

Estimacions hidrològiques i de moviment de sediment a la riuada del 7 d'Agost de 1996 a la conca del Barranco de Arás (Pirineu aragonès)

RAMON J. BATALLA¹ i MARIA SALA²

¹ Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida, Alcalde Rovira Roure 177, 25198 Lleida

² Departament de Geografia Física, Universitat de Barcelona, Baldiri i Reixac s/n, 08028 Barcelona

RESUM

L'avinguda al Barranco de Arás a la vall de Biescas és un esdeveniment hidrològic de caràcter extrem de tipus catastròfic, amb un període de recurrència superior als 1000 anys. Es va produir com a conseqüència d'una tempesta plujosa associada al pas d'un front fred pel Pirineu central el 7 d'agost de 1996. La tempesta va descarregar 200 mm h⁻¹ al fons de la vall de Biescas i 500 mm h⁻¹ a Betés, el nucli de la tempesta, quantitats que corresponen a períodes de recurrència aproximats de 100 i 500 anys respectivament.

Es poden identificar dos factors com a responsables de la magnitud de l'avinguda: a) la baixa impermeabilitat del sòl degut a la gran quantitat d'aigua que s'havia anat acumulant per les pluges anteriors immediates, que va produir un augment important de l'escolament superficial i b) els forts pendents d'aquest torrent de muntanya, que van provocar un drenatge de l'aigua molt ràpid amb velocitats estimades de progressió de l'avinguda superiors als 7 m s⁻¹. Pel que fa a la contribució de les subconques al cabal de l'avinguda, la del Barranco de Betés va aportar no més del doble la conca del Barranco de Aso, com a resultat d'una intensitat de precipitació també més elevada. En concret, la primera representa el 20% de la superfície de la conca i va contribuir amb un mínim del 60% del volum total d'escolament al pic de la crescuda, amb un cabal màxim específic de 85 m³ s⁻¹ km⁻².

La competència del torrent va ser suficient per mobilitzar blocs de fins a 10 metres, com a conseqüència de tensions de tall de 10000 Pa en el canal de Betés durant el pic de la crescuda. La quantitat mínima estimada de sediment fi evacuat de la conca es calcula de l'ordre de les 100.000 tm. La taxa de transport de fons va assolir valors al de 300 kg m⁻¹ s⁻¹ durant el cabal màxim de l'avinguda.

Paraules clau: Conca de muntanya. Avinguda catastròfica. Torrencialitat. Competència. Transport sòlid.

SUMMARY

During 7 August 1996 a summer thunderstorm with rainfall intensity up to 500 mm h⁻¹ occurred over the 18 km² Arás drainage basin, a mountainous torrent tributary of the Gállego river in central Pyrenees. The resultant flood peak was of the order of 500 m³ s⁻¹, a thousand-year return period discharge for the area. As a consequence, the campground located on the alluvial fan at the torrent outlet was flooded with seven-hundred people inside, causing eighty-six people death and many injured, damage on properties and great social impact.

Two physical factors can be identified as main responsible for this high magnitude and low frequency event: i) the low permeability of the soil due to high moisture content caused by an unusual rainy season, which resulted in large excess of quick surface runoff and ii) in-channel high steep slopes up to 20%, which caused flood waves at estimated velocities of 7 m s⁻¹. The most active storm-cell was located in the headwaters Betés subbasin, which represents 20% of the catchment area but contributed 60% of the peak discharge. Specific maximum discharge in the Betés basin reached 85 m³ s⁻¹ km⁻². Mobilisation of sediment from stream bed and footslopes was also extremely high.

The competence of the torrent was enough to entrain rocks up to 10 m size in some reaches, under shear stress of 10000 Pa. A minimum of 100,000 tm of coarse and fine sediment was exported out of the Arás basin, part of it stored in a series of check-dams located in the lower reaches of the torrent, part eroded from bed and banks in the drainage net. Estimated bedload transport rate at the peak discharge has been estimated around 300 kg m⁻¹ s⁻¹, three orders of magnitude higher than those recorded in mountainous torrents in the Catalan Coastal Ranges during floods.

Keywords: Mountain torrent. Catastrophic flood. Antecedent conditions. Flow-competence. Coarse and sediment transport.

INTRODUCCIÓ

La tarda del 7 d'Agost de 1996 una tromba d'aigua va provocar la riuada del Barranco de Arás, afluent del riu Gállego, prop del poble de Biescas al Pirineu Aragonès. L'avinguda va assolir cabals de l'ordre dels 500 m³ s⁻¹ i va arrossegar una gran quantitat de fang i pedres, a més a més de provocar petites esllavissades. L'àrea més afectada va ser l'ocupada pel càmping 'Las Nieves' situat en el con de dejecció del barranc on, en el moment de la catàstrofe, hi havia instal·lades al voltant de 700 persones. L'aigua va arrossegar campistes, tendes, caravanes i vehicles alguns dels quals varen ser trobats molts quilòmetres aigües avall, ja en el riu Gállego. Tot plegat va provocar la mort de vuitanta-sis persones, a més a més de molts ferits, destrosses materials i un gran impacte social.

El treball que presentem a continuació és un recull d'estimacions hidrològiques basat en observacions realitzades durant un reconeixement de camp efectuat pels autors a la conca del Barranco de Arás el 19 d'Agost de 1996, i en diverses informacions aparegudes en la premsa els dies posteriors a l'avinguda. Tant la pròpia naturalesa del succés, com el fet d'haver de treballar amb valors mitjans, fa que les estimacions hidrològiques i de transport sòlid realitzades només puguin ser considerades com a aproximacions als ordres de magnitud del fenomen.

DADES GENERALS DE L'ÀREA D'ESTUDI

Es presenten a continuació de manera resumida les característiques principals aigües amunt de la conca del Barranco de Arás, origen de l'avinguda que va afectar la vall de Biescas el 7 d'Agost de 1996:

- Superfície: 18 km²
- Subconques principals: Aso (8 km²) i Betés (4 km²)
- Litologia: Flysch i dipòsits morrènics
- Pendent mig del curs principal: 14% {2189m (màx.) - 830m (Gállego)}/ 10 km
- Cobertura: Bosc en la seva majoria (p.e. pi roig), pastures i conreus al fons de vall
- Poblament: Aso de Sobremonte, Yosa de Sobremonte i Betés (> 50 habitants)

El risc de riudades a la conca del Gállego on desemboca el Barranco de Arás es pot qualificar de nivell in-

termig-alt tant en el conjunt de la Península Ibèrica com en el Pirineu. Pel que fa a l'àrea concreta, la vall de Biescas està considerada com a punt conflictiu amb perill de pèrdua de vides humanes i destrosses materials, segons el mapa de zones de risc potencial d'inundació elaborat pel Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo l'any 1984 (Aguilera, 1986). La situació de la conca juntament amb els punts on es varen fer observacions de camp es poden observar a la figura 1.

És important assenyalar l'existència d'un canal artificial de drenatge en el tram final del curs del Barranco de Arás (foto 1), a més de petites presses de retenció de sediment aigües amunt. El canal de desguàs es va construir a finals del segle XIX i ha estat reformat en diverses ocasions al llarg del segle XX amb l'objectiu d'evitar el bloqueig de la carretera de Sabiñanigo a França pels blocs de pedra i per controlar les riudades que freqüentment tallaven la carretera. En aquest sentit cal remarcar que la capacitat de transport de sediment dels torrents de muntanya és un dels processos geomorfològics més actius en conques del Pirineu sobre flysch eocènic (García Ruiz & Puigdefàbregas, 1982). El darrer episodi important ressenyat es va produir el 29 de juliol de 1948 amb el resultat una víctima mortal. Entre 1940 i 1950 es van construir 42 dics de maçoneria i 72 esglaons. Les darreres millores varen finalitzar el 1965, feines que van incloure treballs de reforestació. El pendent del canal és del 10%,

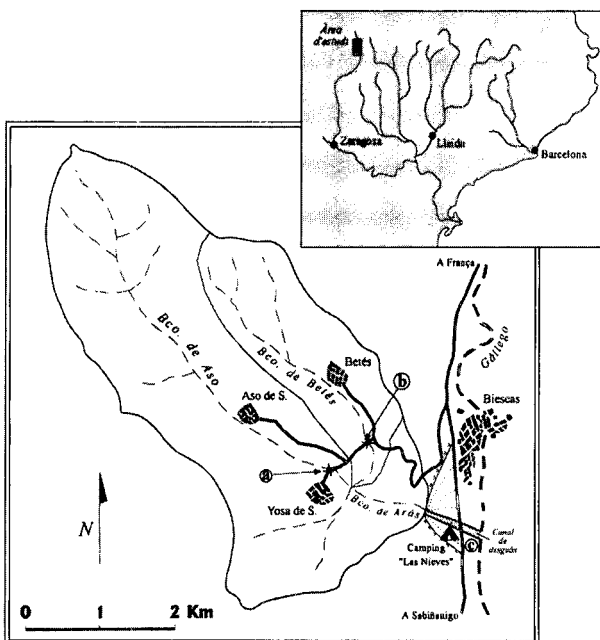


Figura 1.- Situació del Barranco de Arás i punts d'observació en el camp

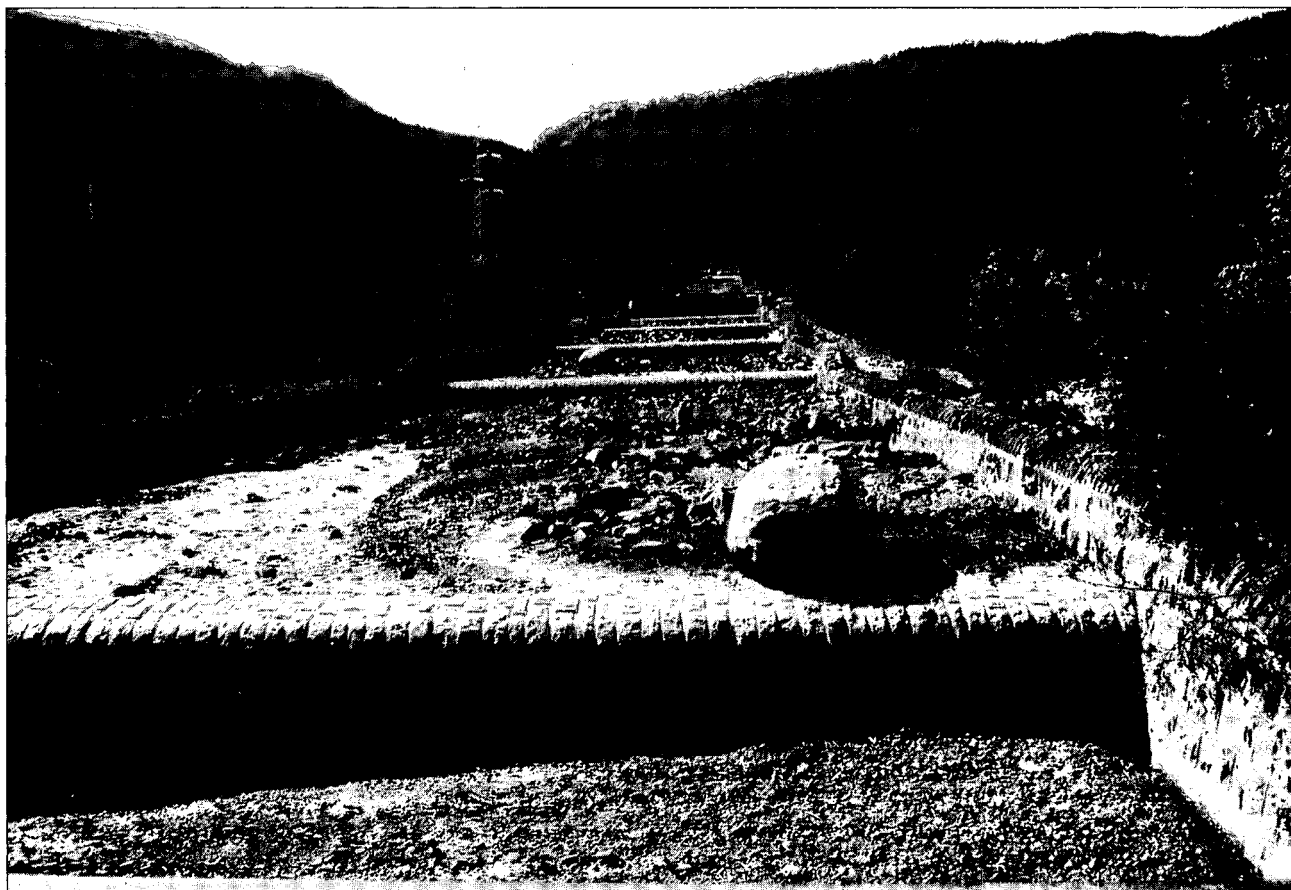


Foto 1.- Canal de drenatge construït en el tram final del Barranco de Arás i blocs transportats per la riuada del 7 d'Agost de 1996 (Punt c en la figura 1)

amb una secció d'entrada de 30 m² i una capacitat de drenatge estimada de 150 m³ s⁻¹, cabal que correspon a un període de retorn de 100 anys.

DADES METEOROLÒGIQUES DE L'EPISODI

La situació hidrològica de la conca del Barranco de Arás el dia de la tempesta estava caracteritzada per una situació de baixa impermeabilitat degut a la gran quantitat d'aigua que s'havia anat acumulant en el sòl per les pluges recents. Entre gener i juliol es varen recollir 860 mm de pluja a Biescas, un 30% més que la mitjana dels darrers quaranta anys (García Ruiz *et al.*, 1996).

La pluja que va afectar l'àrea va ser deguda a una tempesta estiuenca associada al pas d'un front fred que arribà al Pirineu Central el 7 d'agost al migdia. El gruix de la tempesta es va produir en el sector de Biescas. A pocs quilòmetres aigües amunt, a Sallent de Gállego, van caure 45 mm en tot el dia, mentre que aigües avall a Sabiña-

nigo en van caure 35 i a Jaca 32. La quantitat de precipitació mesurada al poble de Biescas, aigües amunt de la confluència del Barranco de Arás i el riu Gállego, va ser de 160 mm en 45 minuts, de la qual es pot deduir una intensitat aproximada de 210 mm h⁻¹. El període de recurrència que correspon a aquesta intensitat en aquesta àrea del Pirineu es situa entre 100 i 200 anys (Elías, 1979). La intensitat estimada de pluja al nucli de la tempesta (vall de Betés) oscil·la segons les informacions recollides entre 250 i 500 mm h⁻¹, amb un període de recurrència entorn de 500 anys (Elías, 1979).

PARÀMETRES HIDRÀULICS I ESTIMACIONS HIDROLÒGIQUES

En aquesta secció es presenten d'una manera resumida els paràmetres hidràulics i les estimacions hidrològiques realitzades a partir de treball de camp en el Barranco de Arás i a les dues subconques principals (Aso i Betés).

4.1. L'avinguda al Barranco de Aso (al pont destruït a Yosa de Sobremonte, aigües amunt de la confluència amb el de Betés, 1150 m s.n.m., figura 1, punt a)

4.1.1. Geometria hidràulica i velocitat del flux

- Pendent: 14%
- Fondària màxima del canal: 2,5 m
- Amplada del canal: 10 m
- Secció inundada aproximada: 25 m²
- Velocitat mitjana (per Manning): $(R^{2/3} \cdot s^{1/2})/n = (1,76^{2/3} \cdot 0,14^{1/2})/0,1 = 5,6 \text{ m s}^{-1}$

4.1.2. Pic estimat de l'avinguda

- Cabal: $25 \text{ m}^2 \cdot 5,6 \text{ m s}^{-1} = 140 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- Superfície de la conca: 8 km²
- Cabal específic: $17,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$
- Període de recurrència per l'àrea: <500 anys (segons Heras, a Junta d'Aigües 1994)

4.2. Característiques de l'avinguda al Barranco de Betés (dades al pont de la carretera a Aso de Sobremonte, 1200 m s.n.m., figura 1, Punt b)

4.2.1. Geometria hidràulica i velocitat de flux

- Pendent: 20%
- Fondària del canal: 5 m
- Amplada del canal: 9 m
- Secció inundada aproximada: 45 m²
- Velocitat mitjana (per Manning): $(R^{2/3} \cdot s^{1/2})/n = (2,2^{2/3} \cdot 0,20^{1/2})/0,1 = 7,6 \text{ m s}^{-1}$

4.2.2. Pic estimat de l'avinguda

- Cabal: $45 \text{ m}^2 \cdot 7,6 \text{ m s}^{-1} = 342 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

- Superfície de la conca: 4 km²
- Cabal específic: $85 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$
- Període de recurrència per l'àrea: >1000 anys (segons Heras, a Junta d'Aigües 1994)

4.3. Característiques de l'avinguda al conjunt del Barranco de Arás (àrea càmping, figura 1, punt c)

4.3.1. Pic estimat de l'avinguda

- Cabal: >500 m³ s⁻¹ (dades de la premsa)
- Cabal específic: >28 m³ s⁻¹ km²
- Període de recurrència per l'àrea: >1000 anys (segons Heras, a Junta d'Aigües 1994)

Segons les nostres estimacions, el pic de la crescuda podria haver arribat a un màxim instantani de l'ordre de 650 m³s⁻¹, a partir d'un coeficient d'escolament ponderat de 0,65¹ i una intensitat de la precipitació de 210 mm h⁻¹. El pic de la crescuda s'ha calculat mitjançant el Mètode Racional per avingudes en conques petites i homogènies i assumint un temps de concentració i de retard al pic negligibles:

$$Q = 0,278 CIA = 0,278 \cdot 0,65 \cdot 210 \cdot 18 = 680 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

on *C* és el coeficient d'escolament, *I* és la intensitat de pluja (mm h⁻¹) i *A* és l'àrea km²).

INTERPRETACIÓ DE LES DADES HIDROLÒGIQUES

Des d'un punt de vista de la magnitud de l'episodi, l'avinguda al conjunt del Barranco de Arás és un esdeveniment hidrològic de caràcter extrem de tipus catastròfic, amb un període de recurrència que supera probablement els 1000 anys². Es produeix com a conseqüència d'una tempesta plujosa amb un període de recurrència entre 100 i 200 anys si es calcula pel fons de la vall de Biescas. El període de recurrència d'aquesta mateixa pluja al nucli de la tempesta en la conca de Betés s'estima que es situa al voltant dels 500 anys.

¹ Coeficient compost a partir d'un valor de 0,5 per la conca de Aso i de 0,9 per la conca de Betés, valor assumible en conques petites i homogènies, episodis extrems i condicions anteriors de poca permeabilitat com la present (Dunne i Leopold, 1979).

Per situar el fenomen cal tenir en compte que quan va caure la pluja el sòl de la conca estava ja molt saturat degut a pluges anteriors immediates i, per tant, només va ser capaç d'absorbir una petita part de la pluja caiguda (probablement no més de 20 mm, menys del 10% del total caigut a Betés). El sòl, per tant, es va comportar com un terreny pràcticament impermeable durant l'hora i escaig que va durar la tempesta. Aquest fet, juntament amb els forts pendents, van provocar un drenatge molt ràpid amb velocitats estimades de progressió de l'avinguda en la xarxa de drenatge superiors a 5 m s⁻¹. Per tant, el temps de retard entre la intensitat màxima de la pluja i el pic de la crescuda no va superar probablement els vint minuts.

Per altre part, la contribució al pic la crescuda és força diferent per part de les dues subconques principals (Aso i Betés) que drenen l'àrea afectada:

- i) La conca del Barranco de Betés va aportar un cabal específic al pic de la crescuda no menys de 2 vegades superior a la conca del Barranco de Aso, com a resultat d'una intensitat de pluja també més elevada. En concret, la primera representa el 20% de la superfície de la conca i va aportar un mínim del 60% del volum total d'escolament al pic de la crescuda
- ii) La magnitud de l'avinguda al Barranco de Betés podria haver estat, fins i tot, d'un ordre de magnitud encara superior (?10000 anys), molt més elevada en qualsevol cas que la registrada a la conca del Barranco de Aso (>500 anys)

El canal artificial que drena les aigües a la sortida del Barranco de Arás (amb recollida inicial a la part superior del ventall al luvial on estava localitzat el càmping) era l'adequat per a drenar una avinguda amb un període de recurrència estimat de 100 anys. La seva eficiència, però, va ser desbordada per la magnitud de l'avinguda que provenia de Betés, i per l'arribada de blocs i troncs d'arbres provinents del trencament del trencament de les presses de retenció de sediment i del pont a Yosa de Sobremon-te. Un període de recurrència de 100 era probablement

suficient per evitar inundacions aigües avall en el moment de la seva construcció. La seva eficiència per minimitzar riscos de d'un punt de vista hidrològic va quedar superada, no obstant, en el moment de l'establiment de l'àrea d'acampada. El canal hauria d'haver estat capaç d'absorbir aleshores cabals amb un període de retorn entre 200 i 500 anys tal i es recomana per a obres que afecten activitats humanes (Junta d'Aigües, 1994).

Cal afegir, en aquest context, que les preses dels embassaments es dimensionen en previsió d'avingudes amb un període de retorn mínim de 500 anys. El significat físic d'aquests valors és, no obstant, dubtós, si tenim en compte la rapidesa dels canvis i les oscil·lacions del clima i, per tant, del comportament hidrològic de les conques. El seu càlcul, però, permet reduir el grau d'incertesa de les obres ja que proporciona un factor de seguretat elevat a les construccions (Dunne i Leopold, 1979).

TRANSPORT SÒLID

6.1. Material groller

A partir de la relació de Baker i Ritter (1975) per al càlcul de la competència del flux en paleocrescudes ($D_{\max} = 65 t_0^{0,54}$, on t_0 és la tensió de tall mitjana del flux), es pot estimar que la competència del torrent que drena la conca d'Arás durant l'avinguda va arribar fins a blocs de 5,5 metres en sectors de capçalera i, fins i tot, en sectors de conca mitjana i aigües avall. Aquest fet queda demostrat a la baixa per blocs testimoni de 2,5 metres (eix b) estacionats en el canal artificial del Barranco de Arás aigües amunt de la confluència amb el riu Gállego en l'àrea del càmping (foto 1). La tensió de tall mitjana al pic de la crescuda (al pont destruït de Yosa de Sobremon-te) va ser de

$$1050 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,8 \text{ m s}^{-2} \cdot 0,14 \cdot 2,5 \text{ m} = 3600 \text{ N m}^{-2} \text{ (Pa)}$$

i aplicant el criteri de Shields ($q_r = 0,056$), la tensió de tall crítica per a l'inici de moviment d'aquests dos blocs

² En casos com el que ens ocupa caldria parlar de probabilitat de risc d'accident més que no pas de període de recurrència. Un període de recurrència fa referència només a la freqüència mitjana amb la qual les avingudes ocorren. La crescuda de cada 1000 anys no és una crescuda que succeirà exactament d'aquí a 1000 anys ni tampoc al cap de 1000 anys del darrer episodi amb un període de recurrència de 1000 anys. Hi ha, doncs, un 0,1% de possibilitats que la crescuda de cada 1000 anys es produeixi en qualsevol any i, si succeeix aquest any, encara hi ha un 0,1% de possibilitats que torni a passar l'any vinent, a partir de:

$$Q = 1 - \{1 - (1/T)\}^n$$

on Q és el pic de l'avinguda i T és el període de recurrència igualat o superat en els propers n anys

seria aproximadament de 1500 Pa. Aquest valor s'ajusta a la tensió de tall mitjana estimada al pic de la crescuda, donat que la funció de Shields s'incrementa al disminuir la relació entre la fondària del flux i la rugositat del llit a partir de valors de 1 (Ashida i Bayazit 1973), com és aquest cas ($h/D < 1$, on h és la fondària del flux i D és la rugositat del llit representada pel material més groller).

Seguint el mateix criteri, la competència del flux aigües avall del poble de Betés (al pont de carretera a Aso de Sobremonte) podria haver arribat fins a blocs de 10 metres durant el pic de la crescuda (foto 2), a partir d'una tensió de tall mitjana de:

$$1050 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,8 \text{ m s}^{-2} \cdot 0,2 \cdot 5 \text{ m} = 10290 \text{ N m}^{-2} \text{ (Pa)}$$

A més a més el desbordament del torrent va destruir els murs de contenció de les terrasses de diferents camps de conreu. El flux d'aigua que va circular per sobre de les terrasses va arrossegar còdols del d'un metre de calibre i 500



Foto 2.- Mobilització de material al Barranco de Betés en el pont de la carretera a Aso de Sobremonte (Punt b en la figura 1)

kg de pes al llarg d'una distància de 50 metres (foto 3). Seguint el criteri de Baker i Ritter (1975), la competència del flux per transportar materials per sobre de les terrasses podria haver arribat a blocs de fins a 1,2 metres, per una tensió de tall mitjana de 800 Pa ($d = 0,8\text{m}$ i $s = 0,1$).

La tempesta va afectar també una petita conca de 2 km² que limita al sud amb la de Betés i que drena al Gàllego aigües amunt del poble de Biescas. L'arrossegament de material groller i el transport de sediment per la riuada en aquesta àrea varen assolir una magnitud similar a la del Barranco de Betés, tal i com s'observa a la foto 4.

6.2. Material fi

Per a l'estimació del mínim cabal de material fi durant l'avinguda assumirem que el flux d'aigua va mantenir un comportament de tipus newtonià al llarg de tot l'episodi, de manera que la concentració de sediment no va superar el 5% del fluid en pes. Partint d'aquesta premissa, el cabal mínim de material fi associat al pic de l'avinguda es pot calcular com:

$$680 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 50 \text{ kg m}^{-3} = 34000 \text{ kg s}^{-1}$$

resultats que permet estimar una producció total sediment de l'ordre de 100000 tm. Aquest valor s'adiu, en quant a ordre de magnitud, amb la quantitat de material fi sedimentat sobre el con de dejecció en l'àrea del càmping 3.

6.3. Recapitulació

A partir de les estimacions hidrològiques realitzades i assumint que la riuada va tenir les característiques d'avinguda més que no pas de crescuda es pot intentar reconstruir la seqüència hidrològica de l'episodi amb l'objectiu de derivar-ne taxes aproximades de transport de fons al pic de la crescuda.

Tal i com hem assenyalat anteriorment, la capacitat d'infiltració del sòl degué ser mínima a l'inici de la pluja i, per tant, l'escolament superficial es va incrementar ràpidament, assolint velocitats del flux superiors als 5 m s⁻¹. Probablement l'onada de la crescuda va trigar entre al voltant de 15 minuts arribar al pont de la carretera a Yosa de Sobremonte, període durant el qual es van anar acumulant sediment, pedres i troncs d'arbre aigües amunt (foto 5). Hem observat, d'altra banda, que el pont va rebenjar quan l'aigua ja el superava en una alçada aproximada de 2,5 m. El volum de material retingut durant els



Foto 3.- Còdols arrossegats per la riuada sobre camps de conreu en terrasses en la conca de Betés, aigües avall del poble de Betés



15 minuts que va resistir el pont abans del pic de l'avinçada es pot calcular com:

- Alçada: 8 m
- Amplada (w): 10 m
- Pendent: 14%
- Longitud de retenció: 60 m
- Volum estimat: $(8m \cdot 60m \cdot 10m) / 2 = 2400 m^3$

a partir del qual es pot calcular la taxa mitjana de transport de fons en el Barranco de Aso al pic de la crecuda com

- Densitat del material: $r_s = 2650 kg m^{-3}$
- Densitat submergida del material: $r_s' = 1650 kg m^{-3}$

Foto 4.- Transport sòlid i sedimentació en una petita conca afectada pel nucli de la tempesta, que limita al sud amb la de Betés i drena al Gállego aigües amunt de Biescas



Foto 5.- Pont destruït en la confluència del Barranco de Aso i la carretera a Yosa de Sobremonte (Punt a en la figura 1)

- Porositat del dipòsit: $h = 0,3$
- Densitat submergida del dipòsit: $r_b' = r_s'(1-h) = 1155 \text{ kg m}^{-3}$
- Interval fins la destrucció del pont: $t = 15 \text{ min} \cdot 60 \text{ s min}^{-1} = 900 \text{ s}$
- Volum del dipòsit: $\div = 2400 \text{ m}^{-3}$
- Taxa mitjana de transport de fons: $i_b = r_b' \div / t w = 310 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Aquesta és una magnitud de transport de fons molt elevada, quatre ordres de magnitud superior a les taxes obtingudes a la conca alta d'Arbúcies (Batalla, 1993) i a la conca de les Arenes en crescudes mitjanes (Martín Vide *et al.*, 1993), ambdues a les Serralades Costeres Catalanes. Tal i com s'ha assenyalat en la introducció, aquest fet es

pot explicar com a conseqüència de la gran força d'arrossegament de l'aigua sobretot en un torrent de muntanya amb forts pendents i quantitats importants de material disponible per a ser transportat. El material prové no només del propi llit del riu sinó també dels marges del canal i de la part baixa dels vessants propers (foto 6). A més a més cal tenir en compte la destrucció de les presses de retenció de sediment situades al llarg del curs final del Barranco de Arás, tal i com han indicat García Ruiz *et al.* (1996).

En resum, es poden assenyalat tres àrees principals com a font de sediment: a) el llit del riu que ha provocat fenòmens locals d'incisió al Barranco de Aso, aigües avall del pont destruït de la carretera a Yosa de Sobremonte, b) aportacions laterals per petites esclavissades i erosió local dels marges del canal fluvial al Barranco de Betés, aigües avall del poble de Betés, i c) destrucció de nombroses presses de retenció de sediments al tram final del Barranco de Arás.

³De les informacions de la premsa se'n dedueixen gruixos de sediment superiors a 1 metre sobre el ventall al·luvial i l'àrea del càmping (32000 m²)



Foto 6.- Erosió lateral en el canal de Betés

AGRAÏMENTS

Agraïm al Srs. Jordi Roca de la Universitat de Lleida i Xavier Ubeda de la Universitat de Barcelona la preparació de la figura 1 d'aquest treball.

BIBLIOGRAFIA

- AGUILERA, (1986): Mapa de puntos conflictivos por inundación en la España peninsular. Revista MOPU, marzo de 1986
- ASHIDA, K. i BAYAZIT, M. (1973): Initiation of motion and roughness of flows in steep channels. Internat. Association Hydraulic Research, Proc. 15th Congress, 1, 475-484
- BAKER, V.R. i RITTER, D.F. (1975): Competence of rivers to transport coarse bedload material. *Bulletin of the Geological Society of America*, 86, 975-978
- BATALLA, R.J. (1993): *Contribució del transport de sorres en el balanç de sediments d'una conca granítica mediterrània*. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona, 199 p.
- DUNNE, T. i LEOPOLD, L.B. (1979): *Water in environmental planning*. Freeman, San Francisco, 818p.
- ELIAS, F. (1979): Precipitaciones máximas en España. Servicio de Publicaciones Agrárias, Ministerio de Agricultura
- GARCIA RUIZ, J.M. & PUIGDEFÁBREGAS, J. (1982): Formas de erosión en el flysch eoceno surpirenaico. Cuadernos de Investigación Geográfica, 8, 83-126
- GARCIA RUIZ, J.M., WHITE, S.M., MARTÍ, C., VALERO, B., PAZ ERREA, M. & GÓMEZ VILLAR, A. (1996): *La catástrofe del Barranco de Aras (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Pirenaico de Ecología, Zaragoza, 54 p.
- JUNTA D'AIGÜES (1994): *Recomanacions sobre estimació d'avingudes màximes* Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Generalitat de Catalunya, 200 p.
- MARTÍN VIDE, J.P., ROSSELLÓ, R., & NIÑEROLA, D. (1993): *La avenida del 9 de septiembre de 1992 en la riera de las Arenas*. Universitat Politècnica de Catalunya