

*Dinàmica de l'acumulació
temporal de sediment fi al
llit del torrent de na
Borges (Mallorca)*

Joan Estrany

Universitat de les Illes Balears
Departament de Ciències de la Terra

Cels Garcia

Universitat de les Illes Balears
Departament de Ciències de la Terra

DINÀMICA DE L'ACUMULACIÓ TEMPORAL DE SEDIMENT FI AL LLIT DEL TORRENT DE NA BORGES (MALLORCA)

Joan Estrany
Celso Garcia

RESUM: Aquest article avalua la magnitud i variabilitat espaciotemporal de l'acumulació temporal de sediment fi al torrent de na Borges (319 km²), Mallorca, amb l'objectiu d'elucidar les causes dels problemes de sedimentació i contribuir a la construcció d'un balanç integrat de sediments. L'índex de la resuspensió de sediment fi a partir de l'agitació de l'aigua i el llit varià espacialment i temporalment, oscil·lant entre 0 i 13 kg m⁻², amb una mitjana de 2,4 kg m⁻², mentre que l'emmagatzematge total fou de 515,2 t i l'específic de 20,6 t km⁻¹. Aquests resultats foren comparats amb les exportacions de sediment en suspensió al llarg del torrent, i va resultar que les dinàmiques d'acumulació prevalgueren sobre les d'exportació per mor de les pèrdues per transmissió i la baixa energia condicionada per l'escàs pendent. Tot en un sistema fluvial amb baixa competència de transport com és na Borges, un riu mediterrani temporal on predominen les aportacions d'aigües subterrànies i afectat pels sistemes tradicionals de conservació dels sòls que limiten la transferència de sediments.

PARAULES CLAU: acumulació temporal de sediment fi als llits, predominança d'aigües subterrànies, sistemes combinats de sanejament, sistemes fluvials mediterranis, Mallorca.

ABSTRACT: This paper assesses the magnitude and spatial and temporal variability of fine-grained sediment storage in the main stem of the Na Borges River (319 km²) in Mallorca. The main aim is to elucidate the causes of sedimentation problems and contribute to the establishment of an integrated sediment budget. Estimates of channel storage obtained from the water and bed agitation procedure varied both spatially and temporally, ranging between 0 and 13 kg m⁻², with the average being 2.4 kg m⁻². The total amount of sediment stored on the channel bed was 164 t, whilst the mean specific bed sediment storage was 6.5 t km⁻¹. These results were compared with estimates of suspended sediment loads along the river and reflect a more active deposition than transport. The nature of stream-aquifer interactions in a low-energy, temporary Mediterranean river affected by traditional soil conservation practices, together with flooding and wastewater discharges, define the varying spatial and temporal channel bed storage conditions along the watercourse.

KEYWORDS: bed storage, groundwater dominance, sediment budget, combined sewer overflows, Mediterranean fluvial systems, Mallorca.

1. Introducció

La deposició i l'emmagatzematge temporal de sediment fi al llits dels rius són responsables d'un nombre destacat de problemes ambientals. L'increment de l'emmagatzematge o acumulació de sediment pot comportar nombrosos efectes nocius en els hàbitats aquàtics i és, per exemple, un factor important en els canvis generalitzats en les poblacions de macròfits (Clarke, Wharton 2001) i invertebrats (Scullion 1983). La recerca desenvolupada fins a dia d'avui en l'emmagatzematge de sediment en suspensió als llits dels rius destaca pel seu potencial i importància ja que sovint representa un component destacat dels balanços de sediments per a les conques de drenatge (Walling, Collins 2008). En molts casos, l'acumulació de sediment en localitzacions intermèdies dins d'una conca pot ser de magnitud similar o fins i tot excedir l'exportació de sediment en suspensió d'aquella conca (Walling et al. 1998). A més, una bona informació sobre la transferència de sediments i l'emmagatzematge és del tot necessària per implementar una gestió sostenible dels sistemes fluvials tenint en compte la imminent aplicació de la Directiva marc de l'aigua (Unió Europea 2000).

Els rius on predominen les aportacions d'aigües subterrànies són reconeguts per les seves aigües cristal·lines (Sear et al. 1999) atès que tenen baixes concentracions de sediment en suspensió provocades per aquestes aportacions d'aigua subterrània, que és lliure de sediment i permet la dilució del sediment en suspensió generat per les crescudes. Tot i això, el predomini d'aigües subterrànies als rius mediterranis es caracteritza per l'alternança estacional de cabals influents i efluents amb conseqüències directes en el règim de transport de sediment (Estrany et al. 2009a).

Recentment hi ha hagut un increment dels problemes de sedimentació en aquests rius que han provocat nivells de terbolesa molt superiors –particularment durant períodes de cabal base– amb la deposició d'importants quantitats de sediment fi als llits i marges, la qual cosa pot causar seriosos problemes d'anòxia que degraden l'hàbitat del canal (Menció, Mas-Pla 2008). La incertesa envolta les causes precises d'aquests problemes de sedimentació. Així, en alguns casos, s'han atribuït a la reducció del cabal causada per la sobreexplotació dels aqüífers, la qual cosa provoca una reducció de l'erosió del canal i de la seva capacitat de transport i incrementa, per tant, la deposició de sediment. Altres possibles causes involucren els canvis d'usos del sòl i provoquen un increment de la mobilització i transferència de sediment als canals i llits. Per afegitó, en ambients mediterranis els canvis d'usos del sòl dels darrers cinquanta anys estan protagonitzats per un increment del sòl urbà (Pons-Esteva 2000). Això ha implicat una sèrie de perills físics i biològics per mor de la naturalesa espasmòdica del règim fluvial urbà (Shaw 1994) que poden causar, entre altres coses, un increment de la mobilització i transferència de sediment als canals i llits. Qualsevol intent per avaluar la importància relativa d'aquestes causes potencials en l'increment de la incidència dels problemes de sedimentació en rius mediterranis on predomina l'aportació d'aigües subterrànies implica reconèixer l'absència de registres a llarg termini de transport de sediment que permetin valorar la magnitud dels canvis i una manca general d'informació sobre les exportacions de sediment en suspensió, les fonts de sediment predominants i les dinàmiques del sediment fi en aquests sistemes fluvials. A més, des del punt de vista del canvi global, les conques de drenatge mediterrànies sofreixen un major nombre de problemes ambientals ja que la pressió que l'home hi ha fet des de

temps immemorials dificulta el discerniment entre l'origen natural o antròpic del sediment en suspensió (Woodward 1995).

Amb aquest rerefons, els autors estan desenvolupant una línia de recerca d'ençà del 2004 a la conca del torrent de na Borges (Mallorca) amb l'objectiu d'establir un balanç d'aigua i sediments (Estrany, Garcia 2004). Es tracta d'una conca mediterrània on predominen les aportacions d'aigües subterrànies (Estrany et al. 2010) amb uns nivells clinomètrics baixos (pendent mitjà del 6%) i un ús del sòl majoritàriament agrícola tot i l'increment notable de l'ús urbà.

Aquest estudi pretén quantificar l'emmagatzematge temporal de sediment en suspensió al llit del torrent de na Borges, el qual fou analitzat al llarg del seu canal principal durant el període comprès entre novembre de 2004 i abril de 2005 amb l'objectiu final d'elucidar les causes dels problemes de sedimentació i contribuir a la construcció d'un balanç de sediments.

2. Àrea d'estudi

La conca del torrent de na Borges s'estén a la part nord-oriental de l'illa de Mallorca, i és la tercera conca en extensió, amb un total de 319 km² (fig. 1). El seu vessant sud-occidental drena les serres centrals i l'oriental, les serres de Llevant. Les altituds oscil·len entre els 300 i 500 msnm a les zones de capçalera on el pendent mitjà dels canals és del 8%. Aigües avall, el canal principal mostra un pendent mitjà molt suau (0,3%) al llarg dels 27 km fins a la desembocadura al mar a la platja de sa Canova, a la badia d'Alcúdia.

La geologia i geomorfologia de Mallorca es caracteritza per una topografia d'alternança de *horsts* i *grabens* que es configurà a partir d'un sistema de falles entre el Miocè superior i el Pleistocè inferior (Jenkins et al. 1990). A partir d'aquesta

caracterització, poden descriure's cinc unitats de relleu bàsiques a la conca de na Borges (fig. 1b):

1) Les serres centrals ocupen el vessant sud-oest de la conca. Són constituïdes per un relleu estructural suau compost per materials bàsicament calcaris amb una significativa complexitat tectònica. Aquests relleus es combinen amb grans àrees planes subsidents compostes per turbidites miocèniques que es disposen discordantment sobre el substrat deformat mesozoic-cenozoic.

2) Les serres de Llevant, les quals ocupen el vessant oest, formen una sèrie de muntanyes i turons construïts principalment per calcàries i dolomies juràsiques.

3) El pla de Son Pou és una depressió plana que ocupa la part central de la conca i que es compon de materials al·luvials del Quaternari suportats en una capa impermeable del Miocè inferior i mitjà.

4) La marina de Petra i el pla de Son Valls són plataformes tabulars esculloses del Miocè superior compostes per calcarenites i calcisiltites, materials recoberts per terra rossa i afectats per importants processos càrstics. La marina de Petra encercla el vessant nord-est de les serres de Llevant, fent que els tributaris que drenen aquesta part de la conca hagin incidit a la plataforma mitjançant falles E-O que han format canons càrstics (Silva et al. 2005).

5) El barranc de na Borges és un canó càrstic que també incideix a la plataforma però seguint falles normals de direcció NE-SO. A més, durant el Pleistocè, l'extrema aridesa reduí de manera significativa la cobertura vegetal i permeté un procés d'incisió fluvial molt actiu que, combinat amb processos càrstics, culminà amb la formació d'un llarg i profund canó càrstic (Rosselló 1964) que ocupa actualment els darrers 17,4 km del canal principal de na Borges amb més de 100 m d'incisió.

La interacció entre aigües superficials i subterrànies està determinada per les

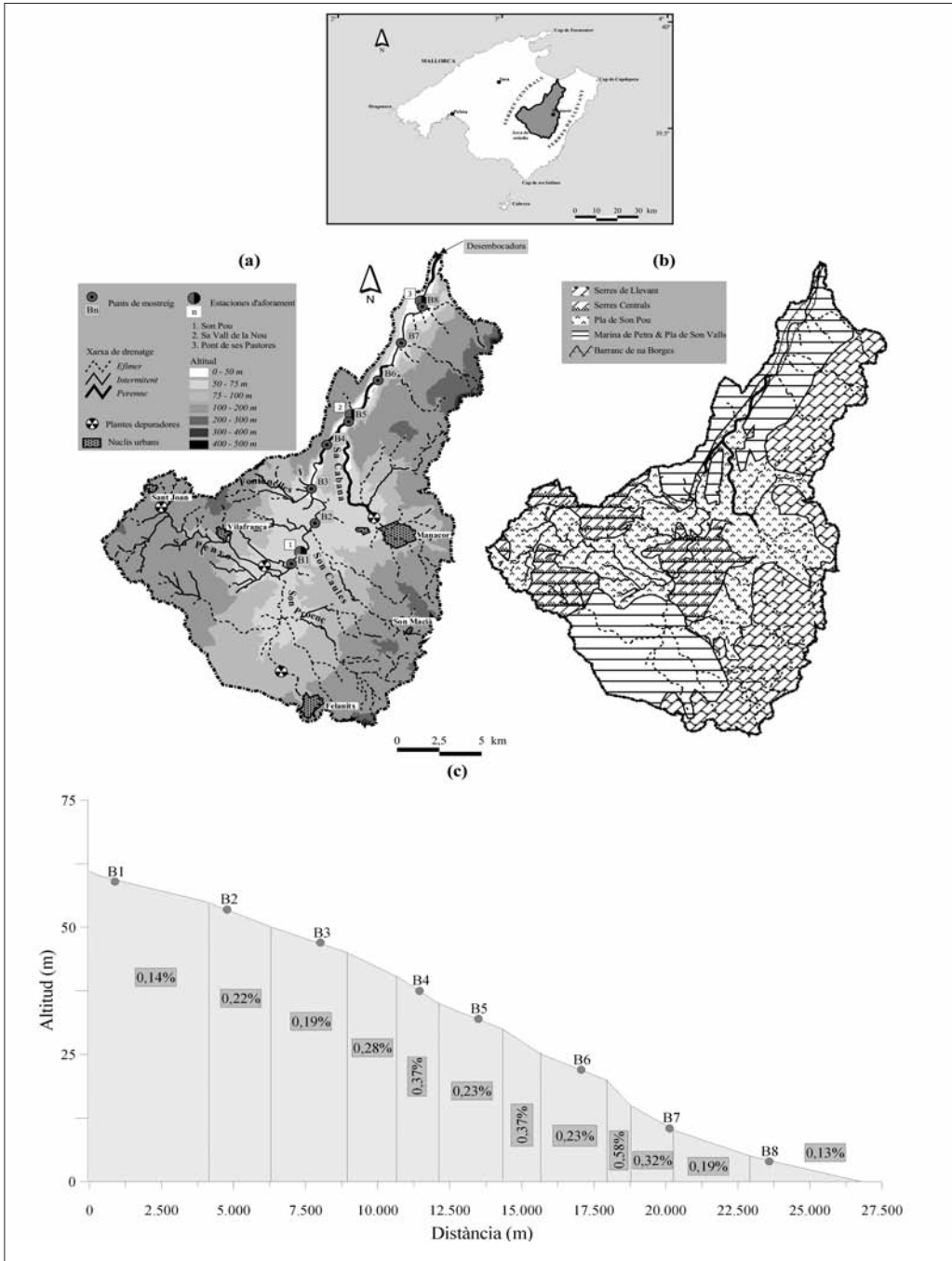


Fig. 1. Localització de la conca del torrent de na Borges a Mallorca. (a) Mapa de la conca de na Borges amb els punts de mostreig de l'emmagatzematge temporal de sediment en suspensió; (b) unitats de relleu, i (c) perfil longitudinal, pendent i punts de mostreig.

característiques hidrogeològiques i geomorfològiques juntament amb l'activitat antròpica, i en resulten diferents règims fluvials a la conca. Així, les zones de capçalera de totes les subconques i els tributaris que drenen les serres de Llevant i la marina de Petra són efímers perquè l'elevat grau de fracturació, fissuració i carstificació afavoreixen la infiltració i percolació a través d'aqüífers penjats no connectats als canals. Les àrees baixes i planes del pla de son Pou estan cobertes per sòls profunds desenvolupats en sediments al·luvials quaternaris suportats per una capa impermeable del Miocè mitjà i superior que forma un aqüífer superficial no confinat on el flux subterrani sosté un cabal influent però amb un règim intermitent per mor de l'elevada evaporació i baixa precipitació durant l'estiu. Alguns trams, a més, caracteritzats per un règim intermitent, poden convertir-se sobtadament en efímers a causa de canvis litològics que activen les pèrdues per transmissió. Aquest procés s'observa principalment als tributaris que drenen el pla de Son Valls (tributaris de Son Caules i Son Proenç), on el flux d'aigua no arriba al canal principal; tret que ocorre un episodi de crescuda important o durant anys molt humits. Els primers 5 km del barranc de na Borges presenten un règim perenne amb cabal influent alimentat per surgències càrstiques desenvolupades a la plataforma tabular escullosa del Miocè superior i suportats per la capa impermeable del Miocè inferior-mitjà. Aigües avall aquesta capa és progressivament substituïda pels sediments porosos del Miocè mitjà-superior. En conseqüència, les pèrdues per transmissió tenen lloc progressivament al llarg dels 12 km restants del barranc de na Borges, on diferents graus d'intermitència s'enregistren segons els esmentats canvis litològics i les condicions hidrometeorològiques dominants a l'àrea mediterrània.

El clima de na Borges està classificat com a mediterrani, i és subsec a la capçalera i subhúmit a les serres de Llevant. La precipitació mitjana anual pel període 1970-2006 fou de 571,6 mm, amb un coeficient de variació interanual del 25,9%. Les dades foren proporcionades per 12 estacions meteorològiques localitzades a la conca i gestionades per l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET). La tardor és l'estació més plujosa, seguida per l'hivern, la primavera i l'estiu. Les diferències topogràfiques i la disposició N-S de la conca produeixen un coeficient de variació espacial de la precipitació del 13,4%, amb un valor màxim al nord de 733,2 mm (serres de Llevant) i un mínim al sud de 506,7 mm (pla de Son Valls). Les tempestes d'intensitat elevada poden assolir els 150 mm en 24 hores amb un període de retorn de 50 anys, principalment a les muntanyes ja que el volum i la intensitat de precipitació es veuen reforçats pel relleu (Romero, Ramis 2002). La temperatura mitjana anual (1970-2006, segons dades de l'AEMET) és de 16,5 °C a Manacor (83 msnm).

La conca és predominantment rural, amb una població de 47.458 habitants el 2001. Més del 80% de la conca és explotada per l'agricultura de secà. A més, l'agricultura ha modificat les zones deprimides a través del drenatge subsuperficial assistit o albellonatge (Estrany 2009a). Aquesta actuació antròpica abasta un 12% de la conca majoritàriament al pla de son Pou i incrementa el cabal del torrent de na Borges des de l'aqüífer superficial no confinat format a la capa impermeable del Miocè inferior-mitjà. Les zones més abruptes són modificades per marjades i parats. El marjament és una pràctica aplicada i coneguda arreu, mentre que els parats normalment estan constituïts per una doble paret de pedra seca i construïts perpendicularment a les corbes de nivell ben enmig

dels tàlvegs dels canals efímers amb l'objectiu de laminar les crescudes espasmòdiques i retenir sediment. Les garrigues i zones forestals ocupen un 8 i un 5,3% respectivament, mentre que l'agricultura de reguiu representa un 4,5% i les àrees urbanes un 2% del territori. Una planta de tractament d'aigües residuals a la ciutat de Manacor (27.707 habitants, 2008) aboca un volum diari mitjà de 4.007 m³ (2006) d'aigües tractades al torrent tributari de sa Cabana, i genera un flux continu, el qual és subseqüentment abocat al tram perenne del torrent de na Borges. Als pobles de Vilafranca de Bonany (2.625 habitants, 2007) i Sant Joan (1.866 habitants, 2007) hi ha també dues plantes de tractament més petites que aboquen un volum d'aigües tractades sensiblement inferior (707 m³, 2006) al torrent tributari de sa Peña. Aquests volums d'aigües depurades tendeixen a contenir baixes concentracions de matèria orgànica i sediment en suspensió. Tot i això, Manacor i en menor mesura les altres dues viles, tenen un sistema combinat de sanejament en què les aigües brutes i les pluvials entren a la mateixa estructura de drenatge. Durant episodis de precipitacions intenses, la capacitat d'aquest sistema sol sobrepasar-se i els col·lectors es veuen desbordats, per la qual cosa aboquen les aigües al torrent a través d'aquest sistema combinat amb què es transfereixen quantitats importants de sediment fi al sistema fluvial.

3. Mètodes

3.1. Volum de sediment fi resuspès del llit del torrent

El volum de sediment fi resuspès al llit del canal principal del torrent de na Borges fou quantificat mitjançant un cilindre (Lambert, Walling 1988). Aquest equipament consisteix en un cilindre d'1 m d'altura i un diàmetre de 0,48 m construït amb

làmina d'alumini de 0,81 mm de gruixa. Quan el cilindre és introduït al llit del torrent, permet formar i mostrejar una àrea coneguda del canal de 0,18 m². D'aquesta manera, es mesura l'altura de l'aigua dins el cilindre per calcular el volum afectat. A continuació, s'agita vigorosament l'aigua i la superfície del llit contingut dins el cilindre amb una vara per resuspèndre el sediment fi emmagatzemat al llit del canal (fig. 2a). Mentre l'aigua encara està en moviment dins el cilindre, es recull manualment una mostra de sediment en suspensió de 500 ml que permetrà estimar la concentració mitjana de sediment després del procés d'agitació. Finalment, una segona mostra és recollida en una garrafa (5 l) mitjançant una bomba d'extracció (fig. 2b), la qual proporcionarà suficient sediment per dur a terme una selecció de propietats a través d'anàlisis de laboratori, els resultats de les quals no es presenten en aquest article.

Aquest procediment de mostreig fou repetit en vuit localitzacions al llarg del canal principal del torrent de na Borges en increments aproximats de 3 km i cobrint trams de pendent homogenis (fig. 1a i 1c). Es realitzaren sis campanyes de mostreig en condicions de cabal base entre el novembre del 2004 i l'abril del 2005, amb intervals de temps d'un mes.

Les concentracions de sediment a les mostres d'aigua ($C_s(t)$; kg l⁻¹) foren determinades per filtratge. Mentrestant, el volum de sediment resuspès al llit per unitat de superfície d'àrea ($B_r(t)$; kg m⁻²) fou calculat de la manera següent:

$$B_r(t) = \frac{C_s(t)W_v(t)}{A} \quad (1)$$

on $W_v(t)$ és el volum d'aigua dins el cilindre (1), el qual fou calculat a partir de l'altura de l'aigua dins el cilindre i la superfície d'àrea (A ; m²).



a



b

Fig. 2. Mostreig de l'emmagatzematge temporal de sediment fi. Els procediments de l'agitació (a) i la bomba d'extracció d'aigua (b).

3.2. Acumulació temporal de sediment fi al llit del torrent

Les estimacions de la mitjana de sediments fins resuspesos obtinguts als diferents punts de mostreig es van extrapolar per calcular la mitjana total d'emmagatzematge de sediments fins al llit del torrent. Amb aquest objectiu, el canal principal del torrent de na Borges fou dividit en trams definits pels diferents punts de mostreig, i les estimacions de l'acumulació temporal de sediments fins obtinguts pels punts de mostreig foren assumits com a representatius de cada tram al qual s'associen. L'emmagatzematge de sediment en aquests trams individuals es va calcular utilitzant la informació sobre longitud i amplada mitjana de cada tram obtinguda a partir de mesures de camp, dades combinades posteriorment amb l'estimació mitjana d'emmagatzematge de sediment fi obtingut pels trams individuals derivats com la mitjana dels valors corresponents als punts de mostreig en els dos límits del tram. Els valors d'emmagatzematge de cada tram individual foren sumats per proporcionar

una estimació de l'emmagatzematge mitjà total de sediment fi al llit del torrent. El càlcul es dugué a terme de la manera següent:

$$S_c(t) = \sum_{i=1}^n R_{bi}(t) W_{br} L_{br} k \quad (2)$$

on S_c és l'emmagatzematge total de sediment a l'àrea d'estudi; R_{bi} és el sediment resuspès al lloc i en temps t (kg m^{-2}); W_{br} (m) és l'amplada del llit del canal en cada tram r ; L_{br} és la longitud del canal en cada tram (m); i k és un factor d'escala adimensional. Els valors de W_{br} s'han basat en les mesures dutes a terme pels autors a cada punt de mostreig, mentre que els valors de L_{br} han estat extrets del Mapa topogràfic balear (Escala 1:5.000).

Per tal de descriure les variacions temporals de l'emmagatzematge de sediment fi al llit del torrent, es determinà el canvi net (pèrdua o addició) en l'emmagatzematge (S_v ; t) de la manera següent:

$$S_v(t) = [S_{ci}(t)] - [S_{ci}(t-1)] \quad (3)$$

on $S_{ci}(t)$ és l'emmagatzematge total de sediment al llit al lloc i en temps t i temps $t - 1$ (l'ocasió prèvia de mostreig). La primera mesura d'emmagatzematge (novembre) no pot ser directament incorporada a l'estimació de l'equació (3), ja que no hi ha una mesura per al mes anterior. No obstant això, i considerant que el llit està sec durant l'estiu, tot sediment emmagatzemat durant el període humit precedent és estabilitzat i endurit. Amb tot, el valor de novembre pot ser usat per calcular l'increment en l'emmagatzematge des del principi del període humit ja que aquest valor reflecteix el total del nou sediment acumulat des del reinici de l'escolament per damunt del sediment estabilitzat i endurit.

3.3. Determinació de la matèria orgànica

El contingut de matèria orgànica també fou determinat usant el procediment de pèrdua per crema. Pesades unes submostres (>1 g), aquestes foren assecades en estufa a 105 °C durant una nit. Posteriorment, foren repesades per ser cremades en un forn de mufla a 500 °C durant quatre hores. Així, el valor de pèrdua per crema fou expressat en valors relatius després d'haver assecat les mostres de bell nou a 105 °C.

4. Resultats i discussió

4.1. Context hidrològic

Per poder dur a terme una descripció acurada dels processos d'acumulació de sediment fi al llit del torrent de na Borges, la caracterització prèvia de les dinàmiques hidrològiques i de transport de sediment durant l'any hidrològic 2004-2005 és de gran utilitat.

La precipitació mitjana a la conca fou de 542 mm, valor que es pot considerar normal si es compara amb la precipitació mitjana a llarg termini (572 mm). Estacionalment, la precipitació es concentrà a la tardor amb un

55%, mentre que a l'hivern fou del 21%, a l'estiu del 20% i a la primavera del 4%. La fig. 3 mostra l'enquadrament temporal del desenvolupament de les campanyes de mostreig d'emmagatzematge al llit del torrent amb les diferents crescudes ocorregudes, campanyes desenvolupades sempre *a posteriori* dels episodis de crescuda. Es comptabilitzaren tres episodis de crescuda importants (novembre, desembre i febrer), els quals transferiren sediment al llit del torrent amb diferents condicions hidrològiques per mor de les diferents interaccions estacionals entre les aigües superficials i subterrànies, i es van combinar amb els impactes antròpics. A Estrany et al. (2009a) es proporcionen més detalls sobre la magnitud i la dinàmica del transport de sediment al torrent de na Borges.

4.2. Volum de sediment fi resuspès del llit del torrent

L'estimació de la resuspensió de sediment fi al llit del torrent a partir de l'agitació de l'aigua i el llit varià espacial i temporalment, oscil·lant entre 0 i 13 kg·⁻² (quadre 1). La mitjana per als vuit punts de mostreig fou de 2,4 kg m⁻². Aquests valors poden ser vinculats a una combinació de factors. La naturalesa de les interaccions canal-aquífer en un riu temporal mediterrani com na Borges juntament amb els abocaments d'aigües residuals provinents dels sistemes combinats de sanejament durant les crescudes defineixen les variables espacials i temporals de les condicions d'emmagatzematge al llit al llarg del canal principal del torrent. Per afegit, els baixíssims valors clinomètrics d'aquest canal principal (< 0,5%) fan que l'energia del flux sigui exigua i que afavoreixin els processos d'acumulació. Per tant, els diferents règims fluvials, la influència dels sistemes combinats de sanejament i el baix pendent fan que aigües avall no s'observi una tendència a l'increment de l'emmagatzematge.

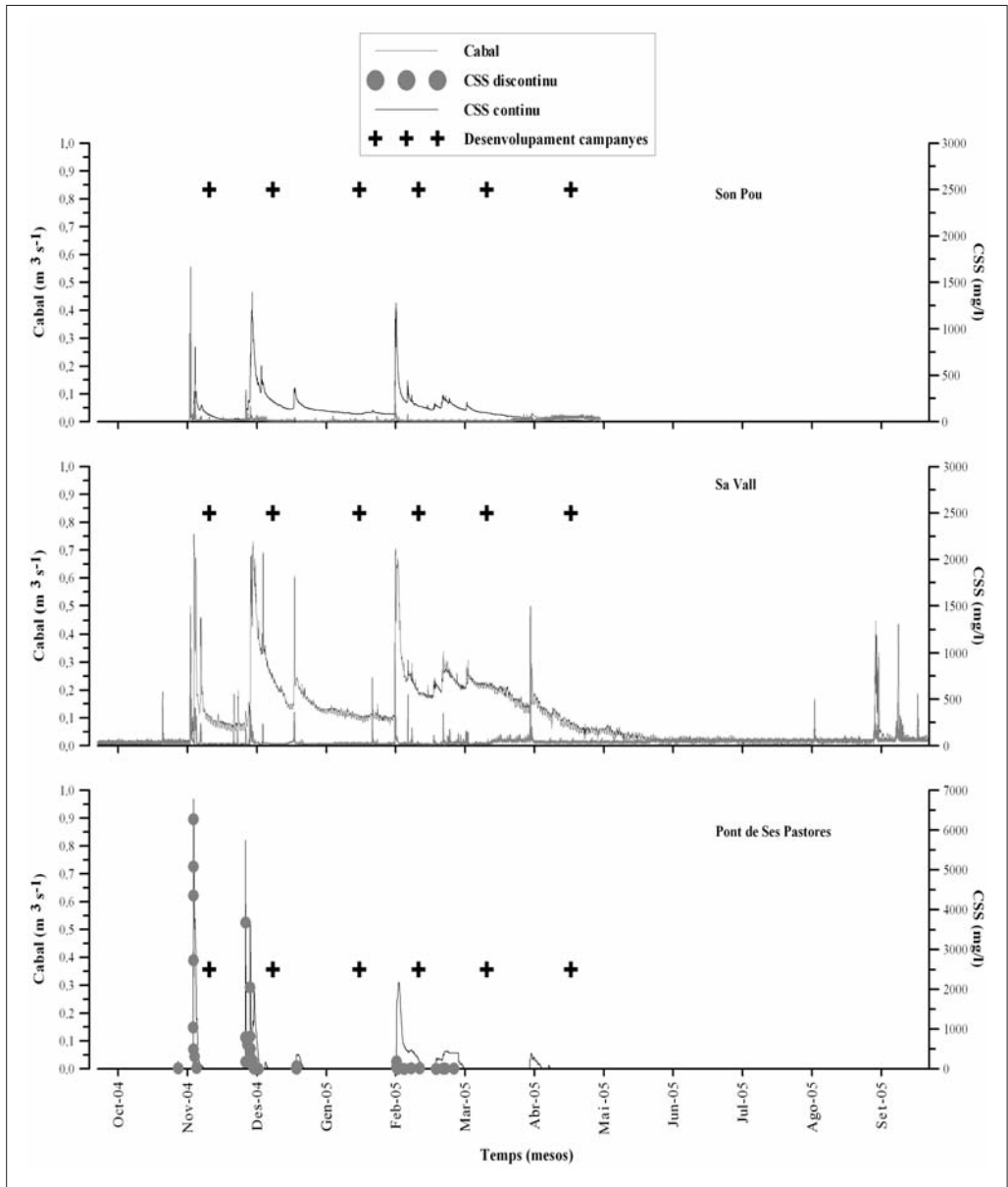


Fig. 3. Evolució del cabal i la concentració de sediment en suspensió (CSS) a les tres estacions hidromètriques del torrent de na Borges durant l'any hidrològic 2004-2005 amb resolució quinziminutal de les dades. Enquadrament temporal del desenvolupament de les campanyes de camp de mostreig d'emmagatzematge al llit del torrent de na Borges.

Quadre I. Volum de sediment fi al llit del torrent de na Borges. Els valors representen la quantitat total de material resuspès al llit calculada mitjançant el mètode d'agitació en el moment de mostreig (estació humida de l'any hidrològic 2004-2005).

B1				B2			B3			B4		
Cs	Material	Matèria		Cs	Material	Matèria	Cs	Material	Matèria	Cs	Material	Matèria
(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica		(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica	(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica	(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica
	(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)	
Nov04	0,0020	0,66	18,4	0,0007	0,14	29,8	---	---	---	0,0075	1,73	17,6
Des04	0,0085	3,98	12,8	0,0010	0,39	22,4	0,0022	1,25	16,0	0,0021	1,93	15,9
Gen05	0,0147	4,85	14,7	0,0040	1,11	19,3	0,0037	0,89	15,2	0,0237	9,97	15,3
Febr05	0,0059	2,59	11,6	0,0026	1,13	17,2	0,0030	1,91	12,0	0,0074	6,45	9,3
Març05	0,0149	5,38	14,0	0,0048	1,54	13,4	0,0056	2,41	14,9	0,0077	4,87	14,6
Abr05	0,0294	7,95	14,4	---	---	---	0,0253	2,53	15,7	0,0181	4,70	14,1
Mitjana	0,0126	4,24	14,3	0,0022	0,72	20,4	0,0066	1,50	14,7	0,0111	4,94	14,5
B5				B6			B7			B8		
Cs	Material	Matèria		Cs	Material	Matèria	Cs	Material	Matèria	Cs	Material	Matèria
(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica		(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica	(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica	(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica
	(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)	
Nov04	0,0188	4,33	17,0	0,0005	0,13	19,5	---	---	---	0,0042	0,59	16,3
Des04	0,0073	3,64	13,4	0,0020	1,17	21,0	---	---	---	---	---	---
Gen05	0,0119	4,06	14,2	0,0027	1,10	39,6	---	---	---	---	---	---
Febr05	0,0062	3,43	10,0	0,0028	1,84	21,4	0,0085	1,18	16,6	0,0036	0,64	18,8
Març05	0,0046	1,92	16,0	0,0100	5,09	22,1	0,0068	0,54	15,2	---	---	---
Abr05	0,0126	4,16	22,5	0,0284	13,08	17,6	---	---	---	---	---	---
Mitjana	0,0102	3,59	15,5	0,0077	3,73	23,5	0,0025	0,29	15,9	0,0013	0,21	17,6

En aquest sentit, durant l'estiu una bona part del canal està sec per la qual cosa es redueix l'acumulació. Endemés, el segellament i l'encrostament hi són els processos dominants que fan disminuir la disponibilitat de sediment (Zhu et al. 1999). Per contra, durant l'hivern, quan el cabal base hi és present, l'escolament superficial, així com els processos biològics i físics al canal, proporcionen sediment al llit. Amb aquestes condicions, a l'inici de la tardor la disponibilitat i emmagatzematge al llit fou molt baix tot i que s'incrementà ràpidament amb les primeres crescudes del novembre i desembre. Durant l'hivern, tots els components hidrològics de la conca estaven actius, la qual cosa feia que les crescudes fossin més competents en la remoció del sediment al llit i afavorissin els processos de rentatge

de sediment amb el resultat d'un menor emmagatzematge després de la crescuda del febrer. En canvi, els valors d'acumulació foren significativament majors durant els mesos de març i abril quan tots els components hidrològics de la conca encara romanien actius, cosa que permetia la deposició de sediment.

El contingut mitjà de matèria orgànica al sediment del llit fou del 17%, encara que els valors oscil·laren des del 14% (punt B1) al 24% (punt B6). Una part de la matèria orgànica provenia de la producció *in situ* al llit del canal, tal com s'ha explicat anteriorment. Emperò, el major contingut de matèria orgànica (> 30%) de les mostres recollides a la xarxa de monitoratge del transport de sediment en suspensió de na Borges (Estrany 2009b), comparat amb el

sediment del llit, suggereix que la producció autòctona de material al llit fou limitada. Per tant, aquesta proporció de matèria orgànica està estretament relacionada amb l'abocament d'aigües residuals per part dels quatre sistemes combinats de sanejament localitzats a la conca del torrent de na Borges.

Segons que sembla, no hi ha més dades disponibles d'altres rius temporals mediterranis. Així, esdevé difícil jutjar si els valors descrits al quadre 1 són típics. No obstant això, els valors de resuspensió al canal obtinguts pel torrent de na Borges foren similars a aquells documentats d'altres rius on predominen les aportacions d'aigües subterrànies d'altres àrees del món. Per exemple, aplicant el mateix mètode seguit en aquest estudi, Walling i Amos (1999) trobaren que l'emmagatzematge al llit en diferents punts de mostreig dins un sistema fluvial a Dorset (Regne Unit) oscil·lava entre 0,1 i 15 kg m⁻².

La figura 4 permet fer una explicació més acurada de les dinàmiques temporals descrites anteriorment. D'aquesta manera, els majors valors mitjans de sediment resuspès (> 3,5 kg m⁻²) es corresponen amb aquells punts de mostreig amb un règim perenne (punts B4 i B5) o intermitent de llarga durada (punts B1 i B6, amb almenys nou mesos d'escolament l'any) gràcies a la presència de materials impermeables del Miocè inferior. A més, es troben majoritàriament afectats pels sistemes combinats de sanejament. A continuació es fa una descripció d'aigües avall:

— El punt B1 es localitza a l'inici del canal principal de na Borges, on es tanca la capçalera de la conca. Hi predomina un règim intermitent de llarga durada amb una important afecció per part de la depuradora de Vilafranca de Bonany, situada a 2,4 km aigües amunt. L'encrostament inicial de la tardor provocà una manca de disponibilitat al novembre, tot i que les aportacions dels

sistemes combinats de sanejament de Sant Joan i Vilafranca i les aportacions agrícoles (Estrany et al. 2009a) provocaren tot d'una un important emmagatzematge al desembre. Aquest sediment fou remogut en l'episodi de febrer per acabar el període d'estudi amb un notable emmagatzematge primaveral.

— El punt B4 es localitza al principi del tram perenne del barranc de na Borges, fet que permet una major disponibilitat a l'inici de la tardor en no produir-se l'encrostament. A més, al llarg de la tardor les crescudes provinents de la capçalera hi van dipositar sediment, fet que va provocar que el màxim fos al gener i febrer (10,0 kg m⁻² i 6,5 kg m⁻² respectivament), que posteriorment fou remogut amb les crescudes de febrer quan les dinàmiques influents permeteren tenir tots els components hidrològics actius. Mentrestant, a la primavera s'enregistraren valors més baixos perquè en aquest punt la majoria del sediment de capçalera ja no hi pot arribar amb el predomini de dinàmiques efluentes.

— Els punts B5 i B6 es localitzen al tram d'influx de la depuradora de Manacor tot i que les condicions locals i els règims fluvials d'ambdós punts fan que hi hagi diferències notables. Així, al punt B5 —a diferència dels punts B1, B4 i B6— el màxim de material resuspès es donà al principi del període d'estudi (4,3 kg m⁻²) ja que el règim perenne i la influència urbana feren que durant l'estiu qualsevol precipitació caiguda a la ciutat de Manacor generàs escolament alhora que sediment. En canvi, al punt B6 hi predomina un règim intermitent de llarga durada, que fa que el règim d'emmagatzematge anàs de menys a més al llarg del període d'estudi, la qual cosa assenyalava que la influència del sistema de sanejament de la ciutat de Manacor va provocar que s'assolissin els majors valors de resuspensió a l'abril del 2005 (13,1 kg m⁻²).

Als quatre punts restants (B2, B3, B7 i B8), els valors mitjans de sediment resuspès

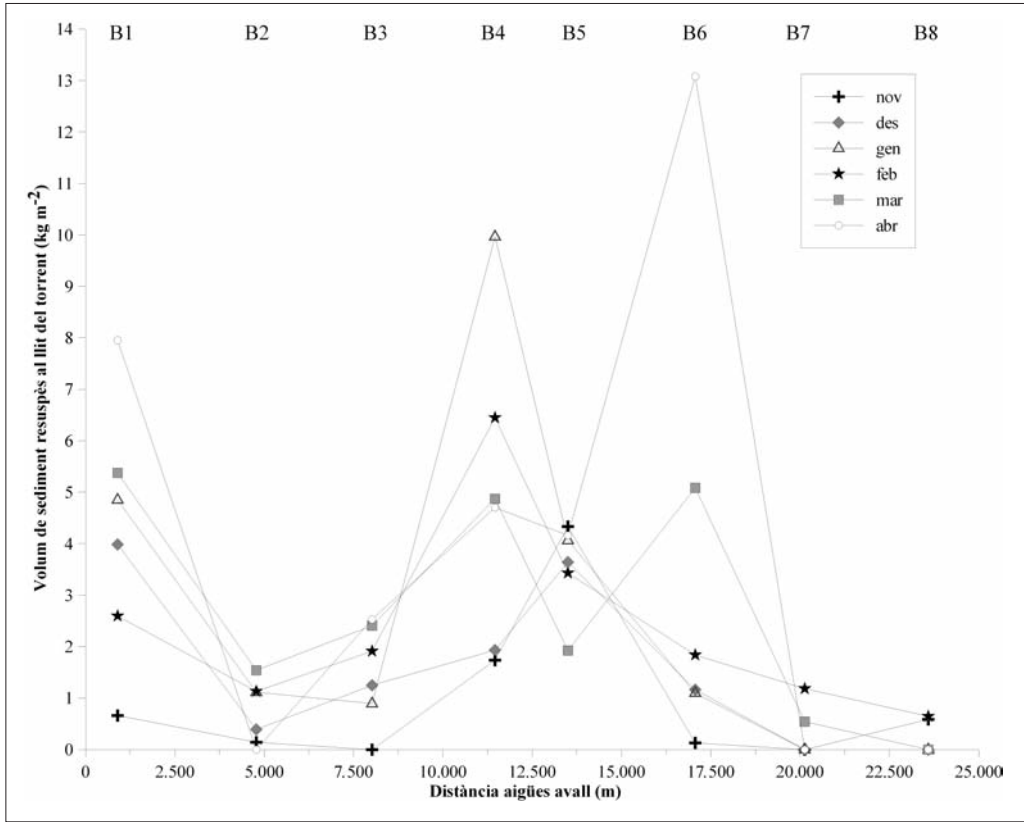


Figura 4. Variacions espacials i temporals en la transferència de sediment al llit del torrent de na Borges amb l'increment de la distància aigües avall.

foren sensiblement inferiors ($< 1,5 \text{ kg m}^{-2}$) atès que es localitzaven en trams amb règims intermitents de menor durada. A més, l'afecció per part dels sistemes combinats de sanejament és molt menor perquè es troben a una distància més gran respecte d'aquests. A continuació se'n fa una descripció més acurada d'aigües avall:

— El punt B2 es localitza en un tram amb més transmissivitat on el torrent de na Borges travessa els materials porosos del Lias (unitat de relleu de les serres centrals), i proporciona un règim fluvial intermitent d'una durada inferior als sis mesos. Així, a l'abril el canal ja estava sec. En aquest punt,

es presentà un progressiu increment del material resuspès mes a mes, ja que la majoria de crescudes únicament foren capaces de dipositar el poc sediment que transportaven. Per la seva part, la remoció de sediment gairebé no es produí ja que el baix pendent disminueix dràsticament la capacitat de transport del flux. Tot plegat fa que la resuspensió assoleixi uns valors baixos (mitjana de $0,7 \text{ kg m}^{-2}$), tenint en compte la major distància respecte de l'origen del sediment durant l'any 2004-2005 en què tributaris propers com Son Caules no arribaren a escoliar ni a aportar sediment, per tant:

— El punt B3 es localitza als materials impermeables del Miocè inferior amb un règim intermitent de durada inferior als sis mesos. Al novembre, en aquest punt, el torrent encara estava sec perquè es produeix un endarreriment en la resposta de l'escolament com a resultat de la recàrrega de l'aqüífer des d'aigües amunt. Una vegada s'ha assolit la presència de flux, la dinàmica temporal és molt semblant a la del punt B2, tot i que el valor mitjà de resuspensió és sensiblement superior ($1,5 \text{ kg m}^{-2}$) perquè aquest tram rep el flux del torrent de ses Fontanelles (fig. 1a), tributari que drena importants sistemes d'albellonatge.

— Els punts B7 i B8 es localitzen en el tram final del barranc de na Borges, on predominen les dinàmiques efluents gràcies a la presència de materials porosos del Miocè superior que provocaren que bona part de l'escolament s'infiltràs. Únicament els tres episodis importants descrits a la

subsecció 4.1 afectaren aquest tram baix del torrent, amb dues crescudes espasmòdiques generades als tributaris de les serres de Llevant al novembre i desembre, i una altra provinent de la capçalera al febrer quan la recàrrega dels aquífers és màxima, i va predominar durant cert període de temps la influència. Aquests factors fan que els valors mitjans de resuspensió fossin els més baixos enregistrats ($0,3$ i $0,2 \text{ kg m}^{-2}$, respectivament al B7 i B8).

4.3. Acumulació temporal de sediment fi al llit del torrent

Els resultats de resuspensió de sediment fi presentats a l'anterior subsecció 4.1 foren extrapolats per calcular l'emmagatzematge total i temporal (quadre II) així com l'específic (fig. 5) de sediment fi per trams i per a tot el canal principal del torrent de na Borges.

Quadre II. Emmagatzematge de sediment fi al llit del torrent de na Borges a escala mensual i canvi net d'emmagatzematge entre les campanyes de camp i al llarg del període d'estudi.

Tram	Novembre		Desembre		Gener		Febrer		Març		Abril		PERÍODE D'ESTUDI	
	Sc ^a (t)	Sv ^b (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)
B1	10,2	---	61,5	51,3	55,5	-6,0	40,0	-15,5	83,0	42,9	122,7	39,7	372,9	122,7
B2	1,2	---	3,2	2,0	9,0	5,8	9,1	0,1	12,4	3,3	0,0	0,0	34,8	12,4
B3	0,0	---	23,7	23,7	16,9	-6,8	36,2	19,3	45,6	9,4	47,9	2,3	170,2	47,9
B4	17,2	---	19,2	2,0	99,1	79,9	64,1	-35,0	48,4	-15,7	46,8	-1,7	294,8	46,8
B5	80,8	---	67,9	-12,9	75,8	7,9	64,0	-11,8	35,9	-28,1	77,7	41,8	402,2	77,7
B6	1,7	---	15,4	13,7	14,5	-0,9	24,3	9,8	67,2	42,9	172,7	105,5	295,7	172,7
B7	0,0	---	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	13,3	6,1	-7,2	0,0	0,0	19,3	6,1
B8	13,8	---	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	29,1	29,1
Total	124,0	---	190,9	79,8	270,8	79,9	266,2	-4,6	298,5	47,6	467,7	187,6	1.618,9	515,2

^aSc – Emmagatzematge de sediment

^bSv – Variació de l'emmagatzematge

L'acumulació temporal de sediment fi al llit (S_v) al llarg dels 26,8 km del canal principal del torrent de na Borges fou de 515,2 t, la qual va proporcionar un

emmagatzematge específic de $20,6 \text{ t km}^{-1}$. Comparant els valors d'acumulació extrapolats a les diferents campanyes de mostreig durant el període d'estudi

confirmarem que el total de sediment contingut al canal varià substancialment a escala temporal (C. V. 76,6%) i espacial (C. V. 89,5%). El novembre és el mes amb menor acumulació, moment en què els components hidrològics no estaven actius i l'encrostament predominava al llit del torrent. Al desembre ($S_v = 79,8$ t) i gener ($S_v = 79,9$ t) es produeix un increment notable gràcies a l'activació per saturació dels components hidrològics i a les diferents crescudes que transferiren sediment al canal. Al febrer ($S_v = -4,6$ t), en canvi, s'interrompé la tendència deposicional per un exhauriment del sediment i pel predomini dels processos d'erosió més que d'acumulació en un moment en què el canal principal està lliure de vegetació. Finalment, els mesos de març ($S_v = 47,6$ t) i abril ($S_v = 187,6$ t) suposaren el període de més

acumulació de sediment, justament quan els components hidrològics estaven totalment actius però amb un creixement de la vegetació dins el canal i un descens del cabal base, factors que afavoriren els processos d'acumulació per sobre els d'erosió.

Pel que fa a la variabilitat espacial, els trams de règim perenne o intermitents de llarga durada (B1, B4, B5 i B6) afectats pels sistemes combinats de sanejament són aquells on es diposità el 84% del sediment (419,8 t) en només el 46,2% de superfície del canal, que va superar en tots els casos les 9 t km^{-1} . En canvi, als trams de règim intermitent de curta durada (B2, B3, B7 i B8), que suposaven el 53,8% de la superfície del canal, només s'hi diposità el 16% del sediment (81,6 t).

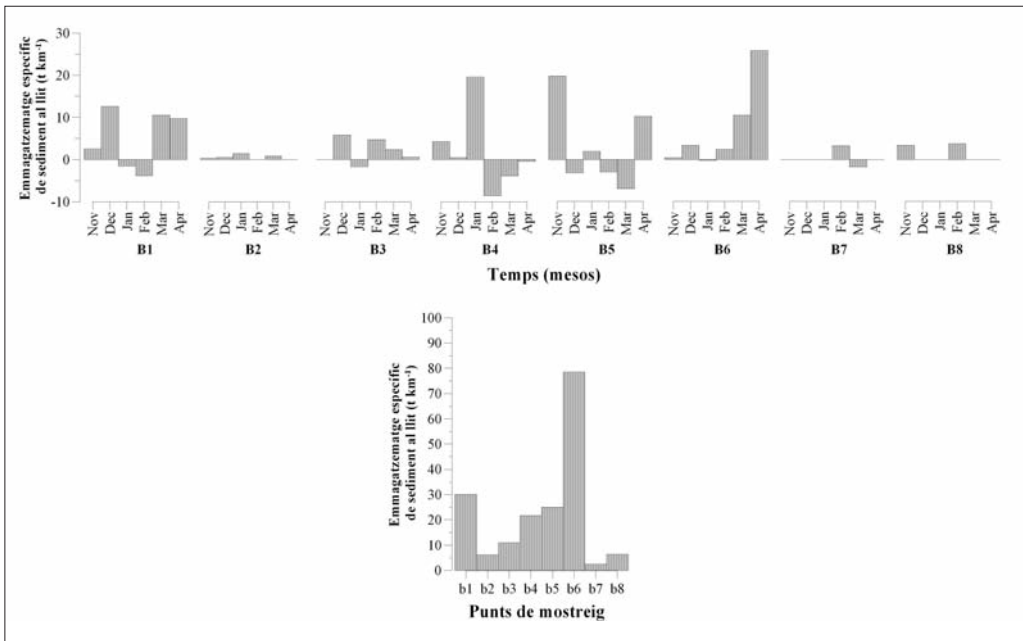


Figura 5. Emmagatzematge específic de sediment fi al llit (t km^{-1}) del torrent de na Borges a escala mensual (a) i durant tot el període d'estudi novembre de 2004 - abril de 2005 (b).

Gràcies a la xarxa de monitoratge del transport de sediment en suspensió a na Borges, on es mesura contínuament cabal i terbolesa a tres estacions d'aforament (fig. 1a), és possible comparar els valors d'emmagatzematge al llit del torrent amb les estimacions de sediment en suspensió a cada estació d'aforament (quadre III). Per això, cal considerar que l'erosió dels vessants d'una conca i els costats del llit del torrent durant precipitacions efectives mobilitza sediment fi que és transferit al sistema del canal principal, la qual cosa contribueix a la càrrega de sediment en suspensió. Una proporció d'aquesta càrrega de sediment en suspensió –que és transportada a través del

canal principal– és temporalment emmagatzemada al llit del torrent. Endemés, aquest sediment emmagatzemat pot ser remobilitzat i alhora redipositat aigües avall sense ser exportat a la desembocadura de la conca si l'energia de l'escolament és baixa. Amb tot, la càrrega de sediment en suspensió i l'emmagatzematge temporal de sediment són els dos components bàsics del balanç de sediment del canal principal i que interactuen en el transport de sediment en suspensió al torrent. Per tant, la càrrega de sediment en suspensió i el canvi d'emmagatzematge de sediment dins el tram representen l'entrada total de sediment fi al llit del torrent.

Quadre 3. Comparació de l'emmagatzematge de sediment fi amb la càrrega de sediment en suspensió als trams inclosos a cada estació d'aforament del torrent de na Borges durant el període d'estudi novembre de 2004 - abril de 2005.

Estació d'aforament (trams inclosos)	Entrada de sediment fi al llit (t)	Emmagatzematge en %	Càrrega en %
Son Pou (B1 i B2)	153,20	98,3	1,7
La Vall de la Nou (B1 a B5)	425,30	82,4	17,6
Pont de ses Pastores (B1 a B8)	654,53	79,4	20,6

Es fa palès que durant el període d'estudi prevalgueren les dinàmiques d'acumulació respecte de les d'exportació per mor de les pèrdues per transmissió i la baixa energia condicionada per l'escàs pendent, una de les principals característiques d'aquells rius on predominen les aportacions d'aigües subterrànies (Sear et al. 1999). Així, el tram del torrent que afora l'estació de son Pou és el que mostra una major capacitat d'emmagatzematge, el qual representa un 98,3% de l'entrada de sediment fi al llit per mor de l'escàs pendent i les pèrdues per

transmissió estacionals. El tram controlat per l'estació de la Vall de la Nou mostrarà una menor capacitat d'emmagatzematge, el qual representa el 82,4% de l'entrada de sediment fi al llit en un tram afectat per les activitats urbanes. Finalment, el tram controlat pel Pont de ses Pastores presentarà la capacitat d'emmagatzematge més reduïda, ja que aquest emmagatzematge només representà el 79,4% de l'entrada de sediment fi al llit causat per l'elevat pendent dels tributaris efímers de les serres de Llevant la qual cosa dona més competència erosiva al flux.

5. Conclusions

Els resultats exposats en aquest estudi proporcionen per primera vegada informació sobre la magnitud i la variabilitat espacio-temporal de l'emmagatzematge de sediment fi en un riu mediterrani temporal on predominen les aportacions d'aigües subterrànies. Els principals resultats i conclusions són resumits a continuació:

(1) El càlcul de la resuspensió de sediment fi al llit del torrent de na Borges a partir de l'agitació de l'aigua i el llit varià espacialment i temporalment, oscil·lant entre 0 i 13 kg m^{-2} . La mitjana per als vuit punts de mostreig fou de $2,4 \text{ kg m}^{-2}$. Els diferents règims fluvials amb predomini de pèrdues per transmissió, la influència dels sistemes combinats de sanejament i el baix pendent fan que aigües avall no s'observi una tendència a l'increment de l'emmagatzematge.

(2) Els majors valors mitjans de sediment resuspès ($> 3,5 \text{ kg m}^{-2}$) es corresponen amb aquells punts de mostreig amb un règim perenne o intermitent de llarga durada i afectats pels sistemes combinats de sanejament.

L'emmagatzematge de sediment fi al llit al llarg dels 26,8 km del canal principal del torrent de na Borges fou de 515,2 t, la qual cosa proporciona un emmagatzematge específic de $20,6 \text{ t km}^{-1}$.

(3) El total de sediment acumulat al canal varià substancialment a escala temporal (el coeficient de variació mensual fou del 76,6%). A escala espacial, els trams de règim perenne o intermitents de llarga durada afectats pels sistemes combinats de sanejament són aquells on es diposità el 84% del sediment.

(4) Si es comparen els valors d'emmagatzematge de sediment al llit amb la càrrega de sediment en suspensió es fa palès que durant el període d'estudi prevalgueren les dinàmiques d'acumulació.

Aquest estudi ha permès aclarir inicialment el paper que juguen els sistemes combinats de sanejament en els processos d'acumulació de sediment al llit. Per això, des del punt de vista de la gestió, caldrà identificar les fonts de sediments, per tal d'aplicar estratègies apropiades per controlar la mobilització de sediments i la seva posterior acumulació als llits. També hi ha una creixent consciència del paper dels sediments en suspensió com a vector del transport de nutrients i contaminants associats (per exemple: metalls pesants, fòsfor, PCB) als sistemes fluvials (Horowitz 1991; Owens et al. 2001). La font dels sediments influeix en les seves propietats químiques i físiques i la seva càrrega contaminant i, per tant, és una consideració important en la gestió dels sistemes fluvials contaminats.

Amb aquests resultats, els valors d'acumulació temporal de sediment fi al llit podran ser circumscrits en l'objectiu prioritari pel qual varen ser dissenyats i establerts: l'establiment d'un balanç de sediments. Nogensmenys, cal considerar que l'estimació de l'emmagatzematge de sediment fi fou establerta pel canal principal del torrent de na Borges sense incloure els tributaris més importants, on és probable que l'acumulació sigui també important. Igualment, el càlcul d'emmagatzematge de sediment al llit no té base temporal i representa una mesura instantània d'acumulació en el moment de mostreig. Així, els valors d'emmagatzematge exposats poden ser representatius de l'emmagatzematge a curt termini (< 1 any) (Adams, Beschta 1980; Frostick et al. 1984), sense pèrdues netes dins el sistema fluvial a escala temporal anual. Per això, és important tenir en compte que durant el període d'estudi no tingué lloc cap episodi de crescuda de certa magnitud que hauria permès remoure part del sediment emmagatzemat temporalment al llit, així com activar altres fonts de sediment més

enllà de les provinents dels sistemes combinats de sanejament, tenint en compte que les geofomes típiques dels rius on predominen les aportacions d'aigües subterrànies (baixa densitat de drenatge, baixa clinometria, vessants de vall rostos i fons de vall molt plans) i la presència de sistemes tradicionals de conservació del sòl limiten la connectivitat vessant-canal i, per tant, la transferència de sediments (Estrany et al. 2009a).

Malgrat aquestes limitacions, aquestes dades representen un important avanç en el coneixement actual d'un dels components clau dels balanços de sediment dels rius mediterranis temporals on predominen les aportacions d'aigües subterrànies. Amb el futur treball s'hauran d'intentar col·locar aquests resultats en el context més ampli del balanç de sediments per a la conca del torrent de na Borges així com fer una anàlisi rigorosa sobre els contaminants associats en aquests dipòsits i el seu impacte sobre els ecosistemes fluvials de na Borges.

Agraïments

Aquest estudi ha estat possible gràcies al finançament aportat pel Ministeri d'Educació i Ciència (Beca FPI dins el Projecte REN-2001-0281); el Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí (Projecte LUCDEME); la Direcció General de Recursos Hídrics de la Conselleria de Medi Ambient (Govern de les Illes Balears), i el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. A més, els autors volen agrair a Joan Miquel Carmona l'ajut i l'assistència tècnica durant el treball de camp i laboratori.

Bibliografia

ADAMS, J. N., BESCHTA, R. L. (1980): «Gravel bed composition in Oregon

coastal streams». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, núm. 37, pàg. 1514-1521.

CLARKE, S. J., WHARTON, G. (2001): «Sediment nutrient characteristics and aquatic macrophytes in lowland English rivers». *Science of the Total Environment*, núm. 266, pàg. 103-112.

ESTRANY, J., GARCIA, C. (2004): «Monitorización del transporte de sedimento en suspensión en la cuenca del torrent de na Borges (Mallorca): resultados preliminares». A: Benito, G.; Díaz Herrero, A. (eds). *Riesgos naturales y antrópicos en geomorfología*. SEG, pàg. 159-170, Toledo.

ESTRANY, J. (2009a): *Hidrologia i transport de sediment a una conca agrícola del pla de Mallorca*. Palma: Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern de les Illes Balears.

ESTRANY, J. (2009b): «Hydrology and sediment transport in the agricultural Na Borges River basin (Mallorca, Balearic Islands). A Mediterranean groundwater-dominated river under traditional soil conservation practices». Tesis doctoral inèdita. Palma: Universitat de les Illes Balears.

ESTRANY, J., GARCIA, C.; BATTALLA, R. J. (2009a): «Groundwater control on the suspended sediment load in the Na Borges River, Mallorca, Spain». *Geomorphology*, núm. 106(3-4), pàg. 292-303.

ESTRANY, J., GARCIA, C., ALBERICH, R. (2009b): «Streamflow dynamics in a Mediterranean temporary river». Manuscrit sotmès a revisió a *Hydrological Sciences Journal*, núm. 55(5), pàg. 717-736.

FROSTICK, L. E., REID, I., LAYMAN, J. T. (1984): «The infiltration of fine matrices into coarse-grained alluvial sediments and its implication for stratigraphical interpretation». *Journal of the Geological Society*, núm. 141, pàg. 955-965.

HOROWITZ, A. J. (1991): *A primer to trace-element chemistry*. Michigan, EUA: Lewis Publishers.

JENKINS, H. C., SELLWOOD, B. W., POMAR, L. (1990): *A field excursion guide to the Island of Mallorca*. Geologists' Association Guides. London: The Geologist's Association.

LAMBERT, C. P., WALLING, D. E. (1988): «Measurement of channel storage of suspended sediment in a gravel-bed river». *Catena*, núm. 15(1), pàg. 65-80.

MENCIÓ, A., MAS-PLA, J. (2008): «Assessment by multivariate analysis of groundwater-surface water interactions in urbanized Mediterranean streams». *Journal of Hydrology*, núm. 352(3-4), pàg. 355-366.

OWENS, P. N., WALLING, D. E., CARTON, J., MEHARG, A. A., WRIGHT, J., LEEKS, G. J. L. (2001): «Downstream changes in the transport and storage of sediment-associated contaminants (P, Cr and PCBs) in agricultural and industrialised basins». *Science of the Total Environment*, núm. 266, pàg. 177-186.

PONS-ESTEVA, A. (2000): «Evolució dels usos del sòl a les illes Balears: 1956-2000». *Territoris*, núm. 4, pàg. 129-145.

ROMERO, R., RAMIS, C. (2002): «Torrential daily rainfalls patterns in Mediterranean Spain and associated meteorological settings». *Tethys*, núm. 2.

ROSSELLÓ, V. M. (1964): *Mallorca. El Sur y Sureste. Las Islas Baleares. Estudio Geográfico y Económico*. Palma: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación.

SCULLION, J. (1983): «Effects of impoundments on downstream bed materials of two upland rivers in mid-Wales and some ecological implications of such effects». *Archives fur Hydrobiologie*, núm. 96, pàg. 329-344.

SEAR, D. A., ARMITAGE, P. D., DAWSON, F. H. (1999): «Groundwater dominated rivers». *Hydrological Processes*, núm 13(3), pàg. 255-276.

SHAW, E. M. (1994). *Hydrology in*

practice. London: Chapman & Hall.

SILVA, P. G., GOY, C., ZAZO, J., GIMÉNEZ, J., FORNÓS, J., CABERO, A., BARDAJÍ, T., MATEOS, R., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, F. M., HILLAIRE-MARCEL, C., BASSAM, G. (2005): «Mallorca Island: geomorphological evolution and neotectonics». A: Desir, G.; Gutiérrez, F.; Gutiérrez, M. (eds.). *Field Trip Guides of Sixth International Conference on Geomorphology*, vol. II, pàg. 433-472. Saragossa: Universitat de Saragossa.

UNIÓ EUROPEA (2000): Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre del 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva marco del agua). *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, C L 327 22/12/2000.

WALLING, D. E., AMOS, C. M. (1999): «Source, storage and mobilisation of fine sediment in a chalk stream system». *Hydrological Processes*, núm. 13(3), pàg. 323-340.

WALLING, D. E., OWENS, P. N., LEEKS, G. J. L. (1998): «The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of the River Ouse, Yorkshire, UK». *Geomorphology*, núm. 22(3-4), pàg. 225-242.

WALLING, D. E., COLLINS, A. L. (2008): «The catchment sediment budget as a management tool». *Environmental Science & Policy*, núm. 11(2), pàg. 136-143.

WOODWARD, J. C. (1995): «Patterns of erosion and suspended sediment y yield in mediterranean river basins». A Foster, I. D. L., Gurnell, A. M.: Webb, B. W. (eds.). *Sediment and Water Quality in River Catchments*. Chichester: John Wiley & Sons.

ZHU, T. X., BAND, L. E., VERTESSY, R. A. (1999): «Continuous modeling of intermittent stormflows on a semi-arid agricultural catchment». *Journal of Hydrology*, núm. 226(1-2), pàg. 11-29.