrera.

Map of different kind of avalanches paths.

que a la part S, on també la durada dels gels quaternaris va ésser menor, es van modelar grans conques. Actualment, les allaus s'adapten a aquestes morfologies. En conclusió podem dir que les diferents morfologies de les zones d'allaus són conseqüència de l'adaptació del modelatge glacial preexistent.

El risc d'allaus

Fins ara hem vist les allaus com un procés geomorfològic però no hem d'oblidar que tenen un clar impacte sobre la societat. Especialment en els últims anys en què s'ha produït un increment molt important de l'ocupació de l'alta muntanya, especialment pel que fa a la pràctica dels esports d'hivern. Aquest increment ha anat acompanyat de la creació de tota una infraestructura turística i

de comunicacions que en molts casos es veu afectada per les allaus. Per tant, a part dels aspectes geomorfològics del procés d'allaus, és molt important abordar el problema de l'impacte d'aquestes sobre la societat, és a dir, del risc d'allaus. És per això que en aquest treball s'ha confeccionat un primer mapa pilot de risc d'allaus.

Abans, però, de presentar el mapa de risc d'allaus establim algunes definicions presentades per PANIZZA 1987.

Entenem per perillositat geomorfològica la probabilitat que un cert fenomen, produït d'una inestabilitat geomorfològica, tingui lloc en un cert territori i en un període de temps donat. Una forma geomorfològicament inestable és aquella que reflecteix una falta d'equilibri amb el medi i tendeix a obtenir aquest equilibri a través d'un procés dinàmic.

La vulnerabilitat d'un territori es defineix com la probabilitat que una determinada situació econòmico-social rebi danys quan sofreix l'efecte d'una inestabilitat.

El risc geomorfològic fa referència a la probabilitat que les conseqüències econòmiques i socials que pot produir una inestabilitat geomorfològica no excedeixin d'un determinat llindar.

Això equival a dir que el risc és el producte entre la perillositat i la vulnerabilitat.

Segons aquestes definicions, podem veure con una allau per grossa que sigui, és a dir, amb elevada perillositat, si és situada en un circ al qual no accedeix mai ningú, tindrà un risc nul, per contra, una allau de menor magnitud (de menor perillositat) que l'anterior, si afecta alguna àrea amb assentaments humans, pot arribar a tenir un risc molt important.

El «Mapa de Localització Probable de Zones d'Allaus» no és cap altra cosa que un mapa de perillositat geomorfològica; per obtenir un mapa de risc d'allaus seguint les definicions de PANIZZA (1987) li haurem de su-

perposar la vulnerabilitat socio-econòmica del territori.

Segons la idea de CASTLEIRO (1984) a partir de la vulnerabilitat podem obtenir dos tipus de mapes de risc:

D'una banda, partint del mapa de perillositat, es pot avaluar la vulnerabilitat de les diferents construccions antròpiques o de la presència humana a cada zona d'allau, obtenint així un mapa en què el risc de cada zona d'allau es dona en relació amb les altres. Es tractaria d'un mapa de comparació.

D'una altra banda, podem obtenir un mapa de risc a partir del càlcul de la pressió d'impacte que exerciria una allau sobre una determinada estructura i del càlcul del període de retorn.

En el nostre cas, tan sols és possible de realitzar un mapa del primer tipus atès que només fa 7 anys que es realitzen estudis i observacions sistemàtiques de les allaus al Pirineu català. Per tant, encara no tenim suficients dades i no ens és possible de calcular. A partir de l'enquesta a la població que es realitza, es pot tenir una idea aproximada de quins són els períodes de retorn de les allaus però no d'una forma suficientment exacta com per realitzar aquests tipus de mapes.

El mapa de risc que es presenta s'ha efectuat comparant la vulnerabilitat de les diferents zones d'allaus.

De tota manera, aquest mètode també presenta certs problemes, perquè a partir del mateix mapa de perillositat es poden realitzar infinits mapes de risc, tot depèn dels objectes vulnerables que es tinguin en compte. Serà molt diferent confeccionar un mapa de risc des del punt de vista econòmic, en el qual els objectes més vulnerables són aquells la destrucció dels quals pot produir més pèrdues econòmiques, que el confeccionat des del punt de vista social en què l'objecte més vulnerable és l'home.

Així, doncs, per fer un mapa de risc s'ha de tenir molt clar què és el que es pretén ob-

tenir, per triar correctament els paràmetres vulnerables.

En el mapa que presentem, hem intentat triar els paràmetres de forma que el mapa que s'obtingui reflecteixi els riscos d'una o diverses persones a morir atrapades per una allau.

Per confeccionar el mapa s'ha creat una escala de paràmetres (taula II) a cadascun dels quals s'ha associat un valor numèric relatiu. A cadascuna de les zones d'allaus del mapa s'ha identificat la presència d'aquests paràmetres i s'han anat sumant els valors numèrics associats. Si la suma és major o igual a 5 es considera que el risc és alt. Entre 3 i 4, risc mitjà, i 2 i inferior a 2, risc dèbil. On no s'han localitzat zones probables d'allaus el risc és nul.

En el mapa obtingut, es reconeixen quatre

sectors que presenten alt risc: al sector A (fig. 8) les allaus arriben fins al fons de la vall principal, els situats al vessant est afecten un camí que puja al refugi de muntanya de la vall Ferrera molt transitat a l'hivern i a diverses bordes, els del vessant oest els camps de cultiu que queden més a prop d'Àreu i poden fins i tot travessar a l'altre cantó de la vall i arribar a fer una presa al riu. Als sectors B i C les allaus afecten diverses travesses d'esquí de muntanya força transitades. En el primer cas, se'n coneixen víctimes. Les allaus del sector D afecten una carretera forestal que va a Andorra, també força transitada, fins i tot, al mig de l'hivern.

El mapa obtingut és d'utilitat limitada per a un excursionista, perquè no li diu quines allaus tenen un període de retorn més curt, és a dir, quina allau té més probabilitat de

9	POBLES, REFUGIS D'ALTA MUNTANYA Villages, high mountain hostels.
4	CARRETERES OBERTES AL TRÀNSIT HIVERNAL Opened routes during winter
3	CAMINS DE MUNTANYA MOLT TRANSITATS EN ÈPOCA HIVERNAL O A LA PRIMAVERA (ex. GR4) Transited ways during winter or spring (ex. GR4)
3	PISTES FORESTALS Forest path-ways
2	BORDES, ERMITES O ALTRES CONSTRUCCIONS AÏLLADES Isolated constructions
1	CAMÍ DE MUNTANYA POC O GENS TRANSITAT A L'HIVERN Non transited ways during winter
1	LÍNIA ELÈCTRICA Electric lines
1	BOSCOS Forest
1	CAMPS DE CONREU I/O PASTURES Cultivated lands

TAULA II. Escala de valors de vulnerabilitat utilitzats per confeccionar el mapa de risc d'allaus.

Leader of vulnerability values used to make the risk map.

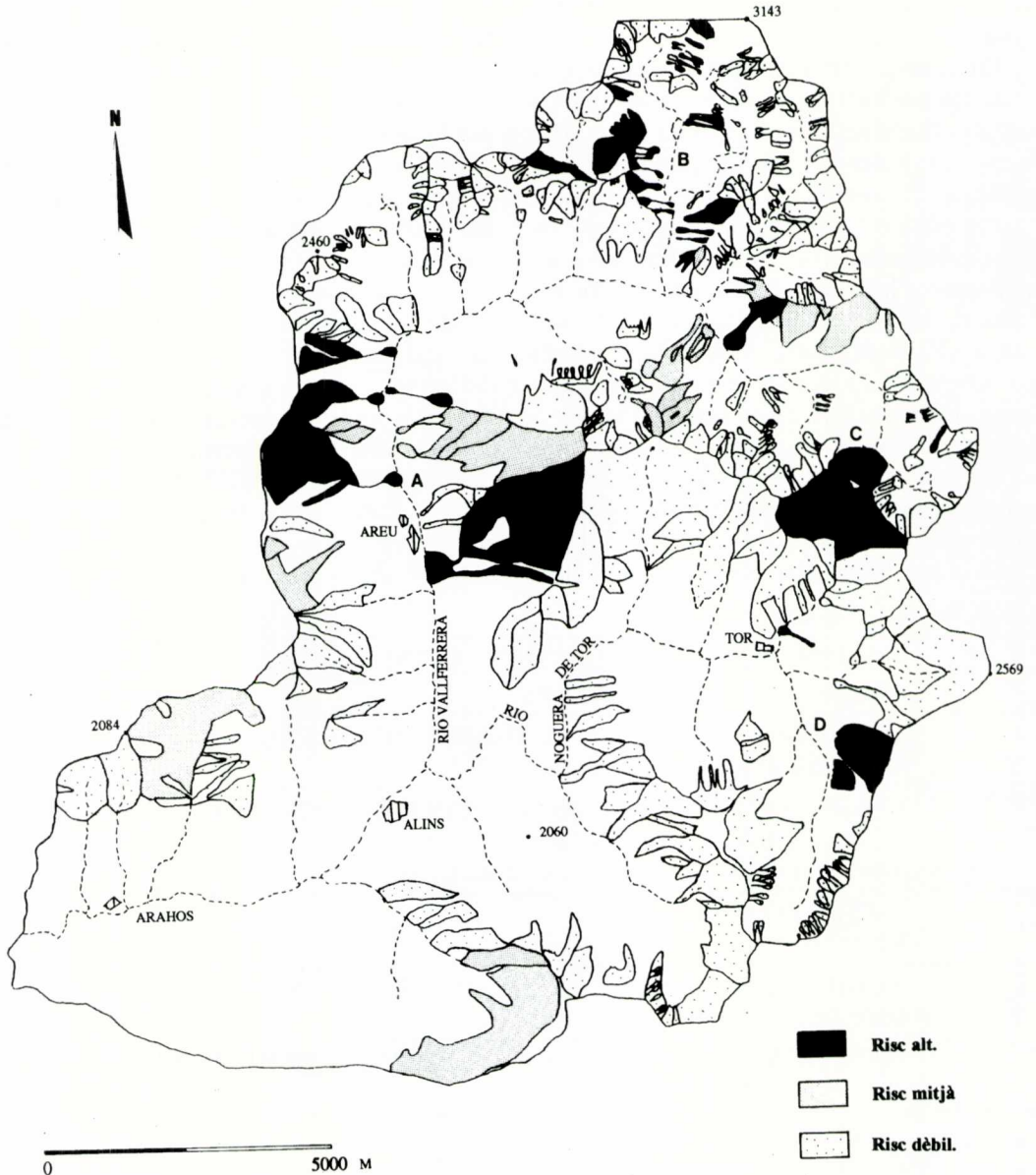


FIG. 8. Mapa de risc d'allaus de la vall Ferrera.

Avalanche risk map.

baixar quan ell està fent la travessa, li indica, però, en quines zones del seu itinerari hi ha perill d'allaus.

De tota manera, és força útil a l'hora de planificar mesures de protecció o prevenció perquè indica quines allaus poden produir els majors danys (zones d'allaus amb risc alt). Delimita, doncs, les zones prioritàries en què cal efectuar actuacions concretes en matèria de defensa.

Efectes geomorfològics de les allaus

Fins ara hem tractat les zones d'allaus analitzant la seva morfologia i obtenint-ne un mapa de risc. Però la informació obtinguda ens ha significat una bona oportunitat per estudiar el paper erosiu i d'acumulació de les allaus. Ho hem fet en el que s'anomenen conques de dinàmica mixta nivotorrencial.

Diversos són els exemples de conques d'aquest tipus a la vall Ferrera. En elles s'alternen els processos de dinàmica nival a l'hivern i a la primavera amb els processos de caire torrencial en els quals l'aigua és l'agent principal de transport. Aquestes conques acaben en una zona d'acumulació o con de dejecció.

En elles, la dinàmica de l'aigua és clara (VILAPLANA 1983-1990, BOURGEAT 1990, PEIRY, 1990, MEUNIER 1990, NEIBOT- GUILHOT 1990), es tracta de veure quina és la contribució de les allaus en la formació d'aquests cons de dejecció. A voltes, fins hi tot se'ls ha anomenat cons d'allaus, quan es considera que són formats per l'aportament de sediments per part de les allaus.

Per exemple, PEIRY (1990) diu que en l'evolució dels cons de dejecció hi ha dues fases ben característiques: la primera en què es produeix una concentració de sediments als canals de la conca, i la segona en què

aquests sediments són transportats fins al con. Pensa que les allaus, a causa de la gran energia que alliberen, constitueixen un agent de transport molt més eficaç que no pas les aigües provinents de la fusió del mantell nival.

HETU (1990) dóna a les allaus un paper important, creu que les allaus de fons, és a dir les que afecten la tot el gruix del mantell, poden arrossegar blocs de la formació superficial. No creu, però, que tinguin capacitat per erosionar la roca mare. Descriu allaus que en la formació superficial han deixat petites canals (5 a 20 cm) vorejades per «levees» i acabades aigües avall per acumulacions en forma de ventall.

En aquest treball hem intentat conèixer el paper de les allaus en la formació dels cons de dejecció, abordant l'estudi des de dos punts de vista. El primer, analitzant les característiques de les capçaleres de les diferents conques tot comparant-les amb diferents paràmetres dels cons de dejecció. I el segon, a partir d'una aproximació sedimentològica dels dipòsits que formen aquests cons.

Anàlisi de les capçaleres

Per efectuar l'estudi hem pres 10 de les conques de dinàmica mixta nivotorrencial que se situen en el primer tram de la vall Ferrera. Totes elles tenen una alçada mitjana similar i unes característiques d'innivació similars (fig. 9). A les capçaleres d'aquestes conques s'han quantificat diferents paràmetres intrínsecs:

- Superfície total de la conca en Km².
- Superfície del con en Km².
- Relació entre la superfície del con i la superfície de la conca.
- Superfície de la conca amb vegetació. En Km² i %.

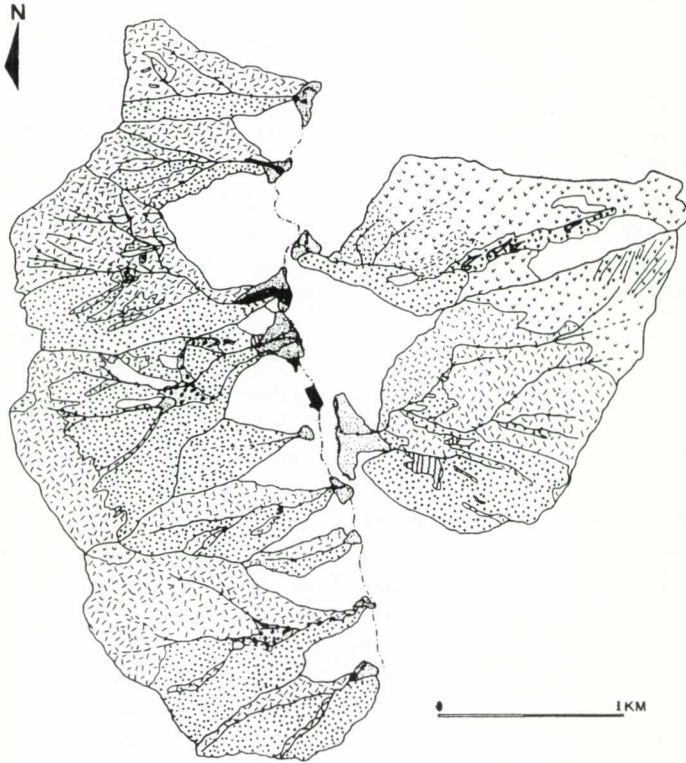








FIG. 9. Esquema geomorfològic de les conques de dinàmica mixta nivotorrencial.



Basin geomorphological diagram.

DIPÒSITS GLACIALS



Tills de fàcies recognizable.

-  Till d'acreciment.
-  Till basat de fusió.
-  Seqüència bipartida acreixement/fusió.
-  Till de fàcies indeterminada.
-  Dipòsits de glacera rocallosa.
-  Blocs glacials.

DIPÒSITS NO GLACIALS INDUÏTS PER LA PRESENCIA DE LA GLACERA.







-  Dipòsits proglacials.
-  Dipòsits juxtaciacials.

RETRBALLAMENTS.


-  Formacions al·luvials.
-  Formacions de vessant.

GLACIAL DEPOSITS



Recognized tills.

-  Accretional till.
-  Subglacial till.
-  Accretional/subglacial sequence.
-  Indetermined till.
-  Rock glacial deposit.
-  Individual glacial blocks.

NON GLACIAL DEPOSITS INDUCED BY THE GLACIER.

-  Proglacial deposit.
-  Juxtaciacial deposit.

REWORKED DEPOSITS.

-  Alluvial fans.
-  Deposits from the valley side.

- Superfície de la conca sense vegetació. En Km² i %.
- Altitud màxima.
- Altitud mínima.
- Altitud mitjana.
- Desnivell.
- Orientació general de la conca.
- Disponibilitat dels sediments en la conca.
- Allaus al con.
- Orientació dels vessants en %.
- Pendents en %.

I s'ha efectuat un mapa de vegetació, un mapa d'orientacions del vessant i un de pendents (MASES 1991). En la taula III podeu observar, d'una forma resumida, els paràmetres quantificats.

Aquests paràmetres s'han comparat amb la mida de la superfície del con. Hem observat que la grandària dels cons guarda una proporcionalitat directa amb la grandària de la conca de drenatge (a partir del càlcul de la relació superfície del con/superfície de la

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SUPERFÍCIE TOTAL DE LA CONCA Km ²	1.26	4.61	0.41	1.46	0.7	5.1	4.55	1.62	4.83	8.21
SUPERFÍCIE DEL CON Km ²	0.045	0.04	0.03	0.045	0.02	0.19	0.15	0.05	0.08	0.27
SUP CON/SUP CONCA	0.03	0.008	0.07	0.03	0.028	0.03	0.03	0.03	0.016	0.03
SUPERFÍCIE DE LA CONCA AMB VEGETACIÓ %	0.96	1.39	0.21	1.14	0.7	2.87	2.15	0.44	0.8	2.56
SUPERFÍCIE DE LA CONCA SENSE VEGETACIÓ %	76.1	30	51.2	78	100	56.2	47.2	27.1	18.4	31.1
ALÇADA MÀXIMA	.3	3.22	0.2	0.32	0	2.23	2.4	1.18	3.94	5.65
ALÇADA MÍNIMA	23.9	70	48.8	22	0	43.8	52.8	72.9	81.6	68.9
ALÇADA MITJA	2051	2330	1942	2330	2000	2307	2345	2345	2897	2897
DESNIVELL	1099	1210	1210	1200	1260	1280	1300	1400	1320	1180
ORIENTACIÓ GENERAL	1575	1770	1576	1765	1630	1793	1822	1872	2108	2038
SEDIMENTS DISPONIBLES	952	1120	732	1130	740	1027	1045	945	1577	1717
ALLAUS AL CON	E	E	E	E	E	E	E	E	W	W
ORIENTACIÓ DELS VESSANTS		si				si			si	
PENDENTS.	no	no	no	no	no	no	si	si	si	si

TAULA III. Resum dels paràmetres calculats a les conques de dinàmica mixta nivotorrencial. Superfície total de la conca (Km²). Superfície del con (Km²). Relació superfície del con/superfície de la conca. Superfície de la conca amb vegetació. Altitud màxima. Altitud mínima. Desnivell. Orientació general. Sediments dipositats. Con generat per l'allau. Orientació del vessant. Desnivell.

Parameters observed in the basins. Basin total surface (Km²); Fan surface (Km²); Fan surface/basin surface; Basin surface with vegetation; Maximal high; Minimal high; Delevel; General orientation; Available sediments; Fan riched by the avalanche; Slope orientation; Delevel.

conca). Excepte en tres casos. En el cas de la conca que té un con proporcionalment més gran, s'ha observat que els pendents de la capçalera també són proporcionalment més grans.

En el cas de les conques amb cons petits no s'ha trobat diferències substancials en cap dels paràmetres observats. La manca de superfície del con podria ésser deguda al fet que la vall principal, a l'altura dels dos ventalls, s'estreny considerablement i no permet que el con es desenvolupi en tota la seva màxima extensió.

De tota manera, no ha estat possible de determinar cap relació entre l'activitat d'allaus i la grandària del con.

Els sediments dels cons de dejecció

En 5 dels cons de dejecció de les anteriors conques de dinàmica mixta nivotorrencial han estat estudiats els sediments amb la finalitat de veure si aquests corresponen al tipus de flux de colades de fang i pedres, o bé es podia observar alguna característica que ens fes pensar que les allaus de neu hi podrien contribuir aportant material.

En general, els sediments estudiats tenen una matriu llimo-argilosa, amb clasts molt heteromètrics, força angulosos i amb una fàbrica totalment desordenada (són suportats tant per clasts com suportats per la matriu). Els diferents nivells reconeguts tenen una potència que oscil·la entre 20 i 150 cm. Alguns nivells presenten una base erosiva, fet que indica una certa turbulència durant el transport.

En principi, les característiques dels sediments, la potència dels nivells i la seva base erosiva, fan pensar que es tracta de sediments provinents de fluxos d'origen hídric i del tipus corrents i/o allaus d'arrossegalls terrígens produïts durant episodis de pluges

torrencials. A la bibliografia no s'ha trobat cap descripció de sediments formats estrictament per allaus. Però a causa de la poca quantitat de material terrígen que normalment apareix barrejat amb la neu sedimentada per les allaus, es pensa que les allaus no poden acumular nivells de la potència dels estudiats.

Conclusions

— Els criteris d'identificació de les zones d'allaus que fan referència a la vegetació són els que donen més informació.

— En la confecció del mapa de «Localització Probable de Zones d>Allaus» s'han definit i delimitat totes les zones probables d'allaus que es troben, de forma generalitzada, a tota la conca ocupant, aproximadament, un 25 % de la seva superfície, sempre per sobre de la cota de 1.150 m.

— S'han classificat les zones d'allaus en funció de la seva morfologia en 54 grups de zones d'allaus que, alhora, s'han agrupat en 8 classes. A partir de l'anàlisi d'aquestes classes ha estat possible d'observar que existeix una dissimetria entre la meitat N i la meitat S de la conca pel que fa referència a la morfologia i desnivell de les zones d'allaus.

— La morfologia i morfometria de les zones d'allaus són producte de l'adaptació al modelatge preexistent.

On es van modelar circs glacials ben caracteritzats, les allaus es desenvolupen a les parets d'aquests i són de poca magnitud i poc recorregut. Mentre que on es van modelar petites conques nivotorrencials les allaus s'adapten a aquesta morfologia i són de major magnitud i recorregut que les anteriors.

— Tant els paràmetres estudiats a les capçaleres de les conques de dinàmica mixta nivotorrencial com les característiques sedimentàries dels cons de dejecció fan pensar

que la contribució de les allaus a la formació d'aquests cons és poc rellevant.

— A partir del mapa de risc realitzat, s'observa que les allaus que presenten major risc són aquelles que afecten accessos a poblacions i itineraris d'esquí de muntanya, però no necessàriament són les allaus de major magnitud o perillositat.

Agraiments

Aquest treball va ser possible gràcies al finançament del Servei Geològic de Catalunya, organisme que porta a terme el projecte «ESTUDI DEL RISC D'ALLAUS AL PIRINEU DE CATALUNYA» i a la subvenció del projecte AMB93-0837 de la CICYT.

Bibliografia

- BOSCH, X., FURDADA, G., VILAPLANA, J.M. 1989. Los programas de predicción de riesgo de aludes. Justificación, fundamentos precedentes y situación actual. *Ponencias y comunicaciones del encuentro internacional catástrofes y sociedad. Fundación MAPFRE/ITSEMAP* (ed.) 233-248.
- BOSCH, X. & VILAPLANA, J.M. 1988. Evolución del manto nival y riesgo de aludes en el Pirineo Catalán. *II Simposio Laderas inestables*. Andorra, 13-24.
- BOURGEAT, S. 1990. Eboulements et écroulements dans bassin-versant du Veneon. *Revue de géographie Alpine. Catastrophes naturelles récentes dans les Alpes*. LXXVIII 11-24.
- BRU, M. 1985. Estudi geomorfològic d'un sector del Pirineu central (vall Ferrera i vall de Cardós). *Tesi de doctorat del Departament de Geografia de la Facultat de Geografia i Història de la Universitat de Barcelona*. Inèdita.
- CEMAGREF. 1981. Plan des zones exposées aux avalanches. *Ministère de Agriculture*. France.
- CASTEIRO, M. 1984. Concepto de riesgo, su desarrollo histórico y tratamiento estadístico. *Apuntes del curso sobre riesgos de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Catalunya*.
- FURDADA, G., BOSCH, X. & VILAPLANA, J.M. 1989. Predicción de zonas con peligro de alud. Consecuencias socioeconómicas de la falta de planificación territorial. *Ponencias y comunicaciones del encuentro internacional catástrofes y sociedad. Fundación MAPFRE/ITSEMAP* (Ed.) 249-264.
- FURDADA, G. & VILAPLANA, J.M. 1988. Mapa de localització probable d'allaus. Atlas de zones probables d'Allaus. *Universitat de Barcelona. Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia. Informe Intern*.
- HETU, B. 1989. La dynamique des éboulis schisteux au cours de l'hiver, gaspésie septentrionale. Québec. *Geographie Physique et Quaternaire*. 43 n 3, 389-406.
- MARTINELLY, M. 1974. Snow avalanche sites, their identification and evaluation. *U.S. Government Printing Office*.
- MASES, M. 1991. Estudi Geomorfològic de la dinàmica nival i risc d'allaus a la vall Ferrera (Pallars Sobirà). *Tesi de llicenciatura inèdita. Dept. de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la Universitat de Barcelona*. 129.
- MASES, M. & VILAPLANA, J.M. 1991. Zonas de aludes en la Vallferrera: clasificación y riesgo geomorfológico. *Pirineos*, 138-139.
- MEUNIER, M. 1990. La catastrophe du Grand Bornard: crue torrentielle du Borne le 14 juillet 1987. *Revue de géographie Alpine. Catastrophes naturelles récentes dans les Alps*. LXXVIII, 103-124.
- NEBOIT, R. & LAGEAT, Y. 1990. Dynamique rapide et modérée des versants supra-forestiers des hautes Tetra polonaises. *Revue de géographie Alpine. Catastrophes naturelles récentes dans les Alps*. LXXVIII, 250-280.
- PANIZZA, J. 1990. Geomorphological hazard assessment and the analysis of geomorphological risk. *International Geomorphology*. Part I, 224-229.
- PEIRÉ, J. 1990. Les torrents de l'Arve: dynamique des sédiments et impact de l'aménagement des bassins versant sur l'activité torrentielle. *Revue de Géographie Alpine. Catastrophes naturelles récentes dans les Alps*. LXXVIII. 25-57.
- RIBA, O., BOLÒS, O. de, PANAREDA, J. NUET, J. & GOSÀLBEZ, J. 1979. Geografia Física dels Països Catalans. *Ketres Editora S.L.*
- SERRAT, D. 1987. Estudio geomorfològic del Pirineu Oriental (Puigmal-Costabona). *Tesi Doctoral inèdita del Departament de Geomorfologia i Tectònica de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona*. 221 p.
- UNESCO. 1981. Avalanche Atlas. *Courvoisier, S.A. La Chaud-de-Fonds*.
- VILAPLANA, J.M., BOSCH, X. & FURDADA, G. 1989. Los aludes, un riesgo mal conocido. *Ponencias y comunicaciones del encuentro internacional catástrofes y sociedad. Fundación MAPFRE/ITSEMAP* (ed.). 201-216.
- VILAPLANA, J.M. 1983. Estudi del glacialisme quaternari de les altes valls de la Ribagorça. *Tesi doctoral del departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la Universitat de Barcelona*. 322.

VILAPLANA, J.M. 1990. Dinàmica dels vessants de l'alta muntanya i riscos geològics associats. En: *La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de*

Sant Maurici. Primeres Jornades sobre Recerca. Generalitat de Catalunya. Direcció General del Medi Natural. 45-53.