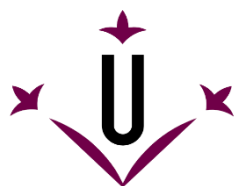


**DIAGNOSI I PROPOSTES PER A LA MILLORA  
DE LA DINÀMICA FLUVIAL A LA RIERA DE  
SANTA COLOMA AL SEU PAS PEL PARC DE  
SANT SALVADOR  
(tm. Santa Coloma de Farners)**



Universitat de Lleida



#### **FITXA TÈCNICA**

**Descripció:** Informe final que es lliura a l'Ajuntament de Santa Coloma de Farners en relació amb l'encàrrec de serveis per a l'avaluació de l'estat morfosedimentari de la riera de Santa Coloma als voltants del parc de Sant Salvador. La informació obtinguda sobre les característiques topogràfiques, sedimentàries i hidràuliques del tram, juntament amb l'estudi hidrològic històric ens ha permès proposar una sèrie d'actuacions encaminades a la millora de l'estat morfosedimentari i a la naturalització de la dinàmica sedimentària del tram d'estudi.

**Autors:** Jordi Tuset i Alvaro Tena. RIUS: [Fluvial Dynamics Research Group](#) (Universitat de Lleida, UdL).

**Data:** 14 de setembre de 2022

Foto de portada: Riera de Santa Coloma aigua amunt del parc de Sant Salvador

Autor: Jordi Tuset

## ÍNDIX

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>8</b>
1.1	Antecedents.....	8
1.2	Objectiu i disseny del treball .....	9
<b>2</b>	<b>ÀREA D'ESTUDI.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>MARC CONCEPTUAL DE L'ESTUDI.....</b>	<b>14</b>
3.1	<b>Bloc 2: Diagnosi del desequilibri sedimentari a la conca de la riera de Santa Coloma durant el temporal Glòria (relació conca-riu) .....</b>	<b>14</b>
3.1.1	Ajusts geomorfològics en la relació conca-riu .....	14
3.1.2	Identificació i caracterització de les fonts de sediment en àrees de muntanya .	14
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
4.1	<b>Bloc 2: Diagnosi del desequilibri sedimentari a la conca de la riera de Santa Coloma durant el temporal Glòria (relació conca-riu) .....</b>	<b>17</b>
4.1.1	Adquisició d'imatges aèries i cartografia de referència.....	17
4.1.2	Identificació i caracterització de les fonts de sediment a la conca.....	19
4.1.3	Reconstrucció hidro-sedimentària.....	20
4.1.4	Reconstrucció hidràulica i de transport de sediments.....	28
4.2	<b>Bloc 3: Plantejament d'actuacions de millora per facilitar la recuperació morfosedimentària de la riera de santa Coloma .....</b>	<b>32</b>
4.2.1	Estudi d'alternatives en la gestió del sediment acumulat durant el desmantellament de rescloses .....	32
4.2.2	Anàlisi del règim hidrològic .....	32
4.2.3	Propostes per a la gestió del sediment atrapat a la riera de santa Coloma a l'alçada del parc de sant Salvador .....	34
<b>5</b>	<b>RESULTATS .....</b>	<b>37</b>
5.1	<b>Bloc 2: Diagnosi del desequilibri sedimentari a la conca de la riera de Santa Coloma durant el temporal Glòria (relació conca-riu) .....</b>	<b>37</b>

5.1.1	Identificació i caracterització de les fonts de sediment a la conca.....	37
5.1.2	Reconstrucció hidrològica .....	40
5.1.3	Reconstrucció hidràulica i del transport de sediments.....	46
<b>5.2</b>	<b>Bloc 3: Plantejament d'actuacions de millora per facilitar la recuperació morfosedimentària del riu.....</b>	<b>48</b>
5.2.1	Estudi d'alternatives en la gestió del sediment acumulat durant el desmantellament de rescloses .....	48
5.2.2	Anàlisi del règim hidrològic.....	51
5.2.3	Propostes per a la gestió del sediment atrapat a la riera de santa Coloma a l'alçada del parc de sant Salvador .....	59
<b>6</b>	<b>OBSERVACIONS I CONCLUSIONS .....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>AGRAÏMENTS .....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>65</b>
<b>ANNEX 1</b>	<b>.....</b>	<b>69</b>
<b>ANNEX 2</b>	<b>.....</b>	<b>89</b>

## ÍNDIX DE FIGURES

<b>Figura 1.</b> Acumulació de sorres al llit de la riera de Santa Coloma aigües avall de la Font Picant. Autor: Álvaro Tena .....	<b>8</b>
<b>Figura 2.</b> (A) Localització de la conca de la riera de Santa Coloma a la conca de la Tordera i a les Conques Internes de Catalunya i (B) Localització del tram d'estudi a la conca de la riera de Santa Coloma; (C) Vista aèria del tram d'estudi.....	<b>12</b>
<b>Figura 3.</b> Hidrograma adimensional del SCS (Esquerra); b) Hidrograma unitari triangular (Dreta). Font: Chow, 1985.....	<b>24</b>
<b>Figura 4.</b> Distribució dels usos del sòl a la malla del model hidràulic .....	<b>30</b>
<b>Figura 5.</b> Sèrie de cabals mitjans diaris de la Riera de Santa Coloma a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva.....	<b>34</b>
<b>Figura 6.</b> Fotografies aèries del meandre de la riera de Santa Coloma al seu pas pel viver de Maçaneda dels anys 2019 i 2020. A la imatge de l'esquerra (any 2019) la riera es troba totalment tapada per la vegetació de ribera, mentre que a la imatge de la dreta (any 2020) part de la vegetació de ribera ha estat eliminada per la crescuda ampliant l'amplada de la llera activa i les àrees font de sediments. Al mateix temps, s'observa la generació d'una barra de sediments en el punt on la llera s'ha fet més ampla. ....	<b>37</b>
<b>Figura 7.</b> Rescloses de la riera de Santa Coloma inventariades en la cartografia de preses i rescloses de l'Agència Catalana de l'Aigua ( <a href="https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html">https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html</a> ). .....	<b>38</b>
<b>Figura 8.</b> Delimitació de les tallades forestals realitzades a la capçalera de la conca de la riera de Santa Coloma entre el 2018 i el temporal Glòria (21-23 de gener de 2020). .....	<b>39</b>
<b>Figura 9.</b> (Esquerra) Xarxa fluvial sobredimensionada per la falta de vegetació que controli la generació d'escolament i l'erosivitat del sòl. (Dreta) Imatge d'una la secció sobredimensionada (6-7 m <sup>2</sup> ) d'un torrent amb una conca vessant de solament 13.000 m <sup>2</sup> . .....	<b>40</b>

<b>Figura 10.</b> Distribució topogràfica de la xarxa fluvial i subconques que formen el model hidrològic.....	<b>41</b>
<b>Figura 11.</b> Distribució de la precipitació antecedent al temporal Glòria. Els colors de la llegenda delimiten el grau d'humitat antecedent del sòl en funció a la classificació dels SCS. ....	<b>42</b>
<b>Figura 12.</b> Comparativa entre l'hidrograma registrat a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel) (línia negra puntejada) i l'hidrograma calculat pel model hidrològic en el mateix punt (línia blava continua). ....	<b>43</b>
<b>Figura 13.</b> Comparativa entre l'hidrograma registrat a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel) (línia blava continua) i l'hidrograma calculat en l'optimització en el mateix punt (línia vermella).....	<b>44</b>
<b>Figura 14.</b> Hidrograma de la riera de Santa Coloma aigua amunt de la confluència amb el torrent dels Frares durant el temporal Glòria. ....	<b>45</b>
<b>Figura 15.</b> Sedimentograma de la riera de Santa Coloma a l'entrada del tram d'estudi durant el temporal Glòria.....	<b>46</b>
<b>Figura 16.</b> Distribució del gruix de sediment acumulat a la llera en el tram d'estudi des del 2016. El sediment acumulat presenta un gruix molt important en tot el tram, arribant a un màxim de 140 cm i superant els 100 cm en més d'1/3 del subtram. ....	<b>48</b>
<b>Figura 17.</b> Estimació de la distribució del gruix de sediment acumulat a la llera en el tram d'estudi pel model hidràulic. El sediment acumulat presenta un gruix i distribució molt semblant a l'observat a camp (Figura 16). ....	<b>48</b>
<b>Figura 18.</b> Distribució de l'aportació mitjana anual de la riera de Santa Coloma a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel) .....	<b>52</b>
<b>Figura 19.</b> Cabals mitjans mensuals de la riera de Santa Coloma a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva i de la Tordera a l'estació d'aforament de Can Serra. ....	<b>53</b>
<b>Figura 20.</b> Variació en % dels percentils representatius de les sèries de cabal .....	<b>54</b>

## ÍNDIX DE TAULES

<b>Taula 1.</b> Criteris de selecció per a l'adquisició de ortofotomapes i imatges satèl·lit .....	<b>18</b>
<b>Taula 2.</b> Relació establerta entre els usos del sòl i el coeficient de rugositat de Manning aplicat .....	<b>31</b>
<b>Taula 3.</b> Taula sintètica de les sèries de dades utilitzades per a l'anàlisi hidrològica de la riera de Santa Coloma .....	<b>33</b>
<b>Taula 4.</b> Principals característiques morfològiques i hidrològiques de cada subconca. <b>41</b>	
<b>Taula 5.</b> Principals característiques dels trams que conformen la xarxa fluvial. ....	<b>42</b>
<b>Taula 6.</b> Taula resum de la sèrie utilitzada per a l' anàlisi hidrològica .....	<b>51</b>
<b>Taula 6.</b> Percentils representatius de les sèries de cabal .....	<b>54</b>
<b>Taula 7.</b> Càlcul de la recurrència dels cabals màxims esperables mitjançant la metodologia de Gumbel i model hidrològic (ACA) .....	<b>55</b>
<b>Taula 8.</b> Distribució de la freqüència dels cabals màxims esperables calculats per l'ACA. ....	<b>56</b>
<b>Taula 9.</b> Característiques principals de les crescudes analitzades .....	<b>57</b>

## 1 INTRODUCCIÓ

### 1.1 Antecedents

El temporal Glòria (gener de 2020) va suposar per a molts rius a Catalunya una reestructuració completa de la seva morfologia fluvial. Els cabals van assolir magnituds molt importants, que van provocar canvis profunds en la forma de la llera, van inundar planes d'inundació, i van reconnectar braços abandonats. L'episodi va contribuir a reactivar profundament els sistemes fluvials, i els rius van experimentar un grau de metamorfosis com feia dècades que no es veia (Batalla et al., 2020).

Fruit d'aquest episodi de pluges, la riera de Santa Coloma va registrar la crescuda més important des de l'any 1995, any de la posada en funcionament de l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel). El cabal màxim assolit va ser de  $530 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Aquesta gran quantitat d'energia va ser suficient per superar molts dels llindars físics als que la conca es troba habitualment sotmesa, i canviar la morfologia de la llera en diversos trams. Concretament, aigües amunt del parc de Sant Salvador (t.m. Santa Coloma de Farners), la riera va experimentar una acumulació de sediments excessiva al llit del riu, sobretot en aquells trams alterats per la presència de rescloses o guals (Figura 1).

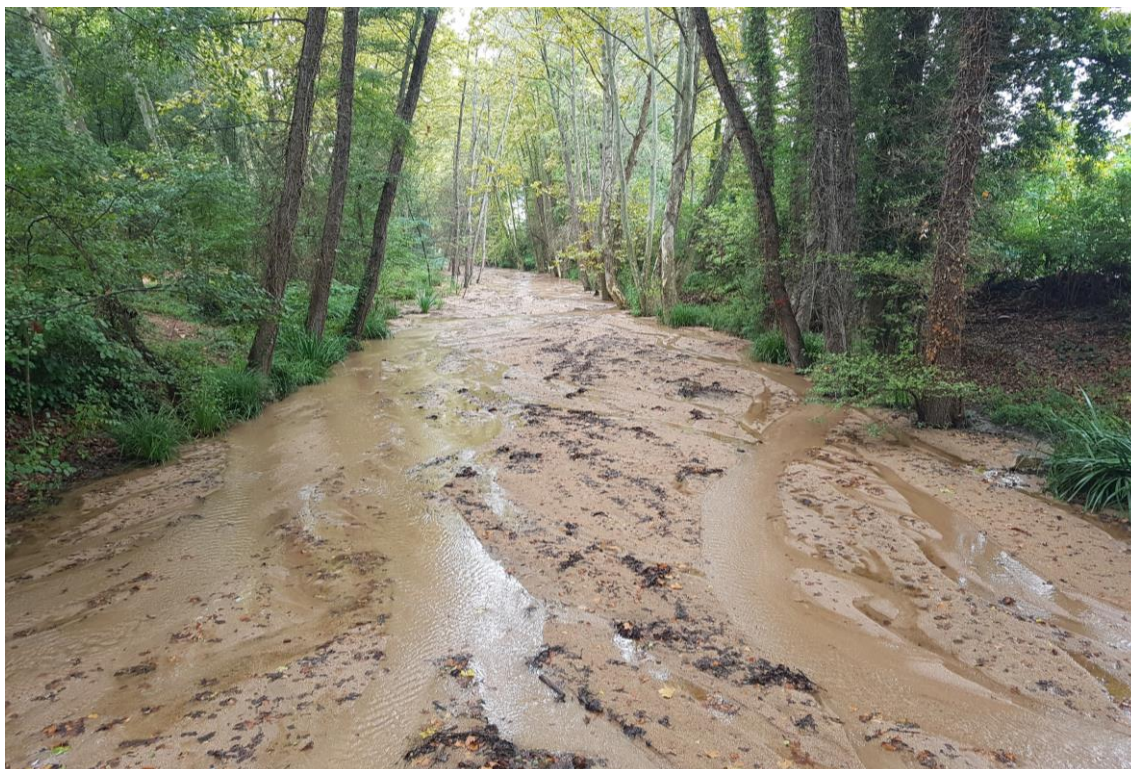


Figura 1. Acumulació de sorres al llit de la riera de Santa Coloma aigües avall de la Font Picant. Autor: Álvaro Tena

Com a conseqüència, l'Ajuntament de Santa Coloma de Farners es posà en contacte amb el Grup RIUS de la Universitat de Lleida amb la intenció de realitzar un encàrrec per analitzar l'impacte del temporal Glòria i definir diverses actuacions de millora per resoldre la sobreacumulació de sediments observada a la riera.

## **1.2 Objectiu i disseny del treball**

L'objectiu general del treball és realitzar un diagnòstic de l'estat morfosedimentari actual de la riera de Santa Coloma amb la finalitat de proposar una sèrie d'estratègies o mesures que permetin el rentat i la transferència, aigües avall, de l'excés de sediment acumulat a la llera, millorant el seu estat morfosedimentari i contribuint, al mateix temps, a pal·liar el dèficit sedimentari que pateix el tram principal de la Tordera.

El treball proposat per assolir aquests objectius consta de 3 blocs ben diferenciats:

- (1) diagnosi de l'estat morfosedimentari actual d'un tram de la riera de Santa Coloma a l'alçada del parc de Sant Salvador a Santa Coloma de Farners,
- (2) diagnosi del desequilibri sedimentari entre la conca i el riu (responsable de la situació actual) i, finalment,
- (3) plantejament d'actuacions de millora per facilitar la recuperació morfosedimentària del riu.

El passat 30 de desembre de 2021 es va fer entrega a l'Ajuntament de Santa Coloma l'informe preliminar amb els resultats de l'avaluació de l'estat morfosedimentari actual del tram de la riera de Santa Coloma a l'alçada del parc de Sant Salvador. Es tracta de les tasques corresponents al bloc 1 de l'estudi (Annex 1). Per fer aquesta avaluació es van analitzar les característiques topogràfiques, granulomètriques i hidràuliques del tram localitzat entre la resclosa de la Gorga d'en Vilà i el pont d'accés al parc de Sant Salvador. Gran part d'aquest informe es pot consultar a l'Annex 1. Els principals resultats d'aquest primer informe són la base per al desenvolupament de l'objectiu final de l'encàrrec, la proposta d'actuacions encaminades a la millora de l'estat morfosedimentari del tram d'estudi, principalment mitjançant mesures que permetin mobilitzar aigües avall l'excés de sediment acumulat al llit de la riera de Santa Coloma.

El bloc 2, presentat en aquest informe (junt amb el bloc 3), es basa en l'anàlisi de cartografia i imatges aèries anteriors i posteriors al temporal Glòria amb l'objectiu d'identificar les principals fonts de sediment responsables de l'excés de sedimentació al tram d'estudi. Aquesta informació, juntament amb els resultats de la reconstrucció hidrològica, sedimentària i hidràulica dels temporal Glòria a escala de conca i tram, permet definir lleugerament, però de manera suficient, la dinàmica sedimentària del sistema.

Per finalitzar, es presenten i s'avaluen un seguit de mesures correctores (bloc 3) amb l'objectiu de facilitar la neteja i la transferència del sediment acumulat a la llera aigua avall, tot millorant l'estat morfosedimentari i, alhora, ecològic del tram. Les millores proposades promouen la naturalització de la dinàmica fluvial (hidrològica i sedimentària), la sostenibilitat i durabilitat de les actuacions en base als resultats obtinguts en els blocs anteriors, (1) i (2).

## 2 ÀREA D'ESTUDI

La Conca de la Riera de Santa Coloma drena una superfície aproximada de 138 km<sup>2</sup>, una mica superior a les conques d'Arbúcies i l'alta Tordera, sent així una de les conques més àmplies que drenen la serralada prelitoral.

La conca té una longitud màxima de 20 km i una amplada màxima de 12 km. L'alçada màxima de la conca és de 1023 m i es troba al massís de les Guillerries (Sant Hilari de Sacalm), mentre que l'alçada mínima es localitza a la confluència de la riera amb la Sèquia de Sils amb 75 m. Això comporta un desnivell aproximat de 949 m, un valor molt baix en comparació amb les conques més occidentals que conformen la conca de la Tordera. El pendent d'aquesta conca és de 0,042 m m<sup>-1</sup>, un dels valors més baixos dins de les subconques de la Tordera, sent només superat per la conca de la Sèquia de Sils (és a dir, 0,023 m m<sup>-1</sup>). Aquests paràmetres mostren que la conca de Santa Coloma té una bona capacitat de drenatge de les aigües fluvials, però una baixa capacitat de transport de sediments a causa del seu baix pendent.

La riera de Santa Coloma discorre de manera divagant, amb alguns meandres incipients durant aproximadament 30 km, primer amb una direcció NO-SE fins a passar per Riudarenes, on canvia la seva direcció cap al SO fins a la seva confluència amb la Sèquia de Sils.

Els materials que constitueixen aquesta conca són d'origen divers, si bé predominen les roques eruptives, que consisteixen essencialment en granits amb una baixa resistència a l'erosió (és a dir, granits granodioritics i leucogranits).

Des del punt de vista climàtic, es podria dir que la pluviometria és força elevada per a una zona tan propera al mar, cosa que es pot explicar gràcies al relleu. Així, a la zona de capçalera (Sant Hilari, Joanet) es poden registrar precipitacions superiors a 1000 mm, mentre que a Sils, aquests valors oscil·larien entre 600 i 700 mm, fet que suposa una important diferència pluviomètrica. A causa de la influència del clima mediterrani, la precipitació de la conca registra una gran variabilitat interanual amb alternança entre anys molt secs i molt humits, en què es produeixen pluges torrencials a l'estiu i abundants a la primavera i tardor.

Les temperatures també estan marcades per una gran variabilitat estacional, entre els mesos d'hivern i els d'estiu, així com altitudinal, entre les àrees de més i menys alçada. Així, a les zones de major alçada les temperatures mitjanes màximes i mínimes són de 14,6 i 0 °C, respectivament, mentre que a les zones de menor alçada variarien entre els 24,3 i els 6.1 °C.

Dins d'aquest context, es podria dir que els contrastos en temperatures i les precipitacions, així com l'alta erosionabilitat (o arenització) dels materials de la conca poden ser responsables de

processos geomorfològics força actius en els vessants, tanmateix, el baix pendent indicaria una escassa capacitat per transportar els materials generats en els vessants de la conca en condicions ordinàries.

Pel que fa al regim hidrològic, tant la riera de Santa Coloma com els seus afluents presenten un regim hidrològic clarament mediterrani, registrant els seus cabals màxims a la tardor i primavera i un fort estiatge a l'estiu que provoca una absència d'aigua circulant a molts trams del riu. El cabal mig anual de la riera de Santa Coloma a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva és d' $1,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . El cabal màxim diari registrat és de  $188,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a l'any 1996,  $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  superior al cabal observat durant el temporal Glòria.

Aquest treball s'ha realitzat en la part central de la conca de la riera de Santa Coloma, en un tram d'aproximadament 2 quilòmetres a l'entorn del parc de San Salvador, dins al terme municipal de Santa Coloma de Farners (Figura 2C).

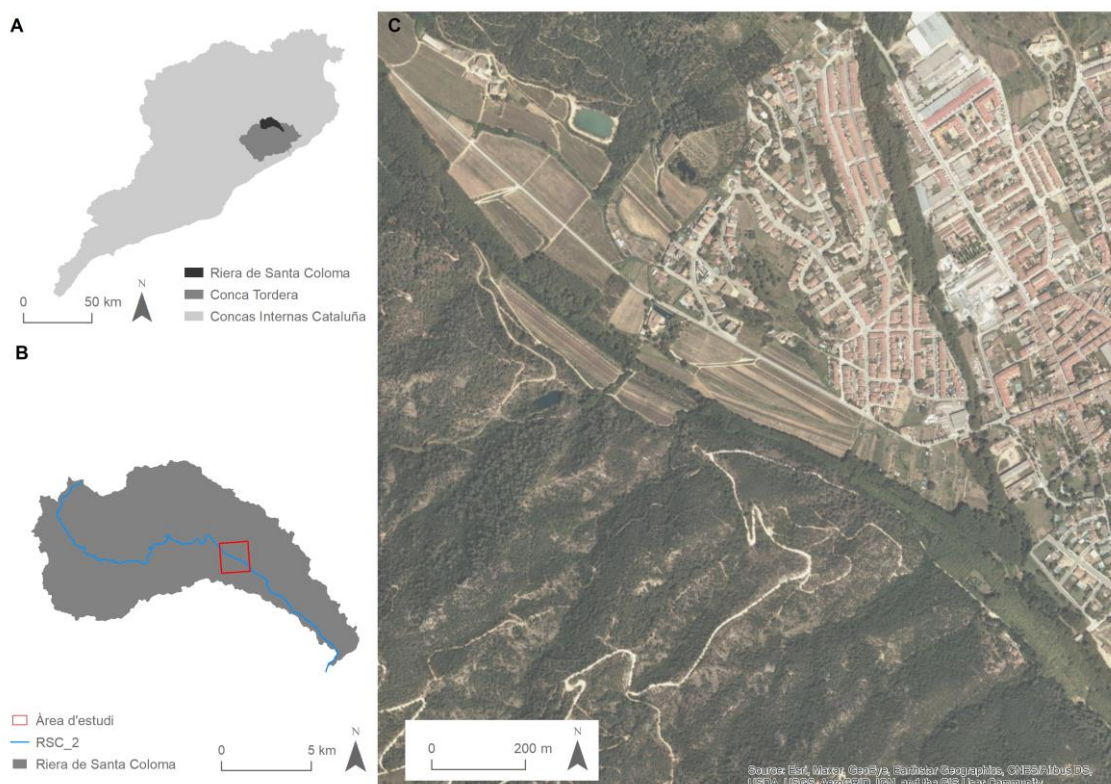


Figura 2. (A) Localització de la conca de la riera de Santa Coloma a la conca de la Tordera i a les Conques Internes de Catalunya i (B) Localització del tram d'estudi a la conca de la riera de Santa Coloma; (C) Vista aèria del tram d'estudi.

El temporal Glòria va comportar una entrada extraordinària de sediments (principalment sorres derivades de la descomposició dels granits) que va alterar l'estat morfosedimentari de la riera

de Santa Coloma. Per quantificar aquesta incidència es van analitzar les principals característiques topogràfiques i granulomètriques de la riera localitzat entre el pont d'accés al parc de Sant Salvador i el tram situat 100 metres aigües amunt de la resclosa de la Gorga d'en Vilà (Figura 2C). A continuació, es presentarà la metodologia emprada per dur a terme aquesta anàlisi.

### **3 MARC CONCEPTUAL DE L'ESTUDI**

#### **3.1 Bloc 2: Diagnosi del desequilibri sedimentari a la conca de la riera de Santa Coloma durant el temporal Glòria (relació conca-riu)**

##### **3.1.1 Ajusts geomorfològics en la relació conca-riu**

Les grans crescudes acostumen a generar importants ajusts geomorfològics, però es tracta d'esdeveniments excepcionals, amb una baixa freqüència. Aquest tipus d'episodis poden erosionar, transportar i sedimentar grans volums de sediment, potencialment redimensionant el sistema fluvial, amb impactes en la morfologia del canal (Batalla et al., 2020). Quan aquests canvis generen una agradació del canal, la capacitat de la llera en la transferència de cabals es veu reduïda, podent arribar a ser un factor crític a l'hora d'alterar el risc d'inundacions. Aquest tipus d'impactes no acostumen a passar en les zones d'erosió o producció de sediments (àrees de capçalera amb forts pendents i altament erosionables) o de transport (corredors fluvials a través dels quals es mouen els sediments més o menys sense guany o pèrdua neta), com el tram en estudi. El canvi de la dinàmica natural del riu en aquest sector s'explica per la presència de rescloses que actuen de trampes de sediments que s'haurien transferit avall en el cas que no hi fossin.

La pràctica totalitat de l'aportació de sediments en conques amb un alt percentatge de cobertura forestal i un grau baix d'antropització procedeix de la xarxa de drenatge. La xarxa fluvial de la capçalera de la riera de Santa Coloma, amb un % de cobertura forestal del 95%, no presenta indicis d'erosió en la xarxa fluvial que puguin explicar l'alta aportació de sediments observat durant el temporal Glòria al tram d'estudi. Aquest fet, obra la porta a identificar altres fonts de sediments habitualment desconnectades del sistema (relació conca-riu) en una situació de dinàmica fluvial ordinària, i avaluar el potencial que tenen per aportar grans quantitats de sediments en episodis de baixa freqüència (és a dir, alta magnitud de precipitació i cabal, i amb una alta capacitat erosiva i de transport de sediment).

##### **3.1.2 Identificació i caracterització de les fonts de sediment en àrees de muntanya**

Les fonts de sediment són les àrees d'una conca hidrogràfica on es genera la major part del sediment exportat cap a la sortida.

La transferència de sediment a la xarxa hidrogràfica comporta importants problemes com la pèrdua de qualitat de les aigües, desequilibri de la dinàmica del riu o l'aterrament dels

embassaments o trams amb rescloses. El coneixement de les fonts de sediment i de la seva dinàmica facilita l'adopció d'estratègies més eficaces i menys costoses per a la restauració fluvial.

En conques forestals, com la capçalera de la riera de Santa Coloma (ús forestal > 95%), l'aportació de sediments acostuma a estar controlada per la mateixa xarxa fluvial. No obstant, en esdeveniments d'alta intensitat, com el temporal Glòria, poden intervenir altres fonts de sediments que normalment tenen un paper menor en la dinàmica ordinària. En aquestes circumstàncies és imprescindible identificar i analitzar altres fonts de sediments **com rescloses, camins forestals i tallades forestals.**

La **construcció de rescloses** comporta la retenció del sediment més groller (sorres, graves i còdols) que circula pel riu. Amb el pas dels anys el vas de les rescloses es van reblint de sediment, emmagatzemant el material indefinidament, si no es fa res al respecte. A vegades, les rescloses són abandonades al perdre la seva funcionalitat o al quedar reblertes de sediment. En aquestes circumstàncies, sinó es fa cap tipus de manteniment, una resclosa amb mal estat podria cedir o col·lapsar durant una situació extrema (crescudada), alliberant part o la totalitat del material que es trobés emmagatzemat al seu vas. Una retirada prèvia de la resclosa impediria obtenir un resultat com aquest, sempre i quan anés acompanyada de la gestió del sediment emmagatzemat.

Les tasques de **construcció d'una pista forestal**, impliquen un conjunt d'impactes mediambientals de diversa intensitat. Si aquests impactes se cenyeixen exclusivament als aspectes geomorfològics, les pistes forestals recent construïdes poden esdevenir importants àrees font de sediments, amb diversificació de processos i increment de les taxes d'erosió (Larrea, 2004). Aquesta activitat erosiva pot ser vint vegades més elevada *durant els dos primers anys* després de la seva construcció, decreixent exponencialment amb el temps (Hattinger, 1984). Tot i aquest comportament decreixent de les taxes d'erosió amb el pas del temps, el cert és que les pistes forestals continuen sent àrees productores de sediments al llarg de tota la vida útil. Batalla et al. (1995) indiquen, per exemple, que a la conca del riu Arbúcies, conca limítrofa amb la riera de Santa Coloma, el 10% de la producció de sediments és responsabilitat de la xarxa de pistes i carreteres.

Respecte a la **gestió forestal** a escala de conca hi ha poca informació a la bibliografia especialitzada al voltant dels canvis hidrològics i d'erosió dels vessants (per exemple, Jamshidi et al., 2013). La gestió forestal també inclou la rehabilitació o construcció de nous camins

forestals. Aquests es caracteritzen per presentar un pendent alt, escassos mecanismes de drenatge i una escassa compactació.

En general, els treballs forestals redueixen la massa arbustiva i arbòria, reduint la intercepció de la pluja i la infiltració del sòl. Això genera un augment de l'escolament superficial i, indirectament, de l'erosió i la mobilització del sediment. L'escassa protecció del sòl i presència d'arrelament vegetal afavoreix a les esllavissades. No obstant, perquè tot això passi cal d'un esdeveniment prou gran perquè tot aquests processos es posin en marxa, podent succeir mesos o anys després de la realització dels treballs forestals. Aquest tipus de treballs, a part de deixar sense protecció el sòl, també augmenten la quantitat de sediment disponible degut a la maquinària utilitzada. Aquestes màquines eliminen les capes superiors del sòl i alliberen partícules que són fàcilment mobilitzades en cas de precipitacions importants (Stott et al., 2001). Una cosa semblant passa després d'un incendi: la coberta vegetal no es recupera favorablement abans que es produeixin les primeres pluges, l'impacte de les gotes de pluja sobre el sòl nu contribueix a destruir els agregats, tot reduint la velocitat d'infiltració de l'aigua (Ela et al., 1992). En aquestes condicions, l'escolament (Swanson, 1981) i l'erosió superficial augmenten (Úbeda i Sala, 2001).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Bloc 2: Diagnosi del desequilibri sedimentari a la conca de la riera de Santa Coloma durant el temporal Glòria (relació conca-riu)

En aquest segon bloc es va analitzar quin ha estat el paper de la conca de la riera de Santa Coloma en l'aportació extraordinària de sediments a la xarxa fluvial mitjançant l'anàlisi d'imatges aèries i l'ús d'un model hidrològic i d'erosió (HEC-HMS v4.8).

En primer lloc, es dissenya una recerca a escala de conca mitjançant imatges aèries, anteriors i posteriors al temporal Glòria, i cartografia de referència per identificar canvis en els patrons d'ús del sòl i de la coberta vegetal (és a dir, xarxa fluvial, rescloses, densitat de camins forestals i tallades i aclarides forestals). La identificació i anàlisi de la informació s'ha realitzat amb el programa ArcMap 10.7®.

Un cop identificades les principals fonts de sediments que van participar en el temporal Glòria, es va portar a terme la reconstrucció hidrològica i sedimentària (HEC-HMS V4.8) de l'episodi amb l'objectiu de quantificar l'energia (cabal) i el sediment aportat per la conca. Amb l'hidrograma i sedimentograma resultant es va simular la crescuda amb un model hidràulic i de transport de sediments (Iber v2.4) al tram d'estudi. La reconstrucció hidràulica i sedimentària de la crescuda permet avaluar si l'entrada de sediments estimada pel model hidrològic (HEC-HMS V4.8) és suficient per alterar el perfil del riu fins assolir acumulacions de sediments amb gruixos propers als observats (1,5 metres).

A continuació es presenta tota la informació relacionada amb el desenvolupament metodològic: (i) adquisició d'imatges aèries i cartografia de referència, (ii) anàlisi de la geoinformació i (iii) reconstrucció de la dinàmica sedimentària durant el temporal Glòria.

#### 4.1.1 Adquisició d'imatges aèries i cartografia de referència

La planificació del treball de gabinet es va fer sobre la base de l'anàlisi de la geoinformació disponible de l'àrea d'estudi. Es van consultar les pàgines web de Geoserveis i Referencial Topogràfic Territorial de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Geoinformacio-en-linia-Geoserveis>) i es van descarregar els següents dades:

- Ortofotomapes dels anys 2018, 2019 i 2020 (resolució 25 cm píxel). Aquesta informació ha estat descarregada en format ECW amb un sistema geodèsic de referència ETRS89 (compatibles amb WGS84) i projectat en UTM al fus 31. La unitat de distribució espacial

coincideix amb el mínim rectangle contenidor del full que correspon a la subdivisió de 8x8 fulles del MTN50 (Mapa Topogràfic Nacional 1:50.000).

- Ortoimatges del satèl·lit Sentinel-2 del mes de gener de 2020. Imatges satèl·lit Mosaic elaborat a partir d'imatges rectificades, amb resolució espacial de 10 metres, captades pel sensor multiespectral (MSI) dels satèl·lits Sentinel-2 en el marc del programa Copernicus. Conté informació de les bandes del vermell, verd, blau i infraroig proper de l'espectre electromagnètic.
- Base topogràfica de referència a escala 1:5.000. Aquesta informació ha estat descarregada en format shapefile (.shp) amb un sistema geodèsic de referència ETRS89 (compatibles amb WGS84) i projectat en UTM al fus 31. Data de la informació és del 2020. La topografia inclou els elements de la xarxa viària. Aquesta té els atributs necessaris per a la seva categorització.
- Model Digital del Terreny – MDT15. Aquest és un model digital del terreny amb pas de malla de 15 m. Aquesta informació ha estat descarregada en format ASCII matriu ESRI (.asc) amb un sistema geodèsic de referència ETRS89 (compatibles amb WGS84) i projectat en UTM al fus 31. Cada mosaic cobreix un full del MTN50 (Mapa Topogràfic Nacional 1:50.000) .

La taula 1 recull les principals característiques dels ortofotomapes i ortoimatges satèl·lit descarregades. La imatge satèl·lit seleccionada, encara que té una menor resolució espacial que els ortofotomapes, té una millor resolució temporal (mensual).

*Taula 1. Criteris de selecció per a l'adquisició de ortofotomapes i imatges satèl·lit*

Any	Escala	Format	Tipologia	Vol (Data)	Proveïdor/Lloc cerca
2018	1:2.500	Digital	Ortofotomapes	25/07/2018	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
2019	1:2.500	Digital	Ortofotomapes	4/06/2019	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
2020	1:2.500	Digital	Ortofotomapes	25/06/2020	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
2020	1:10.000	Digital	Ortoimatges*	Gener 2020	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

\*Imatges satèl·lit (Sentinel Copernicus) modificades per l' Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

#### 4.1.2 Identificació i caracterització de les fonts de sediment a la conca

##### **Xarxa fluvial**

Es tracta d'un anàlisi a partir de la comparativa entre ortofotomapes de 25 cm de resolució espacial, un d'abans del Glòria i un altra obtingut després. A partir d'aquestes imatges s'ha buscat canvis en la xarxa de drenatge a escala de conca que presentessin testimonis d'activitat morfosedimentària (àrees d'erosió i/o sedimentació). L'observació d'àrees que han perdut massa forestal després de la riuada són indicadors de zones d'erosió (aportació), mentre que la presència de nous dipòsits de sediments a la llera o zones adjacents són testimonis d'àrees de sedimentació. Degut a que la xarxa fluvial en capçalera té una alta cobertura vegetal que dificulta observar la llera, es va completar aquesta recerca amb la visita a camp d'alguns trams de la xarxa fluvial principal.

##### **Rescloses**

La xarxa fluvial de la riera de Santa Coloma compta amb diverses construccions transversals (rescloses) que alteren la lliure circulació dels sediments riu avall. Al llarg del temps el vas de les rescloses poden quedar reblertes de sediment. Si les rescloses estan abandonades o tenen un grau de deteriorament important, aquestes podrien col·lapsar en cas d'una crescuda extraordinària, podent alliberar el material acumulat al llarg dels anys.

Per analitzar aquesta possibilitat, per un costat es va consultar l'inventari actualitzat de preses i rescloses de l'Agència Catalana de l'Aigua ([https://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html)) i per l'altre, es va aprofitar les tres visites a camps realitzades a la conca per visitar el major nombre de repeses per tal de verificar el seu estat.

Aquest inventari localitza les estructures transversals a la llera, com ara preses, rescloses, estacions d'aforament o travesses que poden suposar un obstacle a la continuïtat fluvial. Aquesta informació ha estat descarregada en format shapefile (.shp) amb un sistema geodèsic de referència ETRS89 (compatibles amb WGS84) i projectat en UTM al fus 31. La data de la informació és del 2020.

##### **Camis forestals**

Els camins forestals tenen un paper molt rellevant en la hidrologia de les conques forestals perquè concentren part important de la precipitació que reben i poden generar una gran quantitat d'escolament (Sidle et al., 2006). A més, els camins són una font de sediment important que actuen com a canals de connexió entre diferents àrees de la conca, arribant a

generar una xarxa de canals que caldria tenir en consideració en la redacció de qualsevol pla de gestió forestal (Pacheco, 2013). Diferents estudis (p.ex. MacDonald, 2002) han pogut determinar que les aportacions de sediments en camins forestals ve determinada per la densitat, pel grau de compactació i, sobretot, pel pendent. Partint d'aquestes premisses es va calcular la mitjana de la densitat i el pendent dels camins forestals a través de la base topogràfica de referència (consultar el punt 3.1.1 per més informació) i el model digital del terreny 5x5 (MDT5x5). El càlcul del pendent de cada tram de pista es pot fer mitjançant l'eina d'ArcMap 'Agregar informació de superfície' localitzada dins 'Herramientas de 3D Analyst'.

### **Tallades forestals**

En aquest apartat es farà una identificació visual de les àrees de la conca que han sofert tallades forestals durant els dos anys previs al temporal Glòria. Els criteris utilitzats per a la identificació es basen amb i) la forma, ii) la mida, iii) la textura, iv) la tonalitat i v) els colors. Un cop identificades les àrees s'han cartografiat en planta amb l'objectiu de delimitar-les i calcular la seva extensió i pendent. La cartografia s'ha realitzat a partir d'una escala de treball única per a tots els contorns, mantenint així, l'exactitud en la delimitació dels polígons. En el cas d'aquest estudi s'ha treballat a una escala 1:2500. Les imatges satèl·lit del gener del 2020 s'han utilitzat solament per verificar quines de les àrees amb tallades forestals són prèvies al temporal, ja que l'ortofotografia del 2020 és de 5 mesos posterior al temporal. En aquest anàlisi s'ha utilitzat totes les imatges aèries seleccionades en l'apartat 3.1.1. Tan la cartografia com el càlcul de l'extensió i pendent s'ha realitzat amb el programa ArcMap 10.7®.

#### **4.1.3 Reconstrucció hidro-sedimentària**

La modelització hidrològica s'ha portat a terme mitjançant l'aplicació d'un model de transformació precipitació-escolament (HEC-HMS v4.8) i, opcionalment, d'erosió i de transport de sediment. Aquest model està desenvolupat per l'Hydrologic Engineering Center (HEC), organisme governamental nord-americà depenent del United States Army Corps of Engineers (USACE) i competent en matèria hidrològica.

El programa esta dissenyat per simular la resposta d'una conca a la precipitació, determinant aquesta resposta a través d'una combinació de mecanismes hidràulics i hidrològics interconnectats. Cadascun d'aquests mecanismes constitueix un dels components del programa i fa referència a un aspecte del procés precipitació-escolament. Cada component requereix la definició d'un conjunt de paràmetres que especifiquin les seves característiques particulars, així com les relacions matemàtiques que descriuen els processos físics que hi tenen lloc. El resultat

final consisteix en l'obtenció d'un hidrograma en aquells punts de la conca on interessa el seu coneixement.

El programa HEC-HMS v4.8 també té la capacitat de calcular l'erosió i el transport de sediments d'un esdeveniment pluviomètric a escala de subconca. De manera predeterminada, les característiques dels components per al càlcul de l'erosió estan desactivades. L'erosió dins de la conca és el resultat d'una combinació de diversos processos físics, incloses les condicions posteriors al foc; condicions equivalents a les que s'observen després d'una tallada forestal. En tots els casos, l'erosió total està estretament relacionada amb la taxa de precipitació, el pendent de la superfície terrestre i l'estat de la superfície. Algunes característiques de simulació són comunes a tots els mètodes d'erosió superficial disponibles per a l'element de subconca. Cada mètode d'erosió calcula la càrrega total de sediment transportada fora de la subconca durant una tempesta.

### **Model hidrològic**

#### *A) Caracterització morfològica de la conca*

La totalitat de la conca de la riera de Santa Coloma s'ha dividit en 23 subconques per facilitar-ne l'estudi i valorar la conjunció dels cabals pic en les seves confluències. La divisió del territori s'ha dut a terme utilitzant l'aplicatiu informàtic HEC-GeoHMS, suportat pel programa ArcMap 10.7<sup>®</sup>. Aquest programa, partint d'un model digital de terreny (1:5.000, facilitat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya), és capaç de definir la xarxa fluvial principal, limitar les subconques que l'alimenten i calcular les principals característiques morfològiques que les defineixen.

El càlcul de les característiques morfològiques són les següents:

- La superfície de les subconques
- La longitud dels trams que formen la xarxa fluvial
- El desnivell dels trams que formen la xarxa fluvial

Partint d'aquestes característiques es pot calcular el pendent de la conca i el temps de concentració.

El temps de concentració ( $T_c$ , en hores) de cada subconca s'ha calculat a partir de la fórmula Témez:

(a) Aquesta fórmula s'aplica per conques considerades rurals, amb un percentatge de sòl urbà inferior al 4 %.

$$t_c = 0.3 \left( \frac{L}{J^{0.25}} \right)^{0.76}$$

(b) Conques urbanitzades, amb un grau d'urbanització superior al 4 % de l'àrea de la conca i amb urbanitzacions independents que tinguin un clavegueram de pluvials no unificat o complet. Curs principal no revestit amb material impermeable i de petita rugositat com el formigó.

$$t_c = \frac{1}{1 + \sqrt{\mu}(2 - \mu)} * 0.3 \left( \frac{L}{J^{0.25}} \right)^{0.76}$$

essent L la longitud del llit principal (km), J el pendent mitja del llit principal expressat en tant per u (m/m) i  $\mu$  el grau d'urbanització de la conca expressat en tant per u (km<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>)

#### B) Càlcul de pèrdues de la precipitació

L'estimació de la funció de pèrdues de la conca s'ha realitzat a partir del mètode del Número de Corba del Soil Conservation Service. El Número de Corba (NC) és un mètode empíric creat pel Soil Conservation Service (USDA-SCS, 1985) per al càlcul de la transformació de pluja a escolament. Aquest es basa en els tipus de sòls, els seus usos i el pendent.

El mètode del Soil Service Conservation (S.C.S.) assumeix l'existència d'un llindar d'escorrentiu ( $P_o$ ) per sota del qual les precipitacions no generen escolament.

L'equació bàsica que defineix la relació precipitació-escolament en el mètode del S.C.S. és la següent:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - P_o}$$

essent S la màxima retenció possible,  $P_e$  la part de la precipitació que produeix escolament,  $F_a$  la part de la precipitació retinguda, P la precipitació i  $P_o$  el llindar d'escolament.

La precipitació retinguda a cada instant es defineix com:

$$P = P_e + P_o + F_a.$$

La màxima retenció possible  $S$ , obtinguda d'anàlisis empíriques realitzades pel S.C.S, és:

$$P_o = 0,2 \cdot S$$

A partir d'aquí, es calcula el número de corba (NC) a través de la següent expressió:

$$NC = \frac{5000}{P_o - 50}$$

essent NC el nombre de corba.

Amb aquest paràmetres s'estableix un número adimensional que va des del 0 al 100. Per a superfícies impermeables el NC adquireix valors de 100, es a dir que tota la pluja que hi cau es transforma en escolament. Els NC s'apliquen per diferents condicions de pluja anteriors o graus d'humitat: es considera que a l'estació hivernal el sòl es troba en condicions seques (Tipus I) quan la precipitació caiguda durant els 5 dies anteriors no ha superat els 12,5 mm, normals (Tipus II) quan la precipitació es troba entre els 12,5 i els 28 mm, o humides (Tipus III) quan la precipitació supera els 28 mm.

Per a la conversió del Número de Corba entre diferents condicions d'humitat (Sec, normal i humit) s'aplica les següents equacions:

$$NC(I) = \frac{4,2 * NC(II)}{10 - 0,058 * NC(II)}$$

$$NC(III) = \frac{23 * NC(II)}{10 + 0,13 * NC(II)}$$

El *Número de corba* de cada subconca es va calcular directament de les dades del llinar escorrentiu  $P_o$  (mm) actualment disponibles per tot l'estat Espanyol. Aquestes dades es poden descarregar del web del Ministeri per a la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic (MITECO). El web posa a disposició una capa SIG del llinar d'escolament (mm) en condicions anteriors d'humitat mitjana del sòl (Tipus II). Aquesta capa ha estat generada a partir de la classificació dels usos del sòl de CORINE LAND COVER 2000 i d'acord amb la metodologia exposada en la Publicació "Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección". Editat pel CEDEX l'any 2003.

### C) Transformació pluja - escolament

Per a l'obtenció de l'hidrograma d'escolament superficial s'ha fet a partir de l'hidrograma unitari del S.C.S. (Figura 3), que és un hidrograma unitari sintètic adimensional amb un sol paràmetre a definir, el temps de retard de la punta ( $T_p$ ).

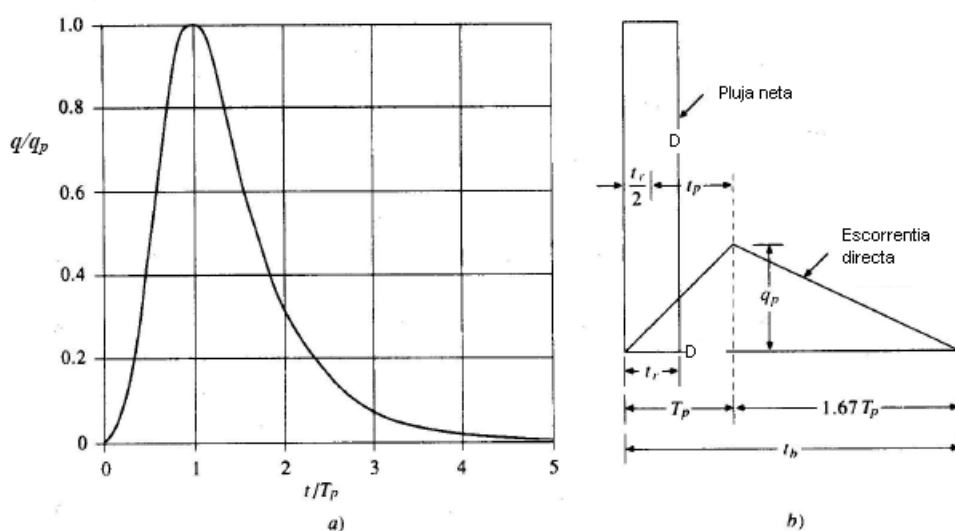


Figura 3. Hidrograma adimensional del SCS (Esquerra); b) Hidrograma unitari triangular (Dreta). Font: Chow, 1985.

Les equacions bàsiques d'aquest hidrograma són:

$$q_p = \frac{2.08A}{T_p}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p$$

essent  $A$  l'àrea de la conca en  $\text{km}^2$ ,  $T_p$  el temps en hores per al qual es produeix el cabal punta  $Q_p$  ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ).

El  $T_p$  es defineix com el retard existent entre el centre de gravetat del hietograma net i el temps  $T_p$  en que es produeix el màxim valor del cabal  $Q_p$ .

En el model HEC-HMS v4.8 el paràmetre  $T_p$  s'anomena  $T_{lag}$ . Degut a la manca de disponibilitat de dades d'avingudes reals aforades a cada conca, s'ha adoptat la següent equació per calcular-lo:

$$T_{lag} = 0,35 \times T_c$$

essent  $T_c$  el temps de concentració de la conca.

#### *D) Propagació de cabals*

En general, quan no es disposa de dades per al calibratge de la propagació de l'hidrograma, com és el cas, és preferible l'ús de mètodes amb una clara fonamentació hidràulica, com ara els de propagació distribuïda o el de Muskingum-Cunge, perquè és més fàcil d'estimar els seus paràmetres, bàsicament el coeficient de rugositat de Manning  $n$ .

Cunge (1969) va proposar un mètode basat en el de Muskingum, però que té en compte alguns conceptes presos de l'aproximació de l'ona cinemàtica. L'equació de Muskingum, en la notació utilitzada per a l'ona cinemàtica, pot escriure's com:

$$Q^1 X_1 = C_1 Q^1 X_0 + C_2 Q^0 X_0 + C_3 Q^0 X_1$$

En la qual, els coeficients  $C_1$ ,  $C_2$  i  $C_3$  depenen dels paràmetres  $K$  i  $X$ . Cunge va demostrar que quan  $K$  i  $\Delta t$  es prenen com constants, aquesta és una solució aproximada de les equacions d'ona cinemàtica, sent els valors de  $K$  i  $X$  iguals a:

$$K = \frac{\Delta x}{c_k}$$

corresponent a  $Q$  i  $B$ ,  $B$  és l'ample de la superfície d'aigua i  $S_0$ , el pendent mitja del tram del llit. Aquest mètode té l'avantatge que la solució s'obté a través d'una equació algebraica lineal, la qual cosa permet que l'hidrograma pugui obtenir-se només en les seccions requerides en lloc de tots els punts de la malla com requereix el model d'ona cinemàtica, la qual cosa també produirà una menor atenuació numèrica.

A Espanya s'acostuma calcular el factor  $K$ , considerant vàlida l'aproximació de l'ona cinemàtica i l'equació de resistència de Manning, per la qual cosa, la celeritat,  $c_k$  seria igual a 5/3 la velocitat de l'ona d'avinguda. Si calculem la velocitat de l'ona com  $\Delta x/T$ , on  $T$  és un temps de concentració del fluid en el tram i utilitzem per a calcular-ho la fórmula de Témez, s'arriba a la següent equació

$$K = 0.6 \cdot T_c = 0.18 \cdot \left( \frac{\Delta x}{S_0^{0.25}} \right)^{0.76}$$

per a  $K$ :

On  $\Delta x$  ha d'introduir-se en km,  $S_0$  en m/m i  $K$  quedaria expressat en hores.

Els valors de  $\Delta x$  i  $\Delta t$  s'han d'escollir de tal manera que assegurin l'estabilitat i l'exactitud del procés de càlcul, unes condicions que el programari HEC-HMS v4.8 obté automàticament.

Les tècniques de propagació agregada o hidrològica Muskingum-Cunge es fa servir tram a tram des d'aigües amunt fins a aigües avall. Amb aquesta tècnica només es pretén obtenir l'hidrograma de cada subconca propagat en el punt de desguàs de la conca de la riera de Santa Coloma. Dins d'aquest mètode cal destacar la variant de Muskingum-Cunge de vuit punts que, a més de permetre un grau de flexibilitat alhora de definir la secció representativa del tram (morfologia i rugositat), divideix el tram per intervals, de manera que el flux es recalcula en cada interval, com també es recalculen els valors de  $K$ ,  $X$  i  $c$ .

Com ja s'ha vist, aquestes tècniques no permeten la simulació dels efectes dels rabeigs i, per tant, no poden propagar cap pertorbació aigües amunt. Malgrat aquesta limitació, aquest tipus de mètodes ofereix els avantatges de la simplicitat i l'eficiència computacional. A més a més, dins del seu rang d'utilització limiten els errors a valors acceptables.

#### *E) Anàlisi de les dades de precipitació*

Aquest punt té dos objectius:

- Determinar la precipitació antecedent d'abans de la crescuda. Això permetrà determinar les condicions d'humitat antecedent del sòl.
- Definir els hietogrames responsables de la crescuda a escala de subconca (Model meteorològic).

Tota aquesta informació s'ha obtingut dels camps de precipitació generats pel programari EHIMI (Coll et al., 2010) i han estat facilitades pel Servei Meteorològic de Catalunya. Aquests productes corresponen a la combinació d'imatges radar d'alta resolució (1km x 1km) corregides amb registres històrics de precipitació recollits en múltiples estacions meteorològiques repartides per tot el territori de Catalunya (Trapero et al., 2013; Tuset et al., 2016). La correcció de les imatges es realitza a través d'un software desenvolupat pel Centre d'Investigació Aplicada sobre la Hidrometeorologia (CRAHI) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), EHIMI (Coll et al., 2010). Els camps de precipitació, d'una resolució temporal horària, són tractats amb el software ArcMap 10.7.

#### *F) Calibratge del model hidrològic*

Al confeccionar el model, totes les dades introduïdes (excepte, probablement, les de caràcter morfològic) són susceptibles a tenir errors al ser fruit d'estimacions teòriques. Si disposem de dades de cabals, podem afinar les dades comparant els resultats obtinguts pel model (estimats) amb els cabals que realment es van registrar (observats). En cas que la comparació entre ells no sigui satisfactòria, es pot canviar els valors de les variables d'entrada per veure si els resultats estimats s'ajusten millor a la realitat. Aquest calibratge també es pot fer automàticament des del mateix HEC-HMS v4.8 i s'anomena optimització.

L'optimització es pot fer sobre tots aquells elements del model que poden tenir una repercussió en la resposta hidrològica estimada. De cada element del model (subconca, tram, etc.) es pot especificar el paràmetre que volem optimitzar (T de retard, número de corba, etc.). El programa buscarà aquells valors del paràmetre que generin un millor ajust.

Per a l'esdeveniment en estudi es disposa de les dades de cabal (hidrograma complet) a escala 5-minutal de l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel), situada just a la sortida de la conca de la riera de Santa Coloma, al mateix punt on el model hidrològic acaba.

### **Model sedimentari**

El programari HEC-HMS v4.8 presenta fins a set mètodes per calcular l'erosió a escala de conca. Es pot aplicar a totes les subconques el mateix mètode per calcular l'erosió o una diferent a les altres si s'escau. En aquest cas, s'ha seleccionat el mètode: *USGS Emergency Assessment Debris Model* (Gartner et al., 2014) per a les 3 subconques responsables d'aportar el sediment al tram d'estudi (és a dir, R40W40, R50W50 i R30W30 segons la nomenclatura i distribució del model hidro-sedimentari; figura 4). Aquest mètode d'estimació d'erosió es va afegir a l'HEC-HMS per a la versió 4.8. L'objectiu del mètode és estimar el volum de sediment aportat per un esdeveniment hidrològic des d'una àrea cremada recentment, 2 anys com a màxim. La susceptibilitat potencial a l'erosió d'una àrea cremada és semblant a l'observada a una àrea que ha sofert una tallada forestal, tal com s'ha comentat en el punt 3. Per aquest motiu, s'ha cregut convenient utilitzar el model de l'USGS per predir la transferència de sediment durant el temporal Glòria des de les àrees de la conca que han sofert treballs forestals en els últims 2 anys.

El model calcula el volum de producció de sediments en funció de tres paràmetres que cal definir: (1) la intensitat màxima de la precipitació amb intervals de 15 minuts, (2) l'àrea de la conca hidrogràfica cremada amb severitat moderada o alta i (3) el desnivell màxim de la conca hidrogràfica. El desnivell descriu la quantitat d'energia disponible per transportar el material pendent avall. El model també demana introduir la corba de distribució granulomètrica. El model de predicció es va desenvolupar a partir d'una base de dades de 92 esdeveniments generats per corrent d'arrossegalls i crescudes amb una alta concentració de sediments. Una part d'aquets esdeveniments (n=32) es van guardar per validar el model d'avaluació d'emergència (per més informació, Gartner et al., 2014).

#### **4.1.4 Reconstrucció hidràulica i de transport de sediments**

El model hidro-sedimentari (HEC-HMS v4.8) genera l'estimació de la resposta hidrològica i sedimentària, definint la distribució temporal de les aportacions de cabal (hidrograma) i sediment (sedimentograma) en el tram d'estudi durant el temporal Glòria. En la reconstrucció hidrològica s'ha pogut calibrar el model hidrològic i generar un hidrograma ajustat a la realitat, mentre que l'estimació de l'aportació de sediments és fruit d'un model empíric que caldria verificar d'alguna manera.

Es proposa reproduir la crescuda generada pel temporal Gloria amb un model hidràulic (Iber v.2.6) amb l'objectiu d'intentar reproduir la dinàmica sedimentària observada en el tram d'estudi. El model simularà la propagació del cabal i la dinàmica sedimentària (erosió, transport

de sediments i sedimentació) del sediment aportat per la conca en el tram d'estudi (dades de cabal i sediment facilitades pel model hidrològic, HEC-HMS v4.8). El geometria inicial del model hidràulic es defineix amb la topografia de la llera registrada abans de la crescuda (és a dir, el MDT de l'any 2016). Al final de la simulació, es comparà la topografia modificada per la dinàmica sedimentària de la crescuda amb l'obtinguda a la tardor del 2021, i considerada com a la resultant del temporal.

#### **A) Descripció del model hidràulic i de transport de sediments**

La modelització hidràulica s'ha realitzat amb un model hidràulic, l'Iber v2.6 ([www.iberaula.es](http://www.iberaula.es)). Aquest és un programa matemàtic bidimensional per a la simulació de fluxos de superfície lliure en rius i estuaris (Bladé et al., 2014) i ha estat desenvolupat en col·laboració entre el Grup d'Enginyeria de l'Aigua i del Medi Ambient, GEAMA (Universitat de la Corunya, UDC) i l'Institut FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC) i el Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria, (CIMNE).

El programa Iber sorgeix com a resposta a l'interès mostrat pel Centre d'Estudis Hidrogràfics del CEDEX per a disposar d'una eina que faciliti l'aplicació de la legislació sectorial vigent en matèria d'aigües, especialment en els requeriments derivats de la Directiva marc de l'Aigua, la Instrucció de planificació hidrològica, la Directiva d'Inundacions o el Pla Nacional de Qualitat de les Aigües. El programa utilitza dades topogràfiques i equacions de dinàmica de fluids per simular el flux de superfície lliure en rius i estuaris.

El programa Iber, en el seu mòdul hidrodinàmica, resol les equacions de flux en làmina lliure per a aigües poc profundes (equacions de St. Venant 2D). A més d'això, tant en el mòdul hidrodinàmic com en el de turbulència i el de transport de sediments, es resolen les equacions en forma integral pel mètode de volums finits en una malla estructurada.

#### **B) Construcció del model hidràulic i de transport de sediments**

El model engloba un tram de la riera de Santa Coloma de 700 metres de longitud, delimitat en el seu extrem més meridional per la resclosa situada aigua amunt del torrent dels Frares. Per generar el model hidràulic cal: (a) importar la geometria del tram en data prèvia al temporal (abans del 2020), (b) assignar els paràmetres d'entrada (rugositat, model de turbulència, etc.), (c) assignar les condicions de contorn i inicials, (d) assignar les opcions generals de càlcul (temps de càlcul, paràmetres de l'esquema numèric), (e) activació de mòduls addicionals (transport de sediments) i, finalment, (f) construir una malla de càlcul.

Les condicions de contorn i inicials, així com la major part de paràmetres d'entrada es poden assignar tant sobre la geometria, com sobre la malla. Les condicions assignades sobre la geometria es traspassen a la malla al crear-la.

(a) S'ha creat una geometria a partir del MDT del 2016. Aquesta geometria està formada per una xarxa regular de quadrats amb una mida de cel·la de 2 metres.

(b) L'Iber disposa d'una eina per definir la rugositat directament a la geometria del model, que prèviament s'ha relacionat amb un ús del sòl. La definició d'aquests usos del sòl s'ha dut a terme a partir de l'anàlisi de l'ortofotomapa de la zona (1:2500), de la cartografia d'usos i cobertes del sòl a Catalunya de l'any 2017 i de les observacions realitzades durant les visites de camp, permetent identificar i cartografiar a detall els usos del sòl existents (Figura 4). Cada ús del sòl se li ha atribuït un valor de rugositat (Taula 2) mitjançant diverses taules de referència (Chow, 1985; Sánchez i Lastra, 2011). En el cas de la llera, al ser tota de sorres, la rugositat s'ha calculat tenint en compte les característiques granulomètriques del tram. El valor de rugositat  $n$  s'ha calculat en base a l'aproximació d'Strickler (1923):

$$n = 0,047 * (D_{50})^{1/6}$$

on  $D_{50}$  correspon al percentil 50 o mediana de la distribució granulomètrica del substrat (valors expressat en metres).

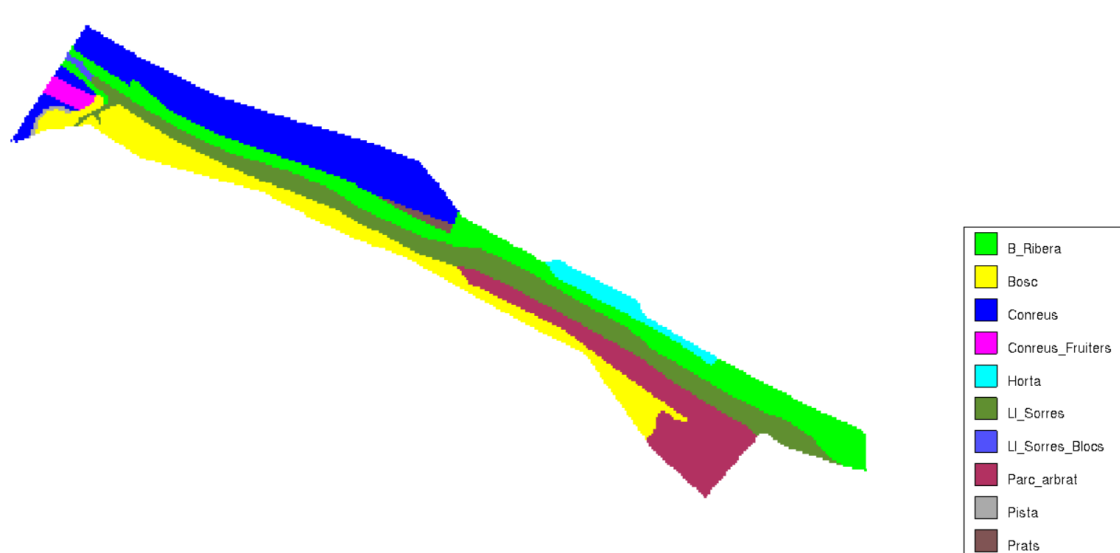


Figura 4. Distribució dels usos del sòl a la malla del model hidràulic

Taula 2. Relació establerta entre els usos del sòl i el coeficient de rugositat de Manning aplicat

Usos del sòl	Coefficient de rugositat de Manning (n)
Bosc de Ribera	0,075
Bosc	0,070
Conreus	0,040
Conreus fruiters	0,060
Horta	0,040
Llera de sorres	0,016
Llera de sorres i blocs	0,030
Parc arbrat	0,090
Pista	0,045
Prats	0,035

(c) La condició de contorn d'entrada és en règim subcrític i correspon a l'hidrograma resultant en la reconstrucció hidrològica del temporal. Les condicions de contorn de sortida del model s'han definit amb règim subcrític allà on hi ha la resclosa i amb regim supercrític/crític a la resta del límit meridional del tram. La resclosa té una cota a capçalera de 128.12 m i se li ha assignat un coeficient de 1,6.

Com a condicions inicials, s'ha especificat que tots els elements de la malla estan secs (calat nul).

(d) El temps màxim de simulació és de 188.000 segons, el mateix temps de l'hidrograma. L'increment de temps en el càlcul és d'1 segon i de 300 segons per a l'obtenció de resultats.

L'esquema numèric utilitzat ha estat de segon ordre. L'esquema numèric de primer ordre és menys precís i no aconsellat quan treballem amb el mòdul de transport de sediments. El límit sec-mullat s'ha definit com 0.01 m.

(e) Per a la simulació s'ha activat el mòdul de transport de sediments amb càrrega de fons. Això ha comportat definir diferents paràmetres que el model necessita per tal de calcular el transport de sediments i les modificacions en la topografia fruit de l'erosió i la sedimentació ocasionada. En aquest sentit s'ha introduït el sedimentograma obtingut en el model hidrològic, com entrada de sediments al model hidràulic. El model seleccionat per realitzar el càlcul de transport de sediments és el d'Engelund - Hansen (1967), considerat el més adequat per un riu perenne de sorres i graves segons Batalla i Sala (1996). Aquest model demanda la definició d'una sèrie de paràmetres:  $D_{50}$  (0,00136 m), porositat (0,4), angle de fricció interna (0,55) i densitat relativa (2,65 t m<sup>3</sup>). També s'ha activat el 'modelo de Avalancha' i s'ha definit l'instant d'inici de càlcul del transport de fons a l'arribar als 1000 segons en la simulació. La mida del  $D_{50}$  al tram està determinat pels resultats de l'estudi granulomètric del material superficial (consultar l'annex 1 per més informació).

(f) La construcció de la malla de càlcul s'ha fet mantenint la resolució del MDT inicial, on cada superfície de la geometria és transformada amb un element de la malla.

Els resultats en el moment final de cada modelització s'han transformat a format ràster amb una resolució de cel·la de 2 metres.

#### **4.2 Bloc 3: Plantejament d'actuacions de millora per facilitar la recuperació morfosedimentària de la riera de santa Coloma**

La presència de rescloses al tram d'estudi ha alterat la dinàmica natural de la riera, atrapant part del sediment transferit per la conca. Això ha comportat un impacte en l'estat morfològic i ecològic de la riera. En aquest context, es pretén dimensionar i analitzar un seguit d'actuacions encaminades a naturalitzar la dinàmica sedimentària de la riera mitjançant l'eliminació total o parcial de les rescloses existents.

En aquest context, es planteja una sèrie d'actuacions en base a les alternatives que proposa la literatura per aquest tipus de problemàtiques. Finalment, la proposta seleccionades es dimensionarà en funció dels resultats de l'anàlisi del règim hidrològic i de la modelització de la mateixa en un model hidràulic i de transport de sediments.

##### **4.2.1 Estudi d'alternatives en la gestió del sediment acumulat durant el desmantellament de rescloses**

Amb l'objectiu de tenir una visió el més actualitzada possible quant a les diferents problemàtiques relacionades amb el desmantellament de rescloses, i les principals metodologies per dur-los a terme s'ha realitzat una extensa revisió bibliogràfica.

És difícil trobar casos d'estudi a la bibliografia en què les metodologies es puguin extrapolar directament, ja que cada conca té les seves peculiaritats. És per això que a l'hora d'elaborar una guia de propostes ens hem decantat per una alternativa concreta, sinó en una combinació i dissenyant un model adaptatiu, en què les mesures s'aniran adoptant en funció de la resposta del sistema fluvial a l'actuació proposada.

##### **4.2.2 Anàlisi del règim hidrològic**

El coneixement del règim hidrològic és el primer pas en qualsevol procés de recuperació o rehabilitació d'un riu degradat, ja que el cabal és la principal variable en el funcionament del sistema fluvial. Els cabals hidrològics més importants són els anomenats cabals dominants o formadors, és a dir, els cabals que tenen un paper més rellevant en la construcció de la geometria (morfologia) i estabilitat de la llera. Generalment es tracta dels cabals de crescudes

ordinàries, crescudes amb una alta energia i relativa alta freqüència. Aquests cabals mobilitzen sediments, activen i regulen els processos d'erosió i de transport de sediments. Conèixer aquests cabals i el règim hidrològic del tram és fonamental en qualsevol actuació de restauració morfològica, ja que les actuacions es poden ajustar a l'energia que comporten les crescudes i a la temporalitat del règim hidrològic.

En aquest context, es pretén realitzar un anàlisi del règim hidrològic i de crescudes, i la determinació de paràmetres hidrològics (volum d'escolament, cabals màxims, forma de l'hidrograma i recurrència de cabals) de les crescudes en règim natural a la riera de Santa Coloma. Actualment, l'única estació operativa amb informació hidrològica disponible a la riera de Santa Coloma és l'EA081 (Fogars de la Selva, Pont Eiffel). Aquesta sèrie de dades ha estat amablement cedida per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), i està composta pels cabals diaris i els cabals màxims instantanis anuals des del 26 de setembre de 1995 fins al 3 de març de 2022, a més de dades amb freqüències de cinc minuts (cincminutals) de diferents episodis de crescuda recents (14/11/2018, 20/01/2020 i 21/04/2020). La taula 3 mostra un resum de les diferents sèries hidrològiques utilitzades per elaborar aquest estudi.

Taula 3. Taula sintètica de les sèries de dades utilitzades per a l'anàlisi hidrològica de la riera de Santa Coloma

<b>Diaris</b>						
<b>Estació (Codi)</b>	<b>Inici</b>	<b>Final</b>	<b>Total (Anys)</b>	<b>Total (dies)</b>	<b>Blancs</b>	<b>% Blancs</b>
<b>Santa Coloma, Fogars de la Selva (EA081)</b>	1995	2022	27	9654	843	8,7

<b>Cincminutals</b>						
<b>Estació (Codi)</b>	<b>Inici</b>	<b>Final</b>	<b>Total (dies)</b>	<b>Total (registres)</b>	<b>Blancs</b>	<b>% Blancs</b>
<b>Santa Coloma, Fogars de la Selva (EA081)</b>	14/11/2018 00:00	20/11/2018 00:00	6	1729	0	0
<b>Santa Coloma, Fogars de la Selva (EA081)</b>	20/01/2020 00:00	24/01/2020 00:00	4	1152	0	0
<b>Santa Coloma, Fogars de la Selva (EA081)</b>	21/04/2020 00:00	24/04/2020 00:00	3	864	0	0

<b>Q<sub>ci</sub></b>						
<b>Estació (Codi)</b>	<b>Inici</b>	<b>Final</b>	<b>Total (Anys)</b>	<b>Total (Anys)</b>	<b>Blancs</b>	<b>% Blancs</b>
<b>Santa Coloma, Fogars de la Selva (EA081)</b>	1995	2022	27	27	0	0,00

Aquestes sèries han estat analitzades a diferents escales temporals, des d'aportacions anuals, a cabals mitjans mensuals, cabals mitjans diaris, fins a freqüències temporals cinc minuts.

La sèrie de dades diàries consta de 27 anys (Figura 5), fet que suposa que els resultats que se'n poden obtenir són força robustos, encara que normalment per a aquest tipus d'estudis es recomanen sèries d'almenys 30 anys de durada. La presència de buits a les sèries pot generar

anomalies en els resultats dificultant-ne la interpretació, però aquests s'han tingut en compte per a les anàlisis.

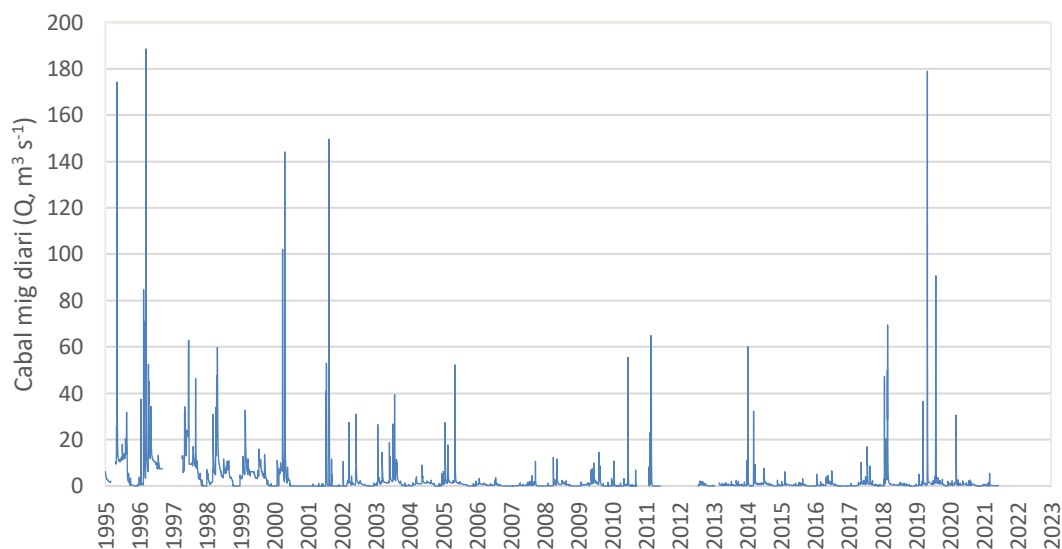


Figura 5. Sèrie de cabals mitjans diaris de la Riera de Santa Coloma a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva

Com es pot veure a la taula 3, a més de les **sèries de cabal de freqüència diària**, han estat utilitzades les sèries de **cabals màxims instantanis** anuals. Aquestes sèries són de gran importància, ja que gràcies a elles es pot fer una anàlisi de freqüència-magnitud: calcular la magnitud de les crescudes associada a diferents **períodes de retorn**. Hi ha diversos mètodes que es fan servir per al càlcul de la probabilitat que un cabal sigui igualat o superat en un període de temps donat (per exemple, 1, 2, 5, 10, 25 anys). Les distribucions més usades per a la predicció de valors extrems solen ser Gumbel, Log-Pearson, arrel quadrada del tipus exponencial (SQRT-ET max) (Draper i Smith, 1981; Etoh, Murota i Nakanishi, 1987). Actualment hi ha aplicacions o programes que calculen els diferents períodes de retorn d'un cabal a partir de les sèries de valors màxims anuals. En el aquest cas, s'ha utilitzat el programa "Retorn" creat per l'institut Flumen de la Universitat Politècnica de Catalunya ([https://www.flumen.upc.edu/en/documents/software/retorno2\\_0-2.zip/view](https://www.flumen.upc.edu/en/documents/software/retorno2_0-2.zip/view)), el qual utilitza les distribucions Gumbel, Log-Pearson Tipus III i SQRT-ETmax.

#### 4.2.3 Propostes per a la gestió del sediment atrapat a la riera de santa Coloma a l'alçada del parc de sant Salvador

Es planteja un model de rehabilitació adaptativa. Aquest model es basa en l'adaptació de les mesures a prendre en funció de la resposta del sistema fluvial a l'actuació. En conseqüència, la proposta ha de tenir més d'una fase de disseny i execució. El disseny de la primera fase no es pot avaluar prèviament i s'ha de fer virtualment mitjançant modelització hidràulica i de transport de sediments. El model és capaç reproduir la dinàmica sedimentària (resposta) del tram enfront una entrada de cabal i de sediments. D'aquesta manera l'avaluació virtual de l'actuació possibilita l'ajust de les dimensions de la proposta per tal d'obtenir una resposta satisfactòria i el més econòmica possible.

### **Avaluació i ajustament de la proposta d'actuació**

Es tracta d'un procés iteratiu de proposta-resposta que es realitza mitjançant el programari IBER v2.6. S'ha aprofitat el mateix model hidràulic que es va fer servir en la reproducció hidràulica i de transport de sediments del temporal Glòria al tram d'estudi.

Les variables de disseny que cal dimensionar de l'actuació són el rebaix la resclosa (nova cota del llavi) i el volum i la localització del sediment que es pretén extreure per mitjans mecànics. Com més baix sigui aquest volum més econòmica serà l'actuació i més fàcil serà que s'acabi executant.

Es va simular amb el model IBER v2.6 la *no eliminació* i l'*eliminació parcial* de la resclosa per un rebaix d'1/3 i d'1/2 de l'alçada original. L'entrada d'aigua a totes les simulacions correspon a una crescuda equivalent a la màxima crescuda ordinària ( $Q_{\max}=47,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) i a una morfologia de l'hidrograma semblant a l'estimada el segon dia del temporal Glòria al tram d'estudi mitjançant el model hidrològic (consultar el punt 5.1.2 per més informació).

Com no hi ha dades del cabal sòlid d'entrada que la crescuda pot comportar, l'estimem. Per generar el sedimentograma es fa una primera simulació amb aigua clara de la situació actual (*no eliminació*). El model simularà l'erosió del canal generat per la crescuda i el transport del sediment erosionat fora el tram d'estudi. Es considera que el sedimentograma generat a la sortida del model és representatiu del cabal sòlid d'entrada en la situació actual, i com a tal, s'utilitzarà com a sedimentograma d'entrada en totes les simulacions.

En les modelitzacions amb *eliminació parcial de la resclosa* es va extreure prèviament a la simulació part del sediment atrapat immediatament aigua amunt de la resclosa. En funció del resultat s'ajusta el volum d'extracció i s'intenta concentrar al màxim a la zona més propera a la resclosa, tot intentant no generar un pendent que acceleri massa l'erosió remuntant i,

conseqüentment, el bolcatge en massa del sediment riu avall. L'ajustament del MDT s'ha realitzat amb una eina GIS (ArcMap 10.7®).

## 5 RESULTATS

### 5.1 Bloc 2: Diagnosi del desequilibri sedimentari a la conca de la riera de Santa Coloma durant el temporal Glòria (relació conca-riu)

#### 5.1.1 Identificació i caracterització de les fonts de sediment a la conca

##### Xarxa fluvial

La capçalera de la riera de Santa Coloma, aigua amunt del parc de Sant Salvador, amb un % de cobertura forestal del 95%, no presenta suficients indicis d'erosió a la xarxa fluvial que puguin explicar l'alta aportació de sediments observats al tram d'estudi durant el temporal Glòria. En cas que l'alteració hagués estat significativa, s'hagués pogut determinar la magnitud de noves àrees d'aportació de sediments a partir de tècniques de teledetecció. Una manera de fer-ho és calculant l'índex de vegetació NDVI (de l'anglès Normalized Difference Vegetation Index; p. ex. Batalla et al 2020) d'abans i després de la crescuda. Amb aquest índex es pot determinar l'àrea de la conca que ha perdut vegetació i que és altament susceptible a ser erosionada. Solament, el tram de la riera al seu pas pel viver Maçaneda la crescuda va ser capaç d'alterar l'estabilitat de la llera i eliminar part de la vegetació de la ribera, generant tan noves àrees d'erosió com de sedimentació (Figura 6).



Figura 6. Fotografies aèries del meandre de la riera de Santa Coloma al seu pas pel viver de Maçaneda dels anys 2019 i 2020. A la imatge de l'esquerra (any 2019) la riera es troba totalment tapada per la vegetació de ribera, mentre que a la imatge de la dreta (any 2020) part de la vegetació de ribera ha estat eliminada per la crescuda ampliant l'amplada de la llera activa i les àrees font de sediments. Al mateix temps, s'observa la generació d'una barra de sediments en el punt on la llera s'ha fet més ampla.

##### Resclosos

La xarxa principal de la riera de Santa Coloma compta amb 12 resclosos aigua amunt del parc de Sant Salvador (Figura 7, [https://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html)). Totes són de mida petita o mitjana. Segons la informació recopilada durant la realització de l'estudi, cap d'elles va

col·lapsar durant el temporal Glòria. En aquest context, és d'esperar que també van actuar com a trampes de sediments. No obstant, no es pot assegurar que alguna d'elles col·lapses, ja que no va ser possible visitar-les totes.

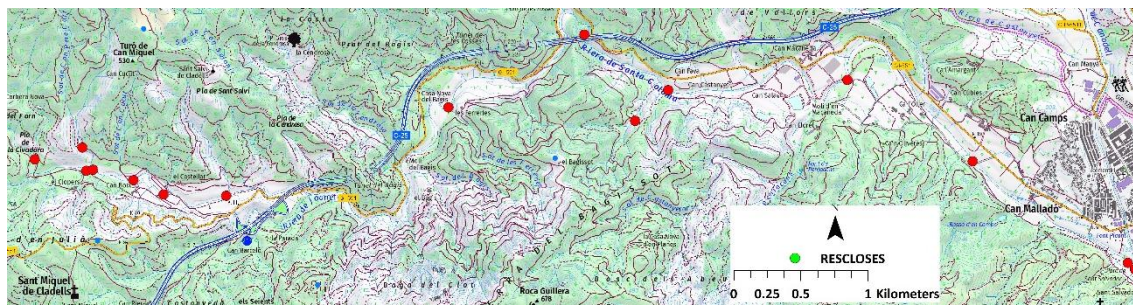


Figura 7. Rescloses de la riera de Santa Coloma inventariades en la cartografia de preses i rescloses de l'Agència Catalana de l'Aigua ([https://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html)).

### Camins forestals

La capçalera de la riera de Santa Coloma agrupa una xarxa de camins forestals amb una longitud total de 830 km. Això equival a una densitat de 154 metres de camins forestals per hectàrea (m/ha), un ordre de magnitud superior al que es considera òptim alhora de dissenyar camins per a l'aprofitament forestal (20-30 m/ha; Elorrieta et al., 2006).

El pendent mig dels camins forestals és del 9%, amb una mitjana dels trams més empinats del 13%. A les publicacions consultades (per exemple, Guerra Sánchez, 2019) s'estableix que el pendent longitudinal ha de ser inferior a 15% en la majoria de la seva extensió, amb màxim de 20% en punts concrets.

La xarxa de camins forestals es troba sobredimensionada en relació a la superfície de la conca i a l'activitat principal que s'hi porta a terme (treballs forestals). Fet que afavoreix la generació d'escolament superficial, erosió i transport de sediment. No obstant, són els camins forestals de recent construcció (2 anys) els que tenen una alta susceptibilitat a l'erosió i a la transferència de sediment vessant avall. La majoria d'aquets camins es construeixen i/o es rehabiliten per realitzar treballs forestals. Aquets es caracteritzen per presentar un alt pendent, escassos mecanismes de drenatge i una escassa compactació. Per aquest motiu, l'anàlisi de la producció de sediments de les àrees afectades per tallades forestals inclou com a productors de l'activitat els mateixos camins forestals.

### Tallades forestals

En l'anàlisi de les fotografies aèries es va detectar una important activitat silvícola (tallades forestals) en els dos anys anteriors al temporal Glòria (2018 i 2019), arribant a una extensió

pròxima als 1,2 km<sup>2</sup> (Figura 8). Concretament, l'àrea de les tallades forestals a les subconques R40W40, R50W50 i R30W30 és de 0,17, 0,25 i 0,74 km<sup>2</sup>, respectivament, mentre que el desnivell a cada subconca és de 723, 594 i 786 metres, respectivament.

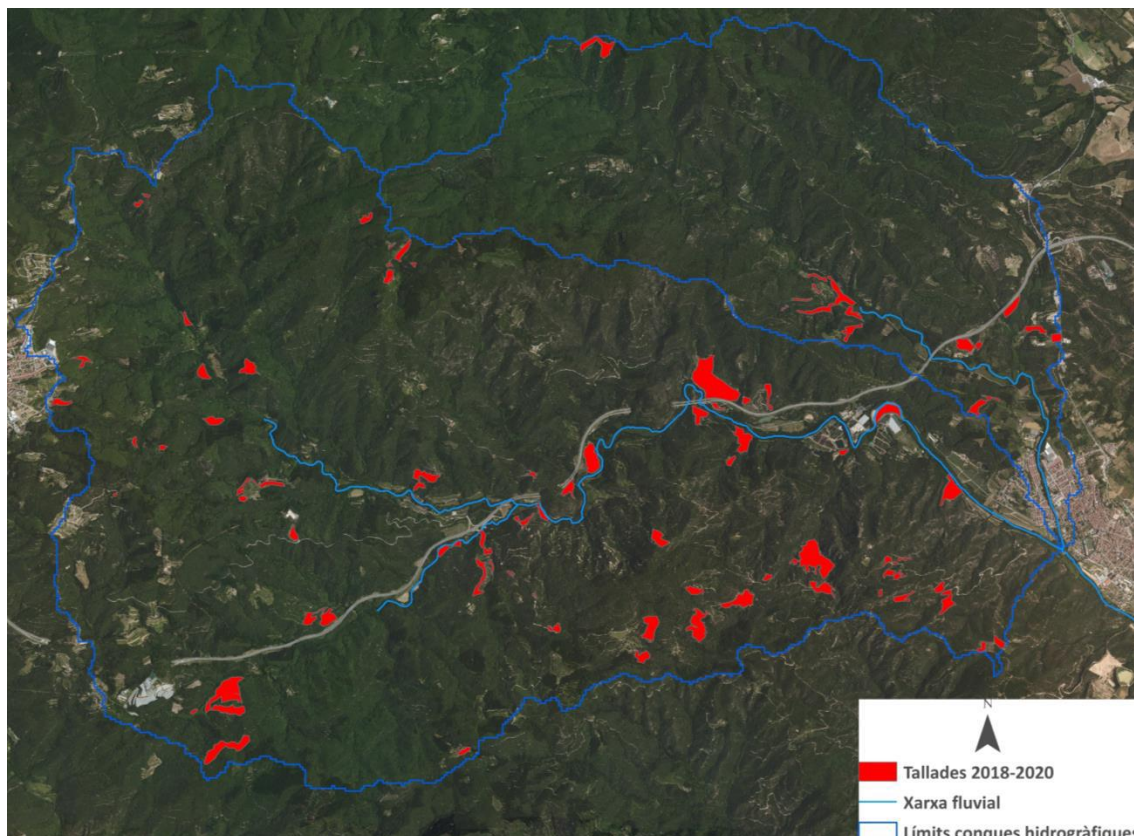


Figura 8. Delimitació de les tallades forestals realitzades a la capçalera de la conca de la riera de Santa Coloma entre el 2018 i el temporal Glòria (21-23 de gener de 2020).

En aquestes àrees es van observar un gran nombre de xaragalls i torrents on la secció del canal estava sobredimensionada en relació a la mida de la conca contributiva (Figura 9). La falta de cobertura vegetal va augmentar la susceptibilitat erosiva del terreny i la magnitud i el volum de l'escolament superficial, sobretot, durant el temporal Glòria. Aquesta informació va ser fonamental per estimar l'aportació potencial del sediments que aquestes àrees (tallades forestals i pistes de recent construcció) poden generar mitjançant un model hidrològic i d'erosió (HEC-HMS v4.8).

Segons els resultats, les pistes forestals de construcció recent i les tallades forestals dels darrers dos anys són les àrees responsables de les principals aportacions de sediment durant el temporal Glòria.



Figura 9. (Esquerra) Xarxa fluvial sobredimensionada per la falta de vegetació que controli la generació d'escolament i l'erosivitat del sòl. (Dreta) Imatge d'una la secció sobredimensionada (6-7 m<sup>2</sup>) d'un torrent amb una conca vessant de solament 13.000 m<sup>2</sup>.

### 5.1.2 Reconstrucció hidrològica

#### a) *Variables morfològiques i hidrològiques d'entrada al model*

La simulació del temporal Glòria a la conca de la riera de Santa Coloma es realitza a través d'un conjunt de 23 subconques interconnectades (Figura 10), de tal manera que cadascuna d'elles es pot representar a través de paràmetres que reflecteixen les seves condicions morfològiques i hidrològiques mitjanes (Taula 4).

La xarxa fluvial està formada per 11 trams (reach) que tenen el paper de transferir l'escolament generat en cada subconca cap a la sortida del model. La taula 5 recull les principals característiques que defineixen aquets trams de riu.

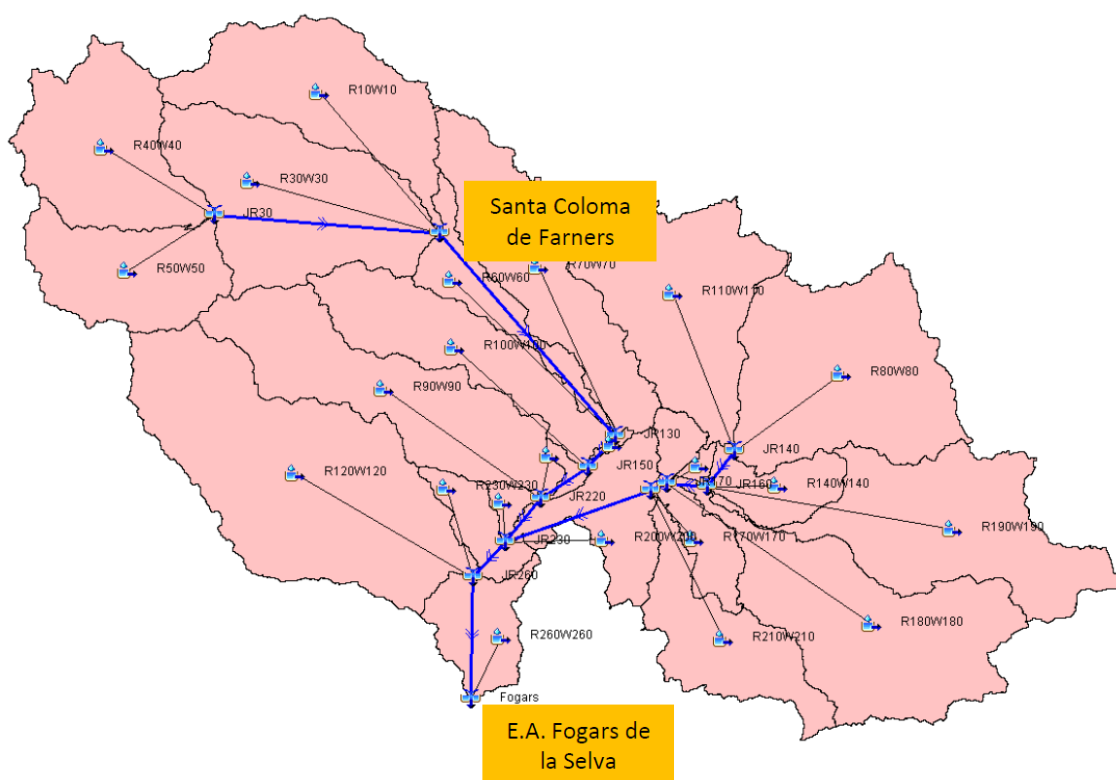


Figura 10. Distribució topogràfica de la xarxa fluvial i subconques que formen el model hidrològic.

Taula 4. Principals característiques morfològiques i hidrològiques de cada subconca.

Subconca	Àrea (km <sup>2</sup> )	Tlag (min)	NC (*)
R40W40	17,67	60	67.4
R50W50	13,63	62	67.5
R30W30	24,18	79	79.8
R10W10	19,07	72	77.7
R70W70	18,16	88	72.1
R60W60	6,38	77	72.4
R100W100	14,72	77	80.5
R130W130	0,33	22	50.6
R90W90	22,00	95	65.5
R150W150	0,89	28	73.7
R80W80	26,74	88	61.3
R110W110	23,95	85	73.9
R190W190	23,47	106	62.4
R140W140	5,38	44	65.0
R180W180	26,31	85	68.9
R160W160	0,61	25	40.7
R210W210	12,24	65	84.6
R170W170	5,98	50	82.2
R200W200	9,23	73	79.8
R220W220	1,21	22	77.3
R120W120	38,47	117	61.3
R230W230	4,06	39	81.9
R260W260	6,83	44	74.7

\* El valor del número de corba ve determinat pel Po i la humitat antecedent del sòl

Taula 5. Principals característiques dels trams que conformen la xarxa fluvial.

Trams	Longitud (m)	Pendent (m/m)	Coeficient rugositat de manning		
			Marge Esquerra	Canal	Marge Dret
R30	9893	0,0163	0,075	0,03	0,075
R60	8364	0,0057	0,075	0,03	0,075
R130	1281	0,0039	0,075	0,03	0,075
R150	1833	0,0039	0,075	0,03	0,075
R220	1807	0,0032	0,06	0,03	0,075
R140	690	0,0004	0,04	0,03	0,075
R160	1529	0,0012	0,05	0,03	0,05
R170	532	0,0004	0,06	0,03	0,075
R200	4695	0,0010	0,075	0,03	0,075
R230	1473	0,0028	0,075	0,03	0,04
R260	4021	0,0028	0,075	0,03	0,075

b) Determinació de les condicions d'humitat antecedent del sòl

La precipitació mitjana registrada a la conca en els 5 dies anteriors a l'esdeveniment és d'uns 14 mm (Figura 11), encara que la seva distribució a escala de subconca no és uniforme. Les subconques amb una precipitació mitjana inferior a 13 mm es considera que registren una condició humitat antecedent Seca (o de tipus 1), i en cas que aquesta sigui superior, aquesta serà considerada Normal (o de tipus 2). En conseqüència, s'ha ajustat el Número de Corba inicial de cada subconca en funció de la humitat antecedent del sòl (taula 2, quarta columna).

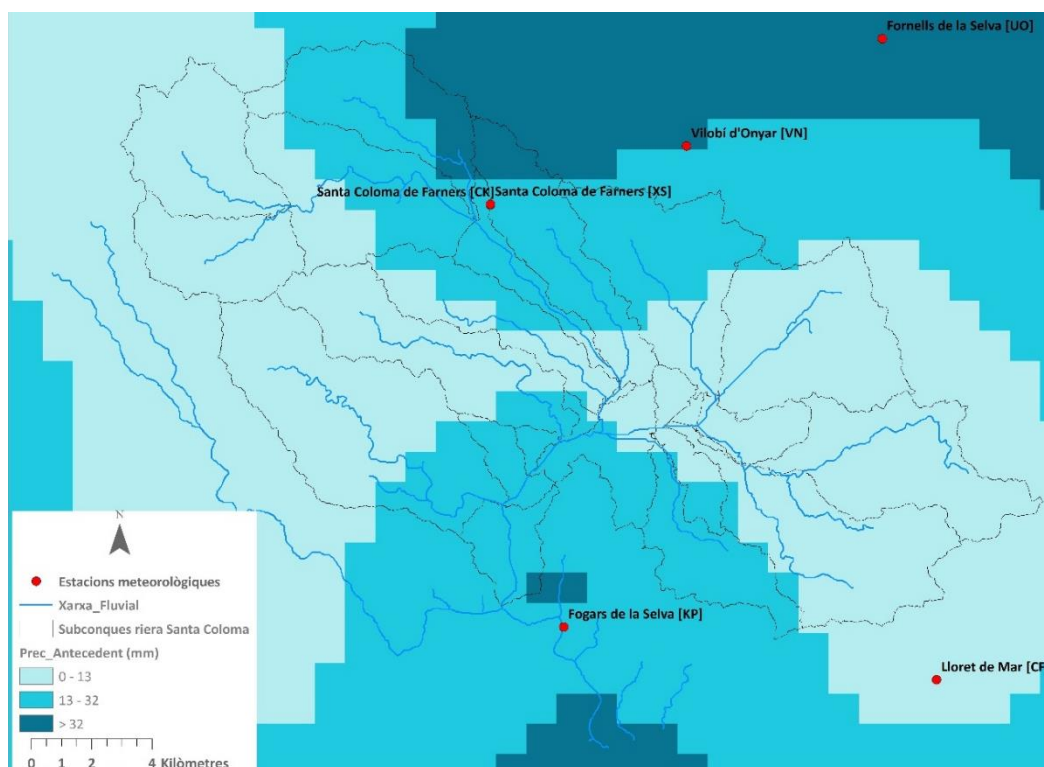


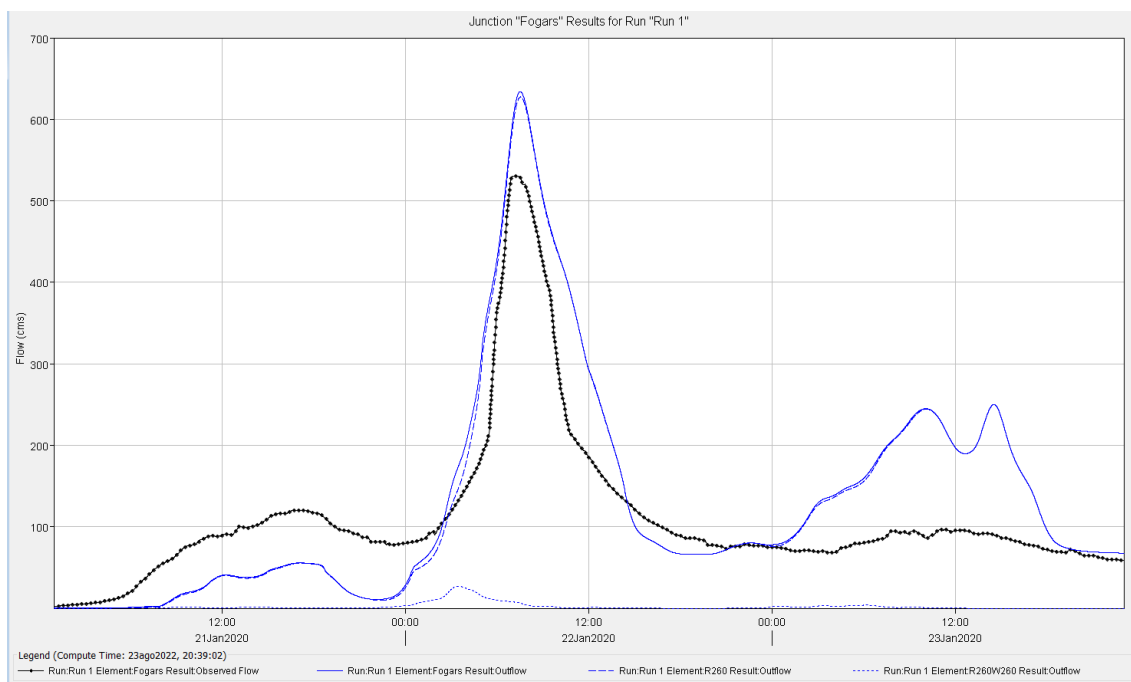
Figura 11. Distribució de la precipitació antecedent al temporal Glòria. Els colors de la llegenda delimiten el grau d'humitat antecedent del sòl en funció a la classificació dels SCS.

c) *Model meteorològic*

L'anàlisi dels camps de pluja ha permès estimar la distribució horària de la precipitació a escala de subconca entre el 21 i 23 de gener de 2020. Els hietogrames resultants del tractament de les dades de precipitació es recullen a l'Annex 2. Per definir el model meteorològic a l'HEC-HMS v.4.8 (és a dir, les entrades de precipitació) assignem a cada subconca el hietograma que li correspon, segons la taula de l'Annex 2.

d) *Calibratge del model hidrològic*

Un cop introduïdes les dades de precipitació es procedeix a fer la simulació del temporal Glòria amb el model hidrològic. L'hidrograma resultant de la simulació a la sortida de la conca presenta una cabal pic de  $633 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , un valor un 19% més gran al registrat a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva ( $530 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) (Figura 12).



Per tal de millorar l'estimació del model hidrològic es procedeix a fer una optimització del model buscant l'ajustament amb el mètode de percentatge d'error del cabal pic (*Percent Error Peak, PEP*). El paràmetre triat per fer l'optimització és número de corba. En l'optimització participen totes les subconques. L'optimització ha comportat una disminució del número de corba inicial en cada subconca (taula 2) del 8%. Amb aquest ajustament, els hidrogrames i el cabal pic pel dia 22 de gener coincideixen (Figura 13). No obstant, s'observen diferències de cabal pels dies 21 i

23 de gener. Això es degut a que el mètode va ser desenvolupat a partir de registres de pluja i escolament en 24 hores, per la qual cosa no considera explícitament la variació temporal de l'escolament.

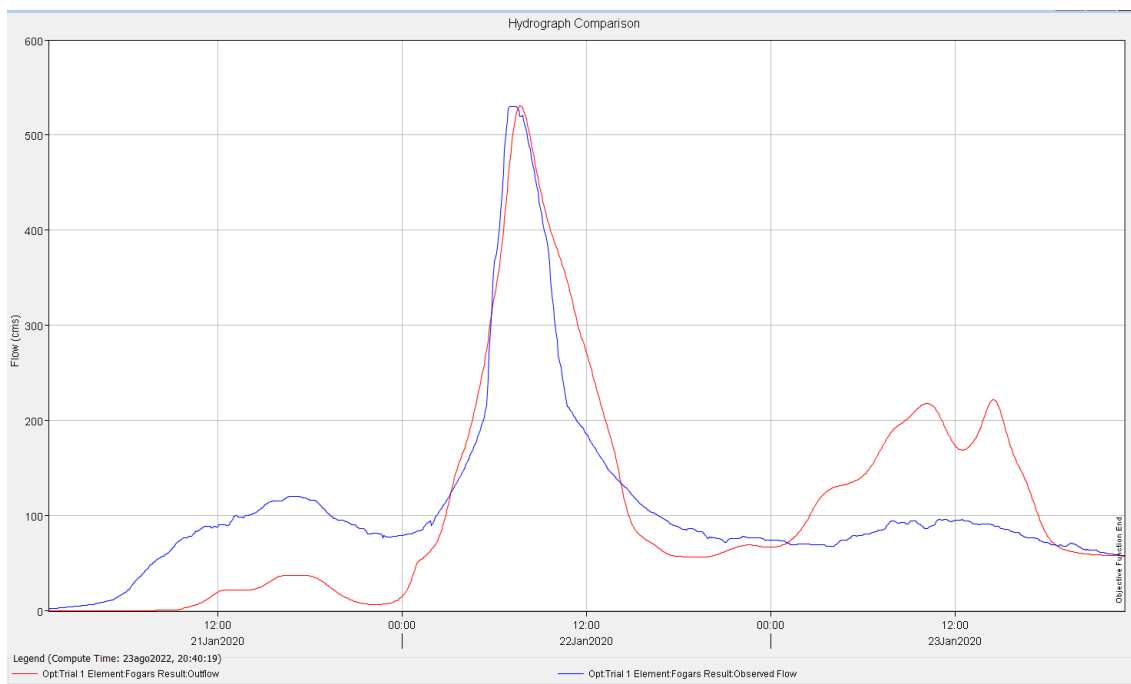


Figura 13. Comparativa entre l'hidrograma registrat a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel) (línia blava contínua) i l'hidrograma calculat en l'optimització en el mateix punt (línia vermella).

*e) Estimació de cabals màxims i l'hidrograma d'entrada al tram d'estudi*

Un cop el model hidrològic es troba calibrat es pot procedir a analitzar els resultats. El cabal pic a la sortida de la conca de la riera de Santa Coloma és de  $530 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , equivalent a un període de retorn de 58 anys segons les referències de la cartografia de cabals normalitzats del visor de l'Agència Catalana de l'Aigua ([https://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html)). La contribució de la capçalera de la riera de Santa Coloma, aigua amunt de parc de Sant Salvador, arriba a ser de  $219 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  amb solament una àrea contributiva del 17% ( $55 \text{ km}^2$ ) de tota la conca ( $321 \text{ km}^2$ ). No obstant, aquesta part, tot i aportar el cabal màxim i el volum total d'escolament més gran per unitat d'àrea, el període de retorn de la crescuda és de només 30 anys.

La figura 14 mostra l'hidrograma de la riera de Santa Coloma durant del temporal Glòria a l'alçada del parc de Sant Salvador, just aigua amunt de la confluència amb el torrent dels Frares. És un hidrograma que concentra la major part del volum d'escolament i la magnitud de cabal del dia 22 de gener, dia de màxima activitat hidro-sedimentària durant el temporal.

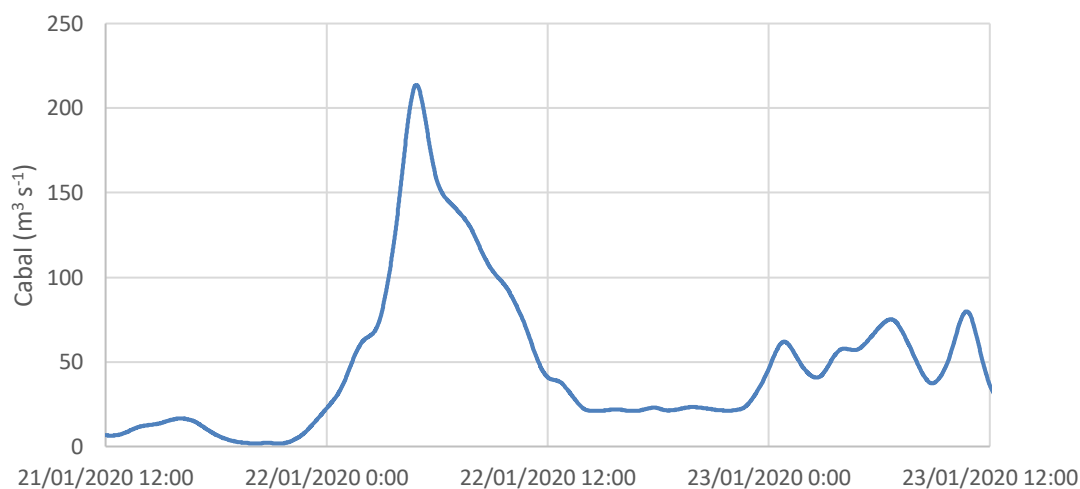


Figura 14. Hidrograma de la riera de Santa Coloma aigua amunt de la confluència amb el torrent dels Frares durant el temporal Glòria.

L'hidrograma resultant de l'optimització (Figura 9) s'utilitzarà en un model hidràulic (Iber v2.6) per reproduir la dinàmica sedimentària en el tram d'estudi.

#### a) Estimació de l'erosió i del sedimentograma d'entrada al tram d'estudi

A l'utilitzar un mètode d'erosió que solament té en compte les àrees que han estat afectades per treballs forestals intensos en els darrers dos anys, deixa fora del càlcul de la producció de sediments les aportacions des d'altres àrees font com: la xarxa fluvial, els camins forestals i els marges limítrofs a pistes o carreteres (Eix Transversal, C-25), entre altres possibles. No obstant, s'ha observat que la xarxa fluvial no presenta signes d'erosió o d'aportacions importants des dels peus de vessant, així com els camins forestals situats fora de les àrees d'afectacions de treballs forestals. Aquest fet que ens porta a pensar que les aportacions des de les àrees que han sofert tallades forestals han controlat la dinàmica sedimentària durant el temporal Glòria. No obstant, el que es busca en aquest treball és un ordre de magnitud del sediment produït i transferit riu avall, més que l'exactitud del càlcul del volum total aportat.

Segons els resultats del model d'erosió, la càrrega total de sediments transferida des de les àrees afectades per tallades forestals és, aproximadament, de 33.000 tones, equivalent a un volum de 22.000 m<sup>3</sup>. Volum equivalent a 5,5 vegades al volum atrapat al tram d'estudi durant el temporal Glòria.

A la conca veïna de la riera d'Arbúcies, la producció mitjana anual de càrrega de fons durant el període 1967-1992 ha estat de 6570 tones anuals, el que significa una contribució mitjana sobre la superfície de la conca de 0,62 tones ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Batalla, 1993). Si la comparem aquestes dades

amb l'aportació estimada a la riera de Santa Coloma durant el temporal Glòria (6 tones ha<sup>-1</sup>), es pot observar com un sol esdeveniment ha produït un 970% més de sediment que el registrat en un any a la conca d'Arbúcies. Això solament s'explica per la participació en la dinàmica sedimentària d'àrees font que, en situacions ordinàries, no es troben connectades a la xarxa fluvial, i de l'energia de la crescuda.

La distribució temporal de la producció de sediment ve determinada per la magnitud del cabal circulat (Figura 15). La informació d'aquest sedimentograma és la que s'utilitzarà en el model hidràulic i de transport de sediments per reproduir la dinàmica sedimentària de l'esdeveniment en el tram d'estudi. No obstant, abans de realitzar la simulació hidràulica, caldrà transformar la producció de sediments (en tones) a taxa de transport (g m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>). Aquesta transformació depèn del cabal circulat (en m<sup>3</sup>) i de l'amplada de la secció mullada (en metres) en cada moment. Per aquest motiu, es va realitzar prèviament una modelització de la crescuda desactivant el mòdul de transport de sediments, obtenint així l'amplada mullada a l'entrada del model.

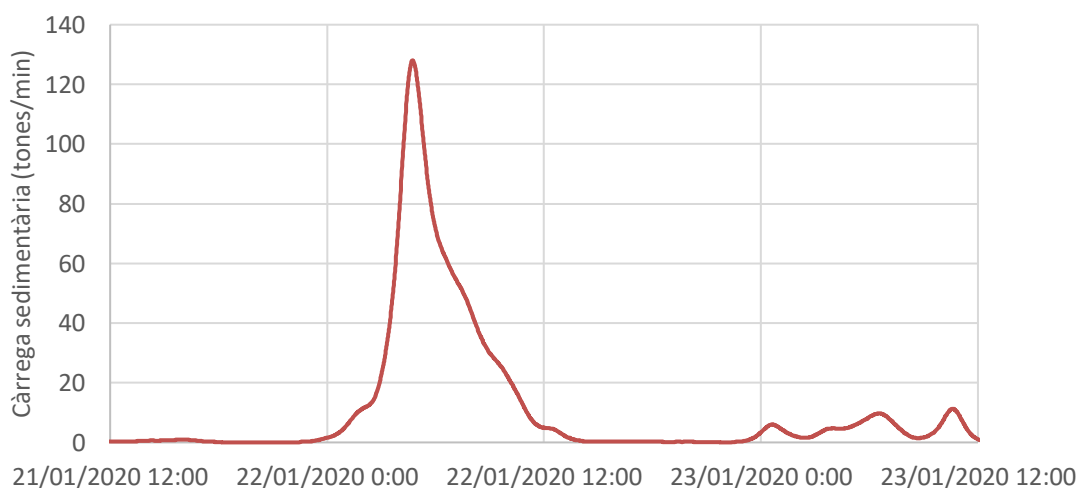


Figura 15. Sedimentograma de la riera de Santa Coloma a l'entrada del tram d'estudi durant el temporal Glòria.

### 5.1.3 Reconstrucció hidràulica i del transport de sediments

En aquest apartat es presenta una síntesi descriptiva del comportament hidràulic i morfodinàmic del tram d'estudi, d'acord amb els resultats generats pel càlcul segons el model hidràulic en entorn Iber i observacions de camp.

La hidràulica del tram d'estudi es troba controlada per la presència de la resclosa i la morfologia de la llera, ja que la rugositat és homogènia en tota la llera al estar coberta per sorres.

En la simulació de la crescuda s'ha calculat el transport de sediments i les àrees d'erosió i sedimentació, per tal de intentar reproduir la morfodinàmica.

Es tracta d'un tram amb una longitud d'uns 700 metres, amb un pendent mig longitudinal del 0,58% i un desnivell d'uns 4 m. El canal principal, de secció trapezoidal, és molt rectilini en tot el seu traçat. L'amplada del canal fluctua entre els 7 i 15 metres, arribant als 20 metres just aigua amunt de la resclosa.

L'entrada de sediments s'incrementa amb el cabal, generant una important sedimentació a l'inici del tram, que poc a poc anirà mobilitzant-se aigua avall durant la recessió de la crescuda durant els dies 22 i 23. A la figura 16 es pot observar l'acumulació de sediments estimada mitjançant la diferència entre els models topogràfics del 2016 i 2021. Els gruixos més importants observats es concentren a la part central del tram, assolint gruixos de fins a 1,5 metres. A la figura 17, es pot observar el gruix de sediment que la simulació hidràulica ha reproduït a partir de les dades generades pel model hidrològic i d'erosió (HEC-HMS v4.8). En aquest cas, el resultat del model hidràulic i de transport de sediments (Iber v2.6) planteja una distribució i gruixos del sediment molt similar a la figura 16. No obstant, a l'entrada del tram el model hidràulic ha reproduït una sedimentació no real amb gruixos fins a casi 3 metres (figura 17). Aquets han estat causat per la necessitat del model d'estabilitzar-se en la primera part del tram. Cosa habitual en aquets tipus de modelitzacions. Veient els resultats, podem concloure que les estimacions del volum de sediments aportats durant el temporal no queden gaire lluny de la realitat.

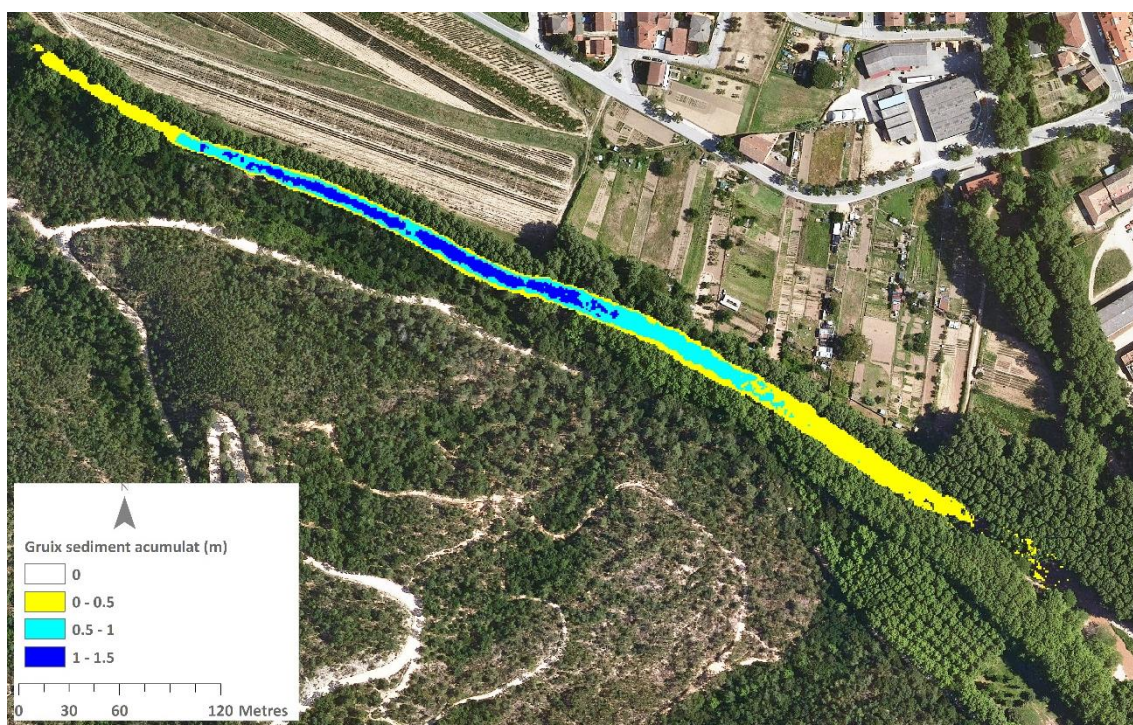


Figura 16. Distribució del gruix de sediment acumulat a la llera en el tram d'estudi des del 2016. El sediment acumulat presenta un gruix molt important en tot el tram, arribant a un màxim de 140 cm i superant els 100 cm en més d'1/3 del subtram.

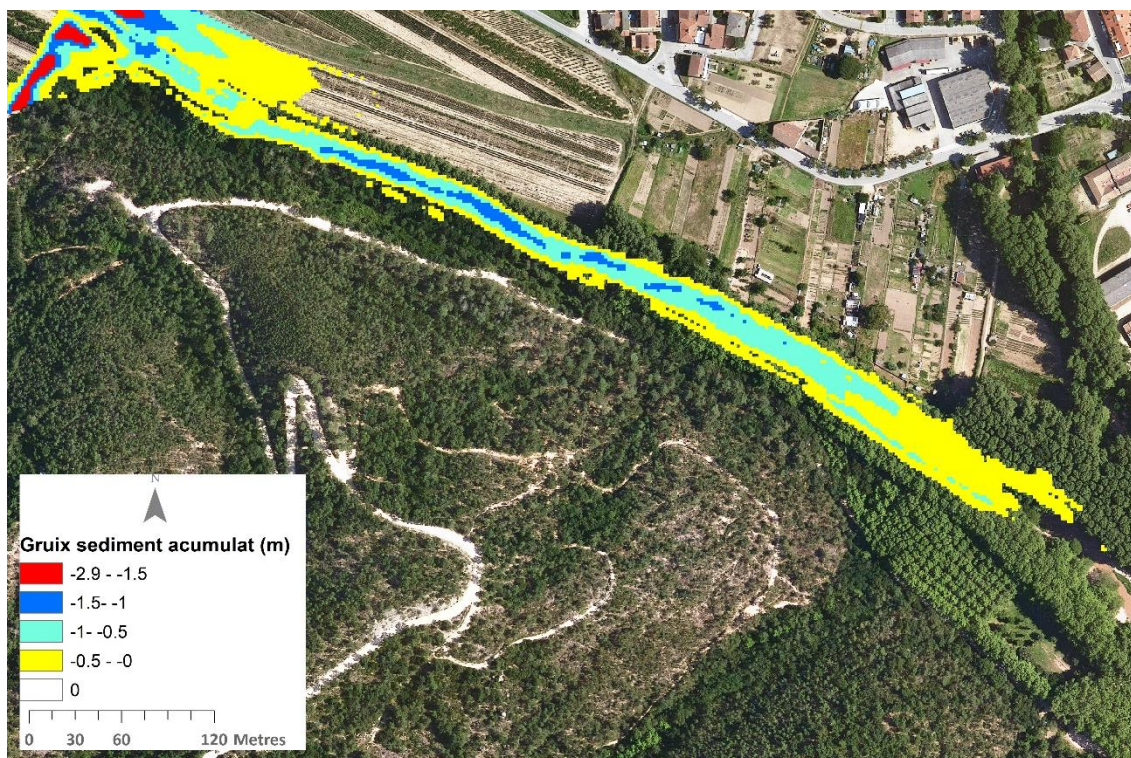


Figura 17. Estimació de la distribució del gruix de sediment acumulat a la llera en el tram d'estudi pel model hidràulic. El sediment acumulat presenta un gruix i distribució molt semblant a l'observat a camp (Figura 16).

## 5.2 Bloc 3: Plantejament d'actuacions de millora per facilitar la recuperació morfosedimentària del riu

### 5.2.1 Estudi d'alternatives en la gestió del sediment acumulat durant el desmantellament de rescloses

El desenvolupament d'alternatives de gestió de sediments per al desmantellament de rescloses requereix la consideració de qüestions tant d'enginyeria com ambientals. Les alternatives de gestió de sediments es poden agrupar en quatre categories generals tal com es descriu a continuació (Bureau of Reclamation, 2006).

Les **alternatives de gestió de sediments** es poden agrupar en **quatre categories** generals:

#### A. Alternativa de "No acció"

Segons aquesta alternativa, la resclosa i el sediment no es tocarien. En aquestes condicions, la no actuació no comporta cap canvi en relació als impactes existents causats per la construcció

de la resclosa i la seva operativa. Aquesta alternativa, tot i que poder permetria un rentat parcial del material acumulat, tal com ja s'ha pogut observar fins a dia d'avui, mai assoliria l'estat morfològic i ecològic existent abans del temporal Glòria. La *No acció* no és una alternativa realista ja que no millora la situació actual.

#### B. Alternativa de potenciar l'Erosió fluvial

Aprofitar l'*Erosió fluvial* que pot originar el propi riu és una pràctica de gestió de sediments àmpliament utilitzada en projectes de restauració, ja que generalment evita el cost del maneig mecànic del sediment que es vol eliminar del vas de la resclosa. Amb aquest tipus d'actuació s'aconsegueix que el sediment atrapat per la resclosa s'erosioni i sigui transferit riu avall mitjançant processos naturals. No obstant, prèviament cal avaluar si els impactes potencials que aquesta actuació pot generar aigua avall es poden acceptar o mitigar d'alguna manera.

Per rescloses petites el volum de sediments retingut acostuma a ser relativament petit, aconseguint que la taxa de demolició (o % de demolició) de la resclosa no sigui crítica i que l'impacte en la qualitat de l'aigua no sigui important. En qualsevol cas, la demolició gradual d'una resclosa hauria de ser prou lenta perquè la concentració de sediments alliberats riu avall no registri una magnitud massa gran i una durada massa llarga, i que la degradació resultant del llit del riu no generi un impacte de llarga durada sobre l'ecosistema i un augment del risc inundació per a persones i propietats situades aigua avall de l'actuació. El temps total requerit per a la demolició de la resclosa pot ser de setmanes a mesos i dependrà del règim de cabals circulants i del volum i erosionabilitat del sediment acumulat en el vas. Aquestes condicions poden ser molt variables, sent difícil preveure l'eficiència i el temps de resposta en cada actuació, però les noves eines de modelització ens poden ajudar a estimar el temps que pot necessitar un riu per mobilitzar el sediment acumulat. Aquestes eines, a més, permeten simular múltiples alternatives de gestió en diferents escenaris hidrològics, tal com es podrà veure més endavant.

#### C. Alternativa d'extracció mecànica

Quan el sediment té un volum petit i no és perillós, el procés d'extracció es pot realitzar per mitjans mecànics a un cost acceptable. A l'hora de dur a terme aquest tipus d'alternatives, cal tenir en compte els mètodes de dragatge i transport, així com les zones de recepció del material. La distància des de la zona d'extracció fins a la zona de recepció és un paràmetre important, ja que els costos de transport augmenten amb la distància.

#### D. Alternativa d'estabilització

Una alternativa és estabilitzar el sediment acumulat al vas de la resclosa abans de la demolició de la resclosa. El sediment s'estabilitza mitjançant la construcció d'un canal de riu a través o al voltant del sediment atrapat per la reclosa. La seva estabilització redueix la transferència potencial del sediment a la llera, i d'aquí, riu avall.

A més, a l'hora de dur a terme un projecte d'aquestes característiques, cal considerar altres impactes que aquest pot ocasionar si són alliberats riu avall.

Els principals impactes associats són: la pèrdua de la qualitat de l'aigua, un augment potencial del risc d'inundacions, alteracions de l'estabilitat en infraestructures, danys en recursos culturals i impactes en els habitats i en la vida silvestre. En aquests casos, la mitigació d'aquestes alteracions poden generar costos imprevistos. Per tant, les actuacions proposades tenen com a objectiu reduir els impactes potencials de la gestió de sediments.

Com hem dit anteriorment, un dels problemes pot ser la contaminació del sediment atrapat a la resclosa. Així, si el nivell de contaminació dels sediment acumulat està per sobre dels nivells estipulats per a sistemes fluvials, llavors aquest sediment haurà de ser estabilitzat o transportat a un altre lloc. En el cas de la riera de Santa Coloma, el sediment no hauria d'estar contaminat, ja que els contaminants s'associen a les partícules més petites (argiles i llims) que en aquest tram no abunden, a més en aquest cas es tracta d'una conca forestal amb poc impacte antròpic, excepte el silvícola.

Fins i tot, si el sediment del vas no està contaminat, el seu l'alliberament sobtat augmentarà temporalment la concentració de sediments en suspensió, generant condicions de terbolesa que poden ser letals per als peixos.

En el cas que el sediment s'acumuli de forma massiva a la llera, la reducció de la capacitat de desgàs del canal pot comportar un increment del risc d'inundació.

Així, la gestió del sediment sol ser la consideració ambiental més important i tècnicament més exigent per a un projecte de desmantellament de rescloses, sobretot quan el volum de sediments alliberat és més gran que la càrrega mitjana anual de sediments. No tenim dades quantitatives de la càrrega mitjana anual transportada per la riera, però tenint en compte les imatges històriques (i.e. Font Picant), aquesta acumulació de sediment representa un volum molt més gran que el transportat durant un any normal.

Els impactes relacionats amb els sediments després de l'eliminació d'una resclosa es poden observar tan aigua amunt com avall de l'actuació. Segons les condicions locals i els mètodes i les taxes d'eliminació, el grau d'impacte pot variar d'insignificant a significatiu.

Per exemple, eliminar o rebaixar una petita resclosa que ha atrapat només una petita part de la producció anual del sediment de la conca no generarà, aigua avall, un impacte important a la llera. En cas que el vas estigui ple i que el desmantellament de la resclosa sigui parcial (rebaixar la coronació), la transferència de sediments i l'impacte que aquest pot generar està més relacionat amb les aportacions des de la conca que no pas des de la resclosa. Quan una resclosa ha atrapat de diversos anys, el pla de desmantellament de la resclosa ha de considerar escalonar la demolició de la resclosa durant un període de mesos a anys per evitar l'excessiva degradació del llit del riu aigua avall a causa de la alliberament de sediment groller.

#### 5.2.2 Anàlisi del règim hidrològic

##### **Aportacions mitjanes anuals**

En primer lloc, s'ha analitzat l'**aportació anual** de la riera de Santa Coloma a partir de la sèrie de dades facilitada per l'ACA (Taula 6).

*Taula 6. Taula resum de la sèrie utilitzada per a l'anàlisi hidrològica*

Estació d'Aforament	Sèrie	Anys complets	Anys incomplets
Riera de Santa Coloma (Fogars de la Selva)	1995-2022	22	5

L'aportació mitjana anual és de 73,45 hm<sup>3</sup>, si bé es pot observar una clara tendència a la baixa a la sèrie, passant de valors superiors als 300 hm<sup>3</sup> a l'any hidrològic 1996-1997, a valors entorn de 12 hm<sup>3</sup> a l'any 2015-2016. La figura 18 mostra l'evolució de les aportacions mitjanes anuals de la riera de Santa Coloma a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel). Cal destacar que els anys amb valors inferiors als 12 hm<sup>3</sup> anteriorment esmentats es corresponen amb anys hidrològics incomplets (buits a la sèrie).

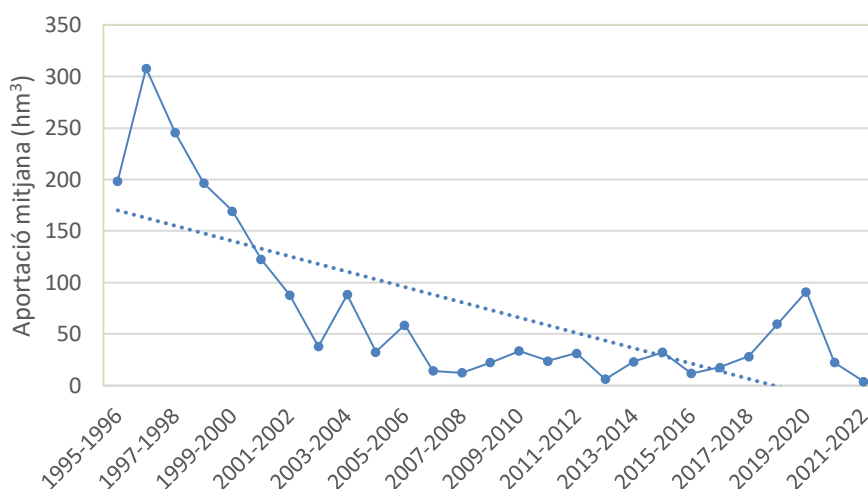


Figura 18. Distribució de l'aportació mitjana anual de la riera de Santa Coloma a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel)

Caldria verificar les sèries de precipitació per analitzar si aquestes són la causa de la reducció en les aportacions en aquest primer quart de segle. Tot i aquesta possibilitat, les diferències són molt notables per explicar-se només amb la pluviometria. Si bé és cert que, en alguns estudis s'ha demostrat que en rius no regulats l'aportació mitjana anual s'ha vist reduïda de manera notable les darreres dècades com a conseqüència de l'abandonament de cultius i el conseqüent increment de la massa forestal (Gallart et al., 2011, López-Moreno et al., 2013). No obstant, també caldria analitzar el paper que va tenir la gestió forestal en la producció d'escolament i si hi va haver-hi algun incendi amb anterioritat al registre de cabals que alterés el % de cobertura forestal de la conca.

### **Cabals mitjans mensuals**

Les sèries també han estat analitzades a escala mensual. La figura 19 mostra els cabals mitjans mensuals de la riera de Santa Coloma a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva i de la Tordera a l'estació d'aforament de Can Serra.

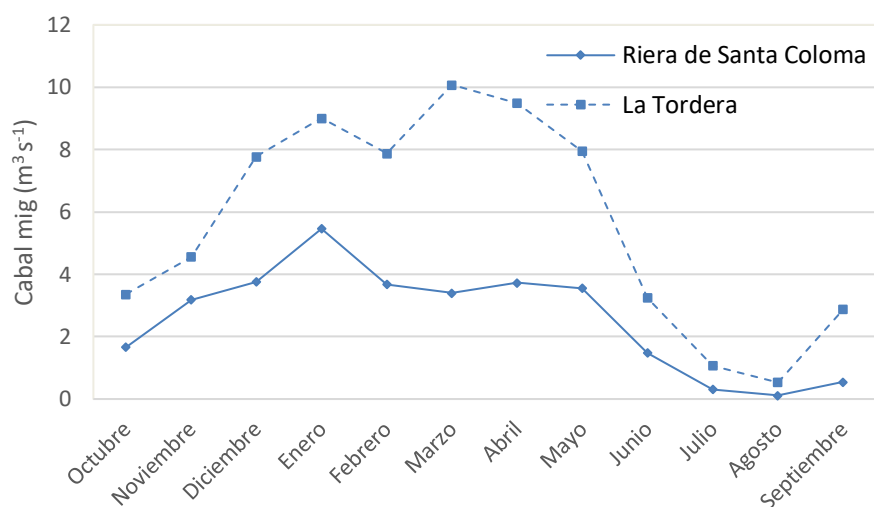


Figura 19. Cabals mitjans mensuals de la riera de Santa Coloma a l'estació d' aforament de Fogars de la Selva i de la Tordera a l' estació d' aforament de Can Serra.

En aquesta figura es pot observar que els cabals més elevats coincideixen amb l'estació hivernal, contrastant amb la Tordera (Figura 19), on els cabals mensuals màxims es produeixen a la primavera.

### Cabals mitjans diaris

Els cabals mitjans diaris s' han analitzat, igual que en les seccions anteriors. En primer lloc, s'han analitzat les sèries de cabals mitjançant les corbes de freqüència de cabal (Figura 20). Les corbes de freqüència de cabal es construeixen a partir de registres diaris de cabals (mitjans) i serveixen per descriure el comportament hidrològic d'un riu a partir de la relació entre cabal i el percentatge de temps que serà igualat o excedit. A partir de les corbes de freqüència de cabals, s' han obtingut diferents percentils; el  $P_5$ ,  $P_{16}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{84}$  i  $P_{95}$  on  $P_i$  és el valor corresponent al percentil  $i$  (és a dir, els cabals que van igualar o superar el 5, 16, 50, 84, 95% del temps, respectivament). A partir d'aquests valors s'ha calculat la desviació estàndard dels cabals (adaptat de l'índex desenvolupat per Folk and Ward, 1957) per a sediments fluvials per Batalla et al. (2004) en relació amb el cabal mitjà mitjançant la següent fórmula,  $FSD = | [(P_{84} - P_{16}) + (P_{95} - P_5)] / P_{50} |$ . Els valors recollits per aquest índex ens permeten conèixer la variabilitat de les diferents sèries de cabal (com més gran és el valor, major variabilitat i viceversa).

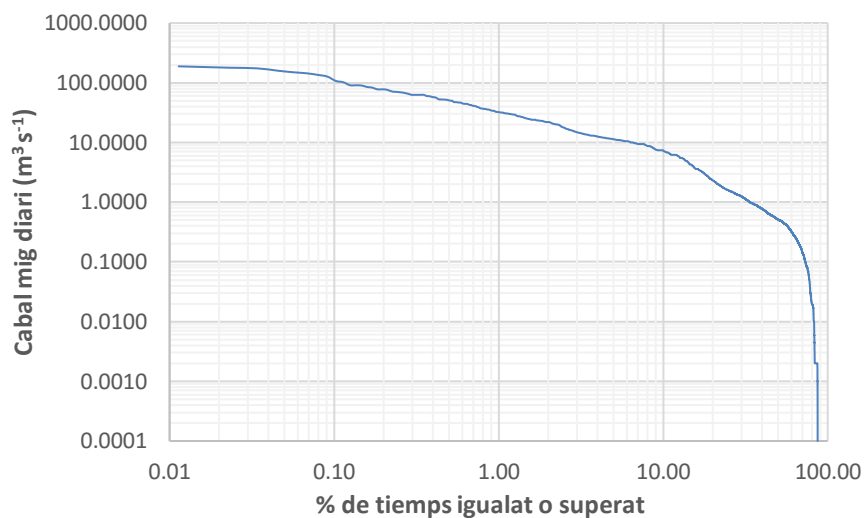


Figura 20. Variació en % dels percentils representatius de les sèries de cabal

Taula 6. Percentils representatius de les sèries de cabal

	Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
<b>P0</b>	0
<b>P5</b>	0
<b>P16</b>	0,002
<b>P25</b>	0,081
<b>P50</b>	0,51
<b>P75</b>	1,58
<b>P84</b>	3,60
<b>P95</b>	11,34
<b>P99</b>	32,28
<b>P100</b>	188,56
<b>FSD</b>	29,20

La figura 20 mostra les corbes de freqüència de cabal, que per a una millor comprensió ha estat acompanyada d'una taula amb els percentils representatius d'aquesta sèrie (Taula 6). Si s'analitzen els percentils representatius obtinguts a partir de les sèries de cabals diaris, es pot veure que fins al percentil 16 els cabals són molt baixos, en realitat fins al percentil 13 el cabal és 0. El que ens indica que durant el 13% del temps en què aquesta estació d'aforament registra, no hi circula l'aigua. El percentil 50 (i.e. mitjana), és de 0,51 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, cosa que vol dir que aquest cabal és igualat o superat el 50% del temps. A mesura que el percentil augmenta, òbviament ho fan els cabals, però en aquest cas, aquest augment és molt marcat.

Com s'esmentava anteriorment, la desviació estàndard dels cabals (FSD, Flow Standard Deviation), mostra la variabilitat en els cabals, i en aquest cas ens ha donat un valor de 29,2, valor molt elevat si ho comparem amb alguns rius mediterranis regulats de major entitat, com el Cinca o l'Ésera, que agafen valors de 4,7 i 4,1, respectivament. Aquesta variabilitat és una de les característiques principals dels rius mediterranis de conca intermèdia de la serralada costanera catalana, i més en els casos en què els rius tenen un règim natural (i.e. no estan regulats). Aquest tipus de rius estan marcats per una forta estacionalitat, patint l'escassetat d'aigua durant els mesos d'estiu i abundància en els mesos més plujosos (hivern i primavera, com hem vist a la Figura 19).

### **Anàlisi de crescudes**

#### *Magnitud de les crescudes*

S'ha calculat el cabal màxim esperable de les crescudes amb un període de retorn de 2, 5, 10 i 25 anys per a l'estació d'aforaments de Fogars de la Selva. Els resultats s'han utilitzat per definir la freqüència i la magnitud de les crescudes de la riera en aquest punt. Per a aquest tipus d'anàlisi s'utilitzen els cabals màxims instantanis anuals ( $Q_{ci}$ ). Aquestes dades van ser facilitades per l'ACA per al període 1995-2022, un període no excessivament llarg per a aquest tipus de càlculs. Per al càlcul de la recurrència de cabals s'ha utilitzat el mètode de Gumbel, una metodologia que àmpliament utilitzada per les Confederacions Hidrogràfiques. A més, també s'han utilitzat les dades de cabals normalitzats calculades per l'ACA mitjançant un model hidrològic de transformació pluja-cabal per a aquest mateix punt. A la taula 7, es poden observar diferents períodes de retorn calculats mitjançant ambdós mètodes.

*Taula 7. Càlcul de la recurrència dels cabals màxims esperables mitjançant la metodologia de Gumbel i model hidrològic (ACA)*

<b>Q<sub>i</sub></b>	<b>Fogars de la Selva</b>	
	<b>Gumbel</b>	<b>ACA</b>
<b>2,33</b>	100,0	50
<b>5</b>	232,5	-
<b>10</b>	320,39	197
<b>25</b>	431,2	-
<b>50</b>	513,4	497
<b>100</b>	595,1	673
<b>500</b>	783,89	1259

La taula 7 mostra notables diferències entre la recurrència dels cabals obtinguts mitjançant els diferents mètodes. Els cabals obtinguts mitjançant el mètode Gumbel són superiors als obtinguts a través d'un model hidrològic, fins que, en el cabal estimat per a un període de retorn de 50 anys, ambdós valors són similars i finalment, en els cabals estimats per a períodes de retorn més elevats (i.e. 100 i 500 anys), els cabals estimats mitjançant un model hidrològic són superiors als estimats mitjançant el mètode de Gumbel.

Tanmateix, aquests cabals han estat estimats per a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel), la conca de la qual és molt superior a la conca analitzada en el present treball (i.e. 321 i 55 km<sup>2</sup>, respectivament). A l'hora d'estimar la recurrència dels cabals de crescuda a la riera de Santa Coloma a Santa Coloma de Farners, ens hem vist obligats a utilitzar els cabals estimats per l'ACA, ja que per utilitzar el mètode Gumbel cal un registre de dades en continu en aquest punt que no estan disponibles. Així, els cabals estimats per a la riera de Santa Coloma a Santa Coloma de Farners per l'ACA es poden consultar a la taula 8.

*Taula 8: Distribució de la freqüència dels cabals màxims esperables calculats per l'ACA*

Santa Coloma de Farners	
Q <sub>i</sub>	ACA
2,33	47,6
10	127
50	252,6
100	322,5
500	530,5

De les dades mostrades a la taula 8 es desprèn que el tram d' estudi, tot i comptar amb una superfície de conca molt inferior a la seva sortida a Fogars de la Selva, aporta gran part de l'escolament durant crescudes. Aquest fet es veu reflectit principalment en les crescudes més freqüents (i.e. Q<sub>2,33</sub> i Q<sub>10</sub>), en què els cabals calculats al tram d'estudi són molt propers als estimats per a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Pont Eiffel).

#### *Característiques de les crescudes*

En aquest apartat s'han analitzat les principals característiques de diferents crescudes recents (i.e. 14/11/2018, 20/01/2020 i 21/04/2020). Analitzarem aquestes tres crescudes específiques ja que són les úniques crescudes de què disposem dades. A continuació, la taula 9 mostra les característiques principals de les tres crescudes analitzades.

Taula 9. Característiques principals de les crescudes analitzades

	20/11/2018	20/01/2020	20/04/2020
<b>Q<sub>ci</sub> (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</b>	115	531	148
<b>Q<sub>c</sub> (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</b>	69	179	91
<b>Q<sub>m</sub> (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</b>	40	82	58
<b>Aportació (hm<sup>3</sup>)</b>	21	28	15
<b>Durada (dies)</b>	6	5	4
<b>Increment (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)</b>	17	18	6
<b>Variabilitat (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</b>	112,3	530,5	135

*Q<sub>ci</sub>: cabal màxim instantani; Q<sub>c</sub>: cabal màxim mitjà diàri; Q<sub>m</sub>: cabal*

*mitjà; Increment: increment mitjà de cabal per hora; Variabilitat:*

*diferència entre Q<sub>min</sub> i Q<sub>ci</sub>*

Segons la distribució de freqüència dels cabals màxims esperables estimats per l'ACA en l'apartat anterior, les crescudes esdevingudes a la sortida de la conca el 20 de novembre de 2018 i el 20 d'abril de 2020 es correspondrien amb períodes de retorn entre 2 i 10 anys (i.e. Q<sub>2-10</sub>), mentre que la crescuda del 20 de gener de 2020 es correspondria amb un període de retorn lleugerament superior als 50 anys (Q<sub>50</sub>) (Taula 7).

Òbviament, les característiques entre ambdós grups de crescudes són diferents. A causa de la seva gran magnitud, la crescuda que va tenir lloc durant el temporal glòria és molt superior en totes les variables relacionades amb el cabal. El cabal màxim instantani és entre 4 i 4,5 vegades superior a les altres dues crescudes. Tenint un dia menys de durada que la crescuda del 2018, transporta 7 hm<sup>3</sup> més. Una altra variable d'interès és l' increment de cabal per hora, a causa del seu impacte en la morfologia. Com més gran és aquest valor més brusc és l' augment de cabal i major és l' energia entrant en el sistema per desestabilitzar el llit, i més en un riu de les característiques granulomètriques de la riera de Santa Coloma, amb un gran domini de les sorres.

L'anàlisi dels hidrogrames ens permet destacar alguns elements de manera que no seríem capaços de diferenciar quan analitzem les dades. Per exemple, quan parlem de la forma de l'hidrograma, podem veure que els dos primers estan compostos per diverses pulsacions, un de menor magnitud al principi amb un increment del cabal mantingut, i un altre de major magnitud al final amb un increment del cabal molt més accentuat.

En el de novembre de 2018 (Figura 21A) encara li segueix un altre esdeveniment de menor magnitud, però de major durada, assolint els 6 dies de durada entre els tres pics. En la crescuda d'abril de 2020 (Figura 21C), la magnitud del cabal màxim és superior que en la de novembre de

2018 (Figura 21A), però, l'increment del cabal no és tan elevat com en els dos primers esdeveniments.

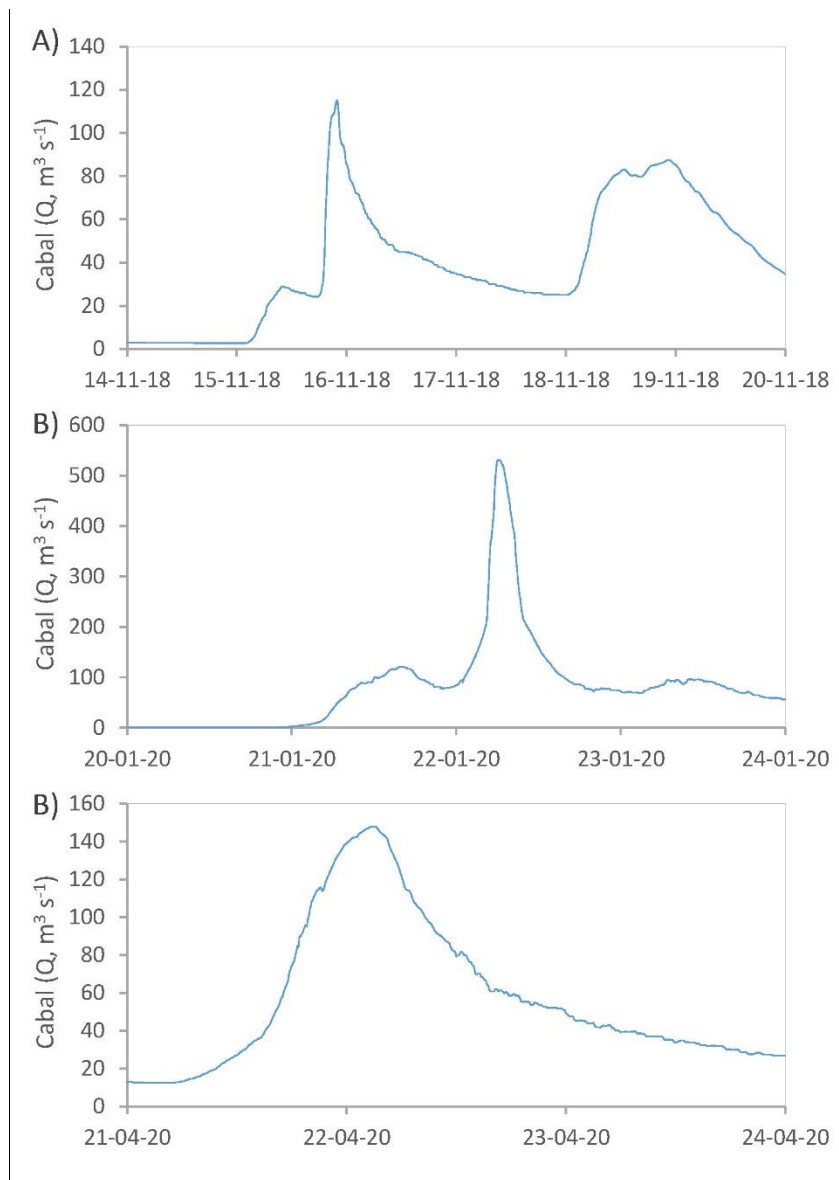


Figura 21. Hidrogrames de les tres crescudes analitzades

En tots tres esdeveniments la crescuda ha durat més d'un dia i ha registrat un o més pics. L'ascens de l'hidrograma (resposta de la conca) és molt sobtat quan la conca ja es troba saturada (segon dia dels esdeveniments del novembre de 2018 i gener de 2020), registrant cabals elevats on l'escolament directe controla tan l'ascens com la recessió de l'hidrograma.

### 5.2.3 Propostes per a la gestió del sediment atrapat a la riera de santa Coloma a l'alçada del parc de sant Salvador

A l'hora d'elaborar una guia de propostes, no ens hem de decidir per una alternativa concreta, sinó que la proposta consisteixen una combinació de diverses alternatives. Alhora de dissenyar les propostes és essencial buscar un equilibri entre l'alternativa de gestió de sediments, els requisits de la demolició de la resclosa, els impactes ambientals acceptables, el cost de l'actuació i el rebuig social.

Des del grup de recerca RIUS pensem que el cas de la riera de Santa Coloma requereix un model de rehabilitació adaptativa. Aquest model es basa en l'adaptació de les mesures a prendre en funció de la resposta del sistema fluvial a l'actuació. Així, es durà a terme la primera actuació, i s'esperarà a fer el següent pas en funció de la resposta de la riera. Aquest model de rehabilitació requereix un seguiment que permeti avaluar la resposta del riu, així evitarem impactes no desitjats en el tram localitzat aigües avall de l'actuació.

Una de les primeres mesures a dur a terme és la **rebaixa d'un terç l'alçada de la resclosa (cota 127,7 m.s.n.m.)** localitzada aigua amunt de la confluència de la riera de Santa Coloma amb la riera dels Frares. Rebaixant l'alçada de la resclosa s'afavoreix **l'erosió fluvial i el transport natural de sediments**, però, com hem esmentat anteriorment, aquesta alternativa pot generar impactes derivats. Per avaluar els impactes relacionats amb els sediments i si el risc potencial d'aquests impactes és acceptable o no, es van fer diverses simulacions amb un model hidràulic i de transport de sediments (IBER v2.6) per avaluar diferents escenaris de gestió (rebaixant l'alçada de la presa a diferents cotes) i hidrològics (cabals de diferents magnituds).

A més, amb la idea d'evitar impactes no desitjats, **es proposa l'extracció mecànica de sediments**. L'extracció es duria a terme abans de fer la primera fase de demolició de la presa. Aquesta actuació, ha de centrar-se en la zona més propera a la resclosa, i com a molt a 350 m aigua amunt. L'objectiu és extreure el sediment de la zona adjacent al mur de la resclosa per evitar que amb el rebaix de la cota de la resclosa aquest sediment s'acumuli al tram immediatament aigua avall.

En aquest estudi no s'ha analitzat la qualitat dels sediments acumulats a la riera, però es presumeix que no tenen nivells alts de contaminants, ja que la conca té un fort component forestal i no s'han detectat fonts potencials de contaminació. A l'hora d'extreure i mobilitzar aquest sediment **es recomana de manera encarida que els sediment sigui retornat al sistema, en aquest cas al riu Tordera**, afectat per un fort dèficit sedimentari. Com que és una zona de

fàcil accés i extracció, i la proximitat de la zona de recepció pot ser relativament propera, el cost de l'operació hauria de ser raonable.

Com s'ha esmentat anteriorment, aquest model de rehabilitació requereix un seguiment per verificar la correcta evolució morfosedimentària del tram d'estudi, i així poder donar pas a la *segona fase* de la rehabilitació, **baixant una altra vegada la cota de la resclosa o demolint-la totalment. A la resclosa d'aigua avall a la confluència amb la riera dels Frares, es planteja eliminar-la, o en cas de rebuig social, fer-la permeable a partir de comportes que permetin la lliure circulació del sediment fora l'estació de bany.**

#### **Avaluació de la proposta**

La figura 22 mostra el resultat de l'ajustament de la proposta d'actuació de la fase 1 (o inicial). La figura presenta el perfil longitudinal del tram d'estudi d'abans (any 2016; color gris) i després del temporal Glòria (any 2021; color marró). Es pot observar molt clarament com el perfil de l'any 2016 ja estava alterat per la construcció de la resclosa en el seu tram inferior.

En la proposta final es planteja **un rebaix del llavi de la resclosa fins a la cota 127,7 m s.n.m (1/3 de l'alçada actual) i una extracció 1.450 m<sup>3</sup> del sediment acumulat per mitjans mecànics**. El perfil longitudinal resultant de la proposta d'extracció del sediment acumulat ve representat en la figura 22 per una línia de color groc.

Segons els resultats, la proposta d'actuació enfront la crescuda màxima ordinària és capaç de mobilitzar riera avall més de la meitat del sediment acumulat durant el temporal Glòria (línia vermella discontinua; figura 22), mentre que si la crescuda tingués una recurrència de 5 anys de període de retorn el rentat seria total, podent arribar assolir el perfil previ a la construcció de la resclosa (línia verda discontinua; figura 22).

Segons els resultats de la modelització, tot sembla indicar que la primera fase de l'actuació podria tenir una durada d'entre 2 i 5 anys.

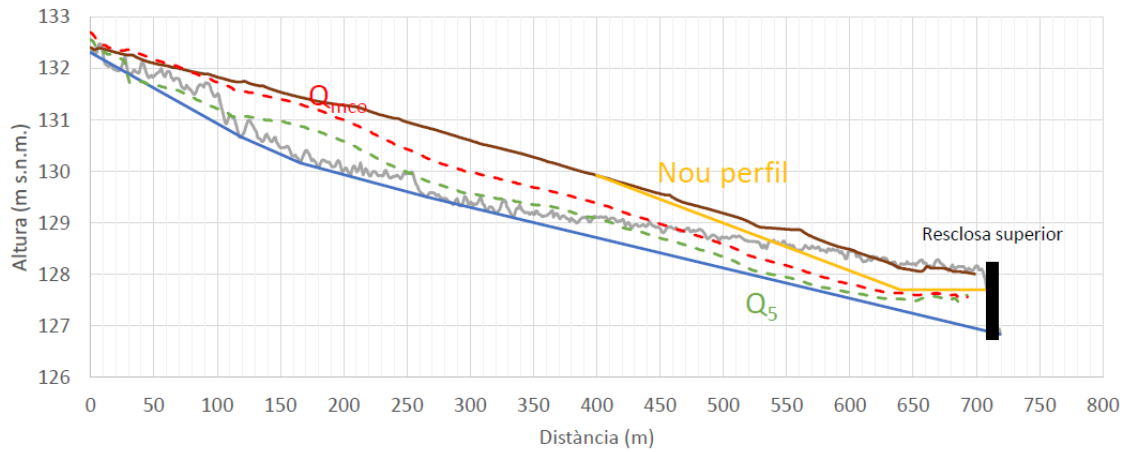


Figura 22. Evolució del perfil longitudinal estimat abans de la construcció de la resclosa (color blau), previ al temporal (color gris), posterior al temporal (color marró) i el previst per a l'actuació després de l'extracció mecànica del sediments acumulat durant el temporal (color groc). En discontinuo es representa l'estimació del perfil longitudinal resultant de l'erosió generada per la crecuda màxima ordinària (color vermell) i la de 5 anys de període de retorn (color verd) mitjançant modelització amb Iber v2.6.

## 6 OBSERVACIONS I CONCLUSIONS

La gestió del sediment acumulat a la llera de la riera de Santa Coloma requereix d'un model de rehabilitació adaptativa. Aquest model es basa en l'adaptació de les mesures a prendre en funció de la resposta del sistema fluvial a l'actuació. Això comporta un disseny seqüencial format com a mínim de dos fases d'actuació. En la primera fase es rebaixarà la cota del llavi de la resclosa a 127,7 m s.n.m. (fins a 1/3 de l'alçada original), i s'extraurà per mitjans mecànics un volum de sediments de 1.450 m<sup>3</sup>. La durada de la primera fase s'estima entre 2 i 5 anys. L'inici de la segona fase serà en funció de la resposta de la riera a la primera fase. No obstant, a dia d'avui, es proposa en una segona fase l'eliminació total de la resclosa superior acompanyada d'una mínima extracció mecànica, mentre que a la resclosa inferior s'hauria de rebaixar o eliminar acompanyada d'una mínima extracció mecànica i de la seva permeabilització al cabal sòlid la major part de l'any.

Les mesures que es proposen en aquest treball estan orientades cap a la rehabilitació de la dinàmica sedimentària del riu, intentar que es mantingui la transferència de sediments des de les àrees font fins a les zones de deposició. És per això, que tot el sediment que s'extregui del tram d'estudi s'hauria de reintroduir al sistema fluvial, ajudant d'aquesta manera a pal·liar el dèficit sedimentari que pateix la conca de la Tordera. Per evitar impactes negatius en la reintroducció del sediment al riu, seria recomanable realitzar, prèviament, un anàlisi per determinar les quantitats i les localitzacions més òptimes per dipositar el material.

Cal recordar que les mesures proposades estan enfocades a rehabilitar morfològicament aquest tram de la riera de Santa Coloma d'una entrada puntual i exacerbada de sediments. Aquestes propostes poden millorar l'estat morfològic actual d'aquest tram de riu, però cal tenir en compte que hi ha la possibilitat que si torna a passar algun esdeveniment de gran magnitud, com el temporal Glòria, aquesta aportació extraordinària es pot tornar a produir. Com s'ha vist en el bloc 3, són crescudes que tenen una recurrència d'uns 30 anys aproximadament, però tal com exposen les previsions del IPCC sobre canvi climàtic, en els propers anys les precipitacions seran menys freqüents però de més magnitud, de manera que és possible que aquest tipus d'esdeveniments es produeixin més sovint. Això podria alleugerir el dèficit de sediments que presenta avui en dia la conca de la Tordera, encara que en presència d'obstacles transversals (per exemple rescloses) es podria tornar a repetir les grans acumulacions de material observades en el tram d'estudi.

A causa de la litologia granítica de la zona els materials són altament erosionables, i hi ha una gran disponibilitat de sediment a la conca, sobretot a les zones sense cobertura vegetal. Tal com s'ha explicat en el bloc 2, les tallades forestals i els camins forestals amb una antiguitat no major a 2 anys poden generar una aportació de sediments molt gran al sistema enfront esdeveniments hidrològics de baixa freqüència, si es vol evitar impactes com els generats durant el temporal Glòria s'han de prendre mesures (per exemple, eliminació de rescloses) i avaluar el risc d'erosió en els projectes de gestió forestal.

## **7 AGRAÏMENTS**

Aquest estudi no hagués estat possible sense l'ajuda del Grup de Recerca de Dinàmica Fluvial RIUS (Grup de Recerca Consolidat de la Generalitat de Catalunya, 2014 SGR 645).

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Aj. Tàrrega, 2020. Crescudada del riu Ondara al seu pas per Tàrrega a causa del temporal Glòria [WWW Document]. Notícies. URL <https://www.tarrega.cat/noticies/crescudada-del-riu-ondara-al-seu-pas-per-tarrega-a-causa-del-temporal-gloria> (accedit 7.10.21).
- Balasch, J.C., Tuset, J., Ruiz-Bellet, J.L., 2010. Reconstructing the 1874 Santa Tecla flash flood in the Ondara River (Ebro Basin, NE Spain). *Adv. Geosci.* 26, 45–48. <https://doi.org/10.5194/adgeo-26-45-2010>
- Batalla R. J., Sala M. 1996. Aplicación de modelos de transporte de sedimento en un río permanente con granulometría dispersa. IV Reunión de Geomorfología Grandal d' Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds. 1996, Sociedad Española de Geomorfología O Castro (A Coruña). [Documento en línea]. En: <http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/6233/1/CA-21-14.pdf>. [Consulta: Julio 15, 2016] Chow, V. Te, 1985. Hidráulica de Canales abiertos, Editorial Mc. Graw Hill. <https://doi.org/9586002284>
- Batalla, R.J., Sala, M. y Werrity, A., 1995. Sediment budget formed in solid material transport in a subhumid Mediterranean drainage basin. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 39 (2): 249–269.
- Batalla, R. J., Vericat, D., Farguell, J., Úbeda, X., Garcia, C., 2020. Processos hidrològics i geomorfològics als rius: context i exemples per a interpretar la seva resposta a episodis d'alta magnitud com el Glòria. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 89, 55–87. <https://doi.org/10.2436/20.3002.01.191>.
- Batalla, R.J., Kondolf, G.M., Gómez, C.M. 2004. Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin, NE Spain. *Journal of Hydrology*, 290, 117–136.
- Bureau of Reclamation (2006). "Erosion and Sedimentation Manual, Chapter 8, Dam Decommissioning and Sediment Management," Technical Service Center, Sedimentation and River Hydraulics Group, Denver, Colorado, November 2006.

- CCMA, 2020. Inundacions al marge esquerre del Segre: el Sió i el Corb s'han desbordat [WWW Document]. URL <https://www.ccma.cat/324/primeres-inundacions-al-marge-esquerre-del-segre/noticia/2983790/> (accedit 7.10.21).
- Chow, V. Te, 1985. *Hidráulica de Canales abiertos*, Editorial Mc. Graw Hill. <https://doi.org/9586002284>
- Coll, J., Llort, X., Berenguer, M., Sempere-Torres, D., Garcia, J., Velasco, E., 2010. Historical reconstruction of daily rainfall maps over Catalunya., en: *International workshop on EU Flood directive implementation in Mediterranean zone: Tools and challenges for efficient risk management*. Barcelona.
- Draper, N.R., Smith, H. 1981. *Applied Regression Analysis*. Wiley, New York .
- Durrans, S., Triche, M., Suddarth, S. 1998. Estimation of lower tail quantiles of Weibull probability distributions for lumber strength. *Forest products journal* 48( 1): 96–101
- Ela, S. D., Gupta, S. C., Rawis, W. J., 1992. Macropore and surface seal interactions affecting water infiltration into soil. *Soil Sci Soc Am J* 56, 714–721.
- Elorrieta, J, Ortega, E., Martín, B., 2016. *Vías forestales. Planificación, trazado y diseño*. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Errico, A., Pasquino, V., Maxwald, M., Chirico, G.B., Solari, L., Preti, F., 2018. The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: Estimation of roughness coefficients at the real scale. *Ecol. Eng.* 120. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.018>
- Etoh, T., Murota, A., Nakanishi, M. 1987. SQRT-Exponential Type Distribution of Maximum. *Hydrologic Frequency Modeling*, 253-264.
- Folk, R.L., and Ward, M.C. 1957. Brazos River bars : a study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol*, 27, 3–27.
- Gallart, F., J. Delgado, S.J.V. Beatson, H. Posner, P. Llorens, Marcé, R., 2011. Analysing the effect of global change on the historical trends of water resources in the headwaters of the Llobregat and Ter river basins (Catalonia, Spain). *Phys. Chem. Earth*, 36, 655–661. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.04.009>

- Guerra Sánchez, M., 2019. Design of low volume roads. Planificación de vías y análisis del terreno. Work project. Ponferrada: Universidad de León.
- Hattinger, J., 1984. Influencia de las carreteras forestales en el aumento de la sedimentación y los deslizamientos de tierra a causa de la escorrentía. En Planificación de Carreteras Forestales y Sistemas de Aprovechamiento (McNally, J.A. et al. Edrs.) F.A.O. Roma.
- ICGC, 2020. El Temporal Gloria (19-23/01/2020): els efectes dels processos geològics sobre el territori. Monogr. tècniques 8, 125.
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jamshidi, R, Dragovich, D, Webb, A., 2013. Estimating catchment-scale annual soil loss in managed native eucalypt forests, Australia. *Forest Ecology and Management*, 304, 20–32.
- Larrea, V., 2004. Evaluación de procesos de erosión en pistas forestales no pavimentadas (Sistema Ibérico noroccidental, La Rioja). Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. Director: José Arnáez Vadillo .
- López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Zabalza, J., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorín-Molina, C., Morán-Tejeda, E., 2013. Hydrological response to climate variability at different time scales: A study in the Ebro basin. *J. Hydrol.* 477, 175–188
- MacDonald, M. A, Healey, J. R, Stevens, P. A., 2002. The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 92, 1–19.
- Pacheco, E., 2013. Dinámica hidrológica y sedimentológica en una cuenca representativa mediterránea. Riera de Vernegà (1993-2012)». Tesis doctoral defendida el 13 de diciembre de 2013, a la Universitat de Barcelona. Directores: Xavier Úbeda i Joaquim Farguell.

- Rabasa, G., 2016. Las curvas de gasto en las estaciones de aforo: Limnómetros y aforos directos. *agua*.
- Ruiz-Bellet, J.L., Balasch, J.C., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J., Pino, D., 2015. Historical, hydraulic, hydrological and meteorological reconstruction of 1874 Santa Tecla flash floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula). *J. Hydrol.* 524, 279–295. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.023>
- Sánchez, F.J., Lastra, J., 2011. Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Sidele, R. C, Sasaki, S, Otsuki, M, Noguchi, S, Nik, A. R., 2004. Sediment pathways in a tropical forest: effects of logging roads and skid trails. *Hydrological Processes*, 18 (4), 703–720.
- Stott, T., Leeks G, Marks S, Sawyer A., 2001. Environmentally sensitive plot-scale timber harvesting: impacts on suspended sediment, bedload and bank erosion dynamics. *Journal of Environmental Management*, 63, 3–25.
- Strickler, Alfred, 1923. Beitrage zur Frage der Geschwindigkeits-formel und der Rauhegkeitszahlen fur Strome, Kanale und geschlossene Leitungen. (Some contributions to the problem of the velocity formula and roughness factors for rivers, canals, and closed conduits.): Bern, Switzerland, Mitt. Eidgeno assischen Amtes Wasserwirtschaft, n. 16.
- SWANSON, F.J.,1981. Fires and geomorphic processes. A: Proceedings, fires regimes and ecosystems conference,Honolulu. Gen. Tech. Rep. WO-26 USDA, Washington, DC, p. 401-420.
- Trapero, L., Bech, J., Lorente, J., 2013. Numerical modelling of heavy precipitation events over Eastern Pyrenees. *Atmos. Res.* 123, 368–383.
- Tuset, J., Vericat, D., Batalla, R.J., 2016. Rainfall, runoff and sediment transport in a Mediterranean mountainous catchment. *Sci. Total Environ.* 540, 114–132. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.075>

Úbeda, X., Sala, M., 2001. Chemical concentrations in overland flow from different forested areas in a Mediterranean Environment: burned forest at different fire intensity and unpaved road. *Zeitschrift für Geomorphology*, 45 (2), 225–238.

USACE, U.S.A.C.O.E., 2010. HEC-RAS, Hydrologic Engineering Centers River Analysis System, User's Manual, Version 4.1. U.S. Army Corps of Engineers, Davis.

USDA-SCS, 1985. Hydrology, en: *National Engineering Handbook*. USDA-SCS, Washington, D.C.

## Annex 1

Aquest annex recull gran part de l'informe preliminar lliurat a l'Ajuntament de Santa Coloma de Farners el passat 30 de gener de 2021 en relació al cubicatge del sediment acumulat a la llera durant el temporal Glòria.

L'informe inclou una descripció del treball de camp (caracterització topogràfica i granulomètrica) i gabinet (post-procés de la informació de camp, cubicatge del sediment acumulat i l'estimació d'inici de moviment dels cabals ordinaris mitjançant informació topogràfica, granulomètrica i modelització). Aquesta informació és la base per realitzar una caracterització de l'estat morfosedimentari actual del tram d'estudi i avaluar l'impacte morfosedimentari que ha generat el temporal Glòria a la riera de Santa Coloma al seu pas pel parc de Sant Salvador.

### 9 METODOLOGIA

El 16 de setembre de 2021 es va fer una primera visita al tram d'estudi per part dels membres del Grup RIUS (Universitat de Lleida) i el Sr. Jordi Sànchez, tècnic de Medi Ambient i Salut de l'Ajuntament de Santa Coloma de Farners. L'objectiu de la visita era conèixer la problemàtica produïda per l'increment de la sedimentació a la riera de Santa Coloma, aigües amunt del parc de Sant Salvador.

Amb tota la informació recopilada es va planificar una campanya de camp, que va ser finalment duta a terme entre el 4 i el 5 de novembre de 2021. El treball de camp es va centrar en la caracterització granulomètrica i topogràfica de la llera entre el pont d'accés al parc de Sant Salvador i el tram situat 100 metres aigües amunt de la resclosa de la Gorga d'en Vilà.

#### 9.1 Treball de camp

Els dies 4 i 5 de novembre de 2021 es va fer una caracterització de la granulometria del sediments de la llera del riu en 5 punts ubicats al llarg del tram d'estudi. Al mateix temps, es va obtenir la informació topogràfica longitudinal i transversal necessària per a cubicar el material dipositat a la llera durant el temporal Glòria i calcular la mobilitat dels materials amb un model hidràulic.

### 9.1.1 Caracterització granulomètrica

La informació sobre la granulometria del material que conforma la llera dels rius proporciona, una vegada interpretada, coneixement útil sobre les interaccions entre la conca (responsable de les aportacions de cabal i font de sediments) i el riu al llarg del temps. En aquest cas, l'augment de l'entrada de sediment a causa de les crescudes originades pel temporal Glòria ha alterat aquesta relació, i l'anàlisi de l'estructura i la distribució granulomètrica dels materials del llit actuals permeten comprendre els patrons de la relació entre la disponibilitat de sediments i la capacitat del riu (règim de crescudes) per transportar el sediment a l'escenari actual.

A més, l'anàlisi de l'estructura i la distribució granulomètrica de les partícules de la llera és fonamental per estimar els paràmetres necessaris en la modelització hidràulica i l'estimació de les càrregues sedimentàries (mobilitat i transport de materials).

La gradació de mides utilitzada per caracteritzar la granulometria del material del llit d'un riu en el camp de la geomorfologia fluvial tendeix a seguir l'escala de Wentworth (1922). Aquesta escala relaciona la mida de partícula (per exemple, 1 mm) amb la seva descripció (per exemple, sorres), i s'utilitza per a establir intervals granulomètrics que seran els utilitzats per calcular les freqüències de la distribució granulomètrica. Un cop obtinguda la distribució de freqüències (és a dir, la caracterització granulomètrica) es poden extreure percentils granulomètrics. Els percentils granulomètrics descriuen la distribució de mides dels sediments de la unitat caracteritzada. Per exemple, un percentil 50 correspon al valor central de la distribució; la mida de partícula resultant per aquest percentil proporciona la mitjana estadística (mediana) de la distribució. Els percentils es poden abreviar com a  $D_i$ , on  $i$  representa el percentil de la distribució (Vericat i Batalla, 2012).

Els percentils es calculen matemàticament mitjançant la interpolació lineal entre dos parells d'intervals (mides de sedassos coneguts), expressats en unitats phi, i el valor dels percentils en una corba de freqüències acumulades. Es per això que primer caldrà transformar els valors de les classes de mil·límetres a logaritmes negatius en base dos ( $-\log_2(D_i)$ ) per tal de poder realitzar la seva interpolació ( $\log D$ ), és a dir, s'expressa la mida de la partícula com el logaritme negatiu en base dos (escala phi) del diàmetre en mil·límetres:

$$\phi_i = -\log_2(D_i)$$

On:  $\phi_i$  és el valor en escala phi de la fracció i  $D_i$  el valor en mm de la fracció

A partir d'aquí, el percentil es calcula com:

$$\phi = (x_1 - x_2) \left[ \frac{y_x - y_1}{y_2 - y_1} \right] + x_1$$

On:  $y_2$  i  $y_1$  són dos valors de la corba de freqüències acumulades just per sobre i per sota de la freqüència acumulada desitjada  $y_x$ , i  $x_2$  i  $x_1$  són les mides de les partícules en unitats phi associades a la corba de freqüències acumulades  $y_2$  i  $y_1$ .

La caracterització del material del llit permet classificar el riu segons sigui de sorres i/o graves ( $D_{50}$ ), segons la dispersió (a partir de l'índex de dispersió ( $S_{F\&W}$ ) de Folk i Ward (1957), i segons el grau d'acuirassament de la llera.

Segons Folk i Ward (1957) el coeficient de classificació es defineix com:

$$S_{F\&W} = \left\{ \left( \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} \right) + \left( \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \right) \right\}$$

On:  $\phi_5$ ,  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{84}$ ,  $\phi_{95}$  són els percentils corresponents en unitats phi i valors absoluts.

A partir d'aquí, s'estableix una classificació de les mostres del llit del riu en 7 categories on el sediment mostrejat pot estar: extremadament poc classificat ( $> 4$ ); molt poc classificat (2-4); poc classificat (1-2); moderadament classificat (0,71-1); moderadament ben classificat (0,5-0,71); ben classificat (0,35-0,5); molt ben classificat ( $< 0,35$ ).

La granulometria del tram d'estudi es va obtenir mitjançant el mètode volumètric, el més apropiat en rius sense diferències notables entre el calibre del material superficial i subsuperficial (és a dir, *rius de sorres*).

El mètode volumètric o volum per pes consisteix en extreure un volum determinat de material subsuperficial, garbellar-lo (sedassos amb distribució de llum  $\frac{1}{2} \phi$ ), i pesar el sediment retintut en cadascun dels sedassos. El volum de material a garbellar estarà en funció de la partícula màxima subsuperficial observada ( $D_{m\grave{a}x}$ ) i el grau de precisió que es vulgui obtenir en la caracterització (seguint el criteri de Church et al., 1987). Normalment, el pes de la  $D_{m\grave{a}x}$  no ha de representar més del 0,1 % del pes total de la mostra, si bé en els casos en que el  $D_{m\grave{a}x}$  està entre

32 i 128 mm, el pes d'aquesta pot arribar a representar l'1 % del pes total de la mostra. En aquest cas, al treballar en un riu de sorres, es considera que el volum caracteritzat és representatiu del conjunt del material.

Es van recollir 5 mostres de sediments distribuïdes al llarg del tram d'estudi en aquells subtrams on la llera estava formada exclusivament de sorres i graves fines (Figura A1).

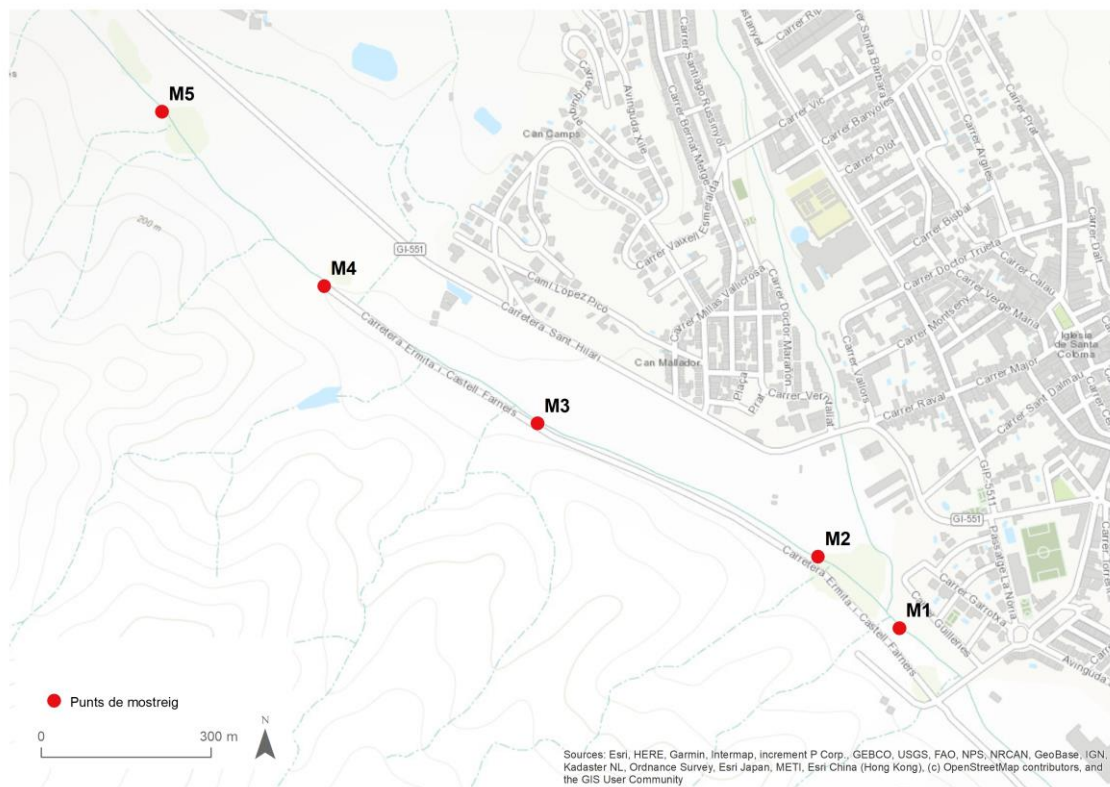


Figura A1. Distribució dels 5 punts de mostreig de sediments en l'àmbit d'estudi.

Al mateix temps, es van realitzar observacions de camp per identificar aspectes característics de cadascun dels subtrams analitzats, tant des del punt de vista de processos localitzats (erosió lateral, sedimentació, etc.; Figura A2) com a hidrològic (nivells recents d'inundació).



Figura A2. Detall d'erosió lateral del marge dret de la riera de Santa Coloma a un punt situat a 300 metres aigües amunt del gual de can Caselles. Autor: Jordi Tuset

### 9.1.2 Caracterització topogràfica

La informació topogràfica consta de múltiples perfils transversals de la llera al llarg de tot l'àmbit d'estudi, és a dir, des del pont del parc de Sant Salvador fins a uns 100 metres aigües amunt de la resclosa de la Gorga d'en Vilà. La longitud del tram és de 1815 metres. La separació entre perfils és variable i oscil·la entre els 15 i 60 metres, depenent de la regularitat de la geometria del llera i la visibilitat entre l'estació total i el punt d'observació (prisma). Al mateix temps, s'han caracteritzat topogràficament totes aquelles infraestructures (rescloses, guals i ponts) que interfereixen amb la dinàmica natural del riu i amb la morfologia de la llera. En total es van registrar un total de 442 observacions (Figura A3).

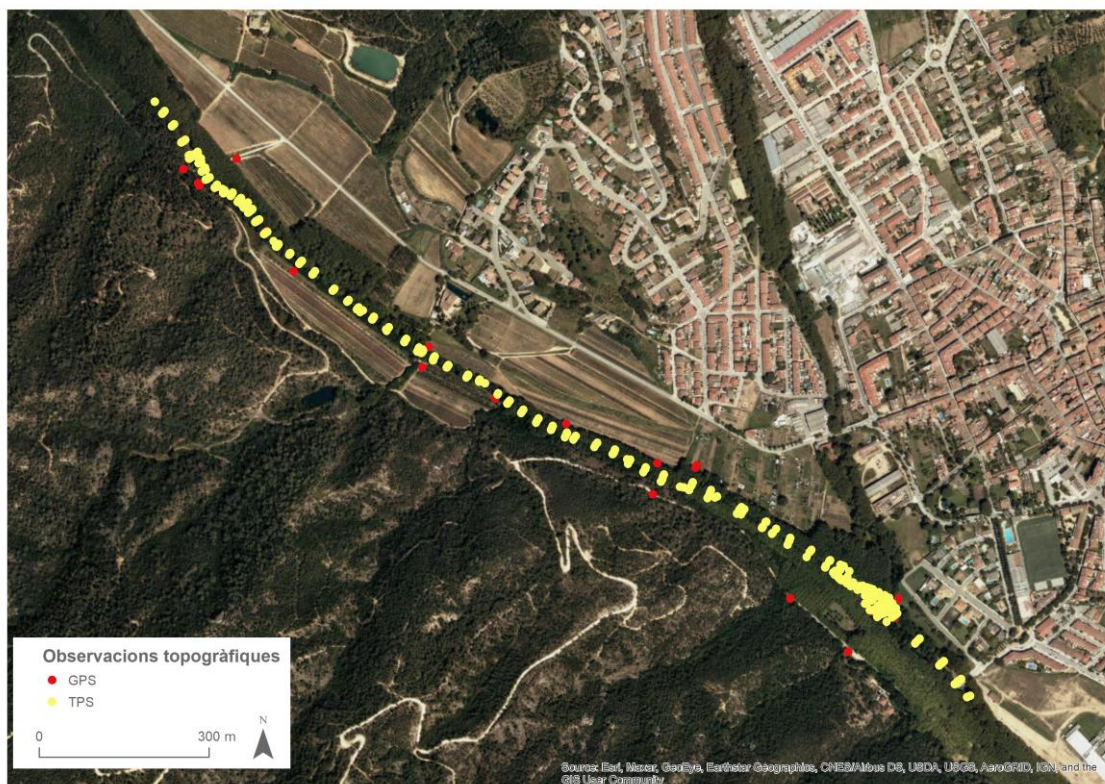


Figura A3. Distribució de les observacions topogràfiques de la llera registrades mitjançant una Estació Total (color groc) i un GPS-RTK (color vermell).

La topografia es va obtenir a partir d'un Estació Total Leica TPS1200® (Figura A4) i un Equip GPS-RTK Leica Viva® GS15 equipat amb radio amb GPRS que permet la connexió amb estacions de referència de l'ICGC per a la correcció de les dades en temps real (RTK). Aquesta correcció permet obtenir informació topogràfica amb valors de precisió inferiors als 6 cm (errors en posicionament i elevació). En tot el tram d'estudi es van obtenir les dades solament amb l'Estació Total degut a què la densitat de vegetació de ribera impedia el correcte funcionament del GPS-RTK (és a dir, baix nombre de satèl·lits, informació amb qualitat mètrica); en aquest cas la informació es va registrar amb coordenades locals. A més a més, les dades obtingudes amb l'Estació Total van ser transformades a dades geogràfiques (sistema de coordenades ETRS89 UTM31N) a partir de l'establiment de punts de control. Les coordenades geogràfiques d'aquests punts de control van ser obtingudes amb el GPS-RTK i, al mateix temps, també van ser obtingudes amb l'Estació Total. Al ser punts coincidents entre ambdós sistemes es pot fer una transformació al sistema que es desitgi (en aquest cas al geogràfic) a partir de tres ajustos: desplaçament, rotació i escala. Els errors associats a aquesta transformació van ser inferiors als 5 cm (errors en posicionament i elevació).



Figura A4. Estació Total Leica TPS1200® utilitzada per obtenir topogràfica just aigües amunt de la segona resclosa del parc de Sant Salvador. Autor: Jordi Tuset

Els perfils topogràfics són la informació de base que es farà servir per generar el Model Digital d'Elevacions (MDE) de la llera de la riera de Santa Coloma, sent la dada de partida per cubicar el sediment acumulat a la llera després del temporal Glòria.

## 9.2 Treball de laboratori

Les mostres volumètriques dels sediments es van portar al laboratori, es van assecar en una mufla a 70°C durant 12 hores i es van garbellar per obtenir els sediments classificats segons l'escala de Wentworth (1922). Per a l'obtenció de les corbes granulomètriques dels sediments fluvials i els valors estadístics (percentils i dispersió) necessaris per a fer els càlculs hidràulics i de mobilitat que donin resposta a l'objectiu del treball es va utilitzar una macro d'Excel desenvolupada per Damia Vericat (membre del grup RIUS).

## 9.3 Treball de gabinet

Un cop processades les mostres de camp, els sediments es van caracteritzar mitjançant corbes granulomètriques que permeten l'obtenció dels estadístics que s'empren per calcular valors de rugositat necessaris per als càlculs hidràulics i, posteriorment, per a fer les estimacions de mobilitat en base a percentils característics (en aquest cas hem emprat la mida mitjana dels

sediments  $D_{50}$ ), del conjunt dels sediments. La fracció sorra és la més mòbil en un riu d'aquestes característiques, essent aquesta la fracció a la que s'ha enfoca prioritàriament aquest estudi.

### 9.3.1 Estimació del volum de sediments acumulats durant el temporal Glòria

L'obtenció de coordenades geogràfiques ha permès fer una diagnosi evolutiva de la llera (és a dir, la comparació de la topografia abans del temporal glòria respecte la situació actual) en aquells subtrams amb una problemàtica per excés de sedimentació. Aquest exercici s'ha realitzat sobre un Model Digital d'Elevacions generat a partir de les dades Lidar de l'ICGC corresponents a l'any 2016. La densitat mínima de punts de les dades Lidar és d'1 punt  $m^{-2}$ . A més, els punts obtinguts al camp s'han utilitzat per generar un segon Model Digital d'Elevacions (MDE) de la llera en data posterior al temporal Glòria. D'aquesta manera, i per quasi tota la llera, es disposa de la geometria del canal actual (4-5 de novembre de 2021) i l'anterior al temporal Glòria (2016). La comparació de les superfícies permet cubicar la magnitud dels processos de sedimentació i erosió de la llera en els darrers anys, sobretot aquells deguts al temporal Glòria.

Per a la interpolació i la creació dels Model Digital d'Elevacions (MDE) de la llera de l'any 2016 (Lidar) i 2021 (aixecament topogràfic) es va utilitzar, en tots dos casos, l'eina d'interpolació Topo to Raster de l'ArcMap® 10.7. Aquesta eina interpola una superfície hidrològicament correcta a partir d'informació de diferents tipus d'entitats (punts, línies i polígons). Les zones més deprimides registrades en les observacions no són eliminades i es consideren depressions naturals. Els models digitals resultants es presenten en format ràster. Per realitzar la interpolació aquesta eina utilitza tota la informació topogràfica disponible mesurada a camp o pel Lidar, segons el cas. La resolució del MDE resultant és de 0,5 m de pas de malla.

La quantitat de sediment erosionat o sedimentat a la llera s'ha estimat mitjançant una eina GIS anomenada "diferència entre superfícies", que és capaç de cubicar les diferències entre dues superfícies diferents de la mateixa zona en format TIN. A partir d'aquí, el software calcula els volums de terreny que cal extreure o afegir de la geometria actual per tal d'obtenir la situació pre-crescuda.

Per facilitar aquesta tasca, s'ha fragmentat l'àrea d'estudi en 8 subtrams. Els límits de cada subtram estan definits per les infraestructures que generen un obstacle (per exemple, rescloses i guals) o pels trencaments de pendent del perfil longitudinal de la llera per causes naturals. Dos dels 8 subtrams, presenten un augment de pendent que facilita el transport de sediments, limita la sedimentació de les sorres i presenta tres tipologies principals de substrat: i) materials fins

(majoritàriament sorres); ii) materials grollers (majoritàriament graves i còdols) i iii) materials de mida submètrica (blocs).

### 9.3.2 Càlculs hidràulics i d' inici de moviment

Els càlculs s'han realitzat mitjançant un model hidràulic bidimensional (Iber v2.6), amb l'objectiu d'analitzar la resposta hidràulica i d'inici de moviment en aquells subtrams on s'hagi detectat el rebliment significatiu del canal respecte a l'any 2016 (any de referència).

L'Iber v2.6 ([www.iberaula.es](http://www.iberaula.es)) és un programa matemàtic bidimensional per a la simulació de fluxos de superfície lliure en rius i estuaris (Bladé et al., 2014) i ha estat desenvolupat en col·laboració entre el Grup d'Enginyeria de l'Aigua i del Medi Ambient, GEAMA (Universitat de la Corunya, UDC) i l'Institut FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC) i el Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria, (CIMNE).

El programa utilitza dades topogràfiques i equacions de dinàmica de fluids per simular el flux de superfície lliure en rius i estuaris. En el seu mòdul hidrodinàmic, el programa resol les equacions de flux en làmina lliure per a aigües poc profundes (equacions de St. Venant 2D). A més d'això, tant en el mòdul hidrodinàmic com en el de turbulència i el de sediments, es resolen les equacions en forma integral pel mètode de volums finits en una malla estructurada.

Per a cada subtram afectat per l'acumulació de sediments s'ha construït un model hidràulic amb la geometria de l'estat morfològic actual (MDE 2021). Per a generar el model hidràulic ha fet falta: (a) importar la geometria del tram d'estudi (MDE 2021), (b) assignar els paràmetres d'entrada (rugositat, model de turbulència, etc.), (c) assignar les condicions de contorn i inicials, (d) assignar les opcions generals de càlcul (temps de càlcul, paràmetres de l'esquema numèric) i, finalment, (e) construir una malla de càlcul.

- a) El model s'ha format amb una xarxa de cel·les regulars a partir de la importació de la topografia de l'àrea d'estudi actual (MDE 2021).
- b) El programari disposa d'una eina per definir la rugositat directament a la geometria del model. Prèviament s'ha relacionat amb uns usos del sòl. La definició d'aquests usos del sòl s'ha dut a terme a partir de l'anàlisi de l'ortofotomapa a de la zona (1:2500) i de les observacions realitzades durant la visita de camp. La rugositat de la llera ( $n$ ) s'ha calculat en base a l'aproximació de Strickler (1923), sent  $n=0,016$  per un  $D_{50}=1,35$  mm (veure apartat 4.1). Cada ús del sòl de la ribera se li ha atribuït un valor de rugositat segons les relacions consultades a les taules de referència de Sánchez i Lastra (2011). El coeficient

de rugositat corresponent al bosc de ribera i a una zona amb prats és de 0,116 i 0,04, respectivament.

- c) Les condicions de contorn a l'entrada, definides com a règim crític / subcrític, s'han definit a partir d'un hidrograma fictici amb un màxim equivalent a la màxima crescuda ordinària ( $Q=77,28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). A l'acabar cada modelització s'ha verificat que el cabal a l'inici i a la sortida del subtram fossin iguals (+/- 1%). Les condicions de contorn a la sortida dels models s'han definit com a règim supercrític/crític. Com a condicions inicials, s'ha especificat que tots els elements de la malla estaven secs (calat nul).
- d) El temps màxim de simulació establert és el mateix que el temps màxim de l'hidrograma (8400 seg), amb un increment màxim de temps en el càlcul d'1 segon i un interval de 300 segons per a l'obtenció de resultats. L'esquema numèric utilitzat ha estat de primer ordre. El límit sec-mullat s'ha definit com 0.01 m.

El càlcul de l'inici de moviment dels sediments de la llera s'ha realitzat mitjançant la tensió de tall crítica associada al percentil 50 de les distribucions granulomètriques  $\tau_{D50-i}$  ( $\text{N/m}^2$ ) dels materials fins i grollers. Aquest càlcul s'ha realitzat a partir de l'aproximació de Shields (1936):

$$\tau_{D50-i} = g \times \rho_{sed} \times \tau_* \times D_{50-i}$$

on  $g$  és  $9,8 \text{ m s}^{-2}$  (acceleració de la gravetat),  $\rho_{sed}$   $1650 \text{ kg m}^{-3}$  (densitat dels sediments en pes submergit) i  $\tau_*$  0,056 (constant adimensional de Shields).

A partir d'aquí el programa és capaç d'estimar el diàmetre crític (m) associat a un cabal a escala de píxel.

## 10 RESULTATS

### 10.1 Granulometria del sediments

Es van recollir 5 mostres de sediments del material de la llera al llarg de tot l'àmbit d'estudi. En tots els punts de mostreig el material estava format per sorres i graves fines. A mode d'exemple, presentem els resultats del punt de mostreig M3, representatiu de la resta de punts. La mida mitjana ( $D_{50}$ ) dels sediments que formen l'estructura sedimentaria del material de la llera en el punt de mostreig M3 és d'1,36 mm (Figura A5). A la figura 7 es pot observar una presència dominant de sorres (70% en pes) i, en un segon pla, de graves fines (30%). El grau de dispersió de la mostra presenta que el material es troba poc classificat en general ( $S_{F\&W} = 1,27$ ).

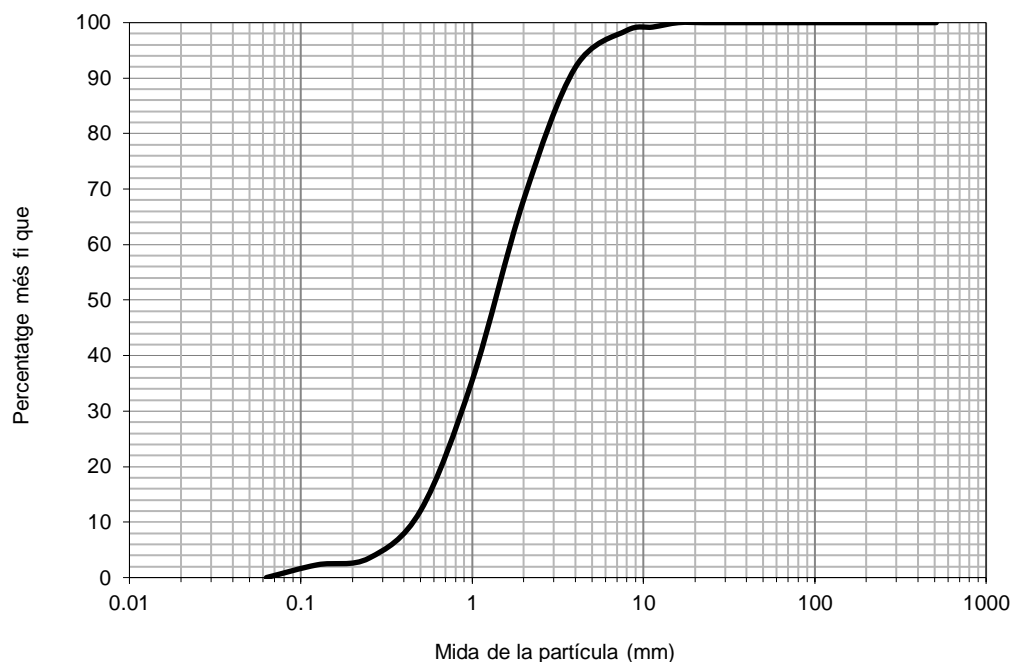


Figura A5. Distribució granulomètrica del material del punt de mostreig M3, situat a 360 metres aigües avall del gual de Can Caselles (Figura 3).

## 10.2 Caracterització topogràfica

Segons la topografia resultant, es pot observar com els perfils transversals dels subtrams amb un substrat format exclusivament per sorres i graves són *plans* i no presenten irregularitats (Figura A6-A). Grans dipòsits de sorra han ocupat la llera original, modificant la seva morfologia i soterrant altres tipus de substrat (graves, còdols i blocs). En aquets mateixos subtrams, els perfils longitudinals són rectes i solament acostumen a generar un trencament del pendent quan la riera s'apropa o topa amb un obstacle que atrapi el sediment (Figura A7). En els subtrams on la llera presenta una secció *trapezoidal* (Figura A6-B), els perfils longitudinals són irregulars i tenen un major pendent. En aquets subtrams s'observen tres tipologies principals de substrat: i) materials fins (majoritàriament sorres); ii) materials grollers (majoritàriament graves i còdols) i iii) materials de mida submètrica (blocs). Encara queda un últim subtram a definir a partir de la seva caracterització topogràfica, és el que es troba encaixat per les dues rescloses del parc de Sant Salvador. Aquest presenta una llera *plana* parcialment ocupada per una *barra lateral* de material més groller i elevada uns 50 cm per sobre el nivell de la llera (Figura A6-C). La distribució d'aquetes tipologies de subtrams a l'àmbit d'estudi queda reflectida en la figura A8, sent majoritaris les lleres amb una tipologia plana.

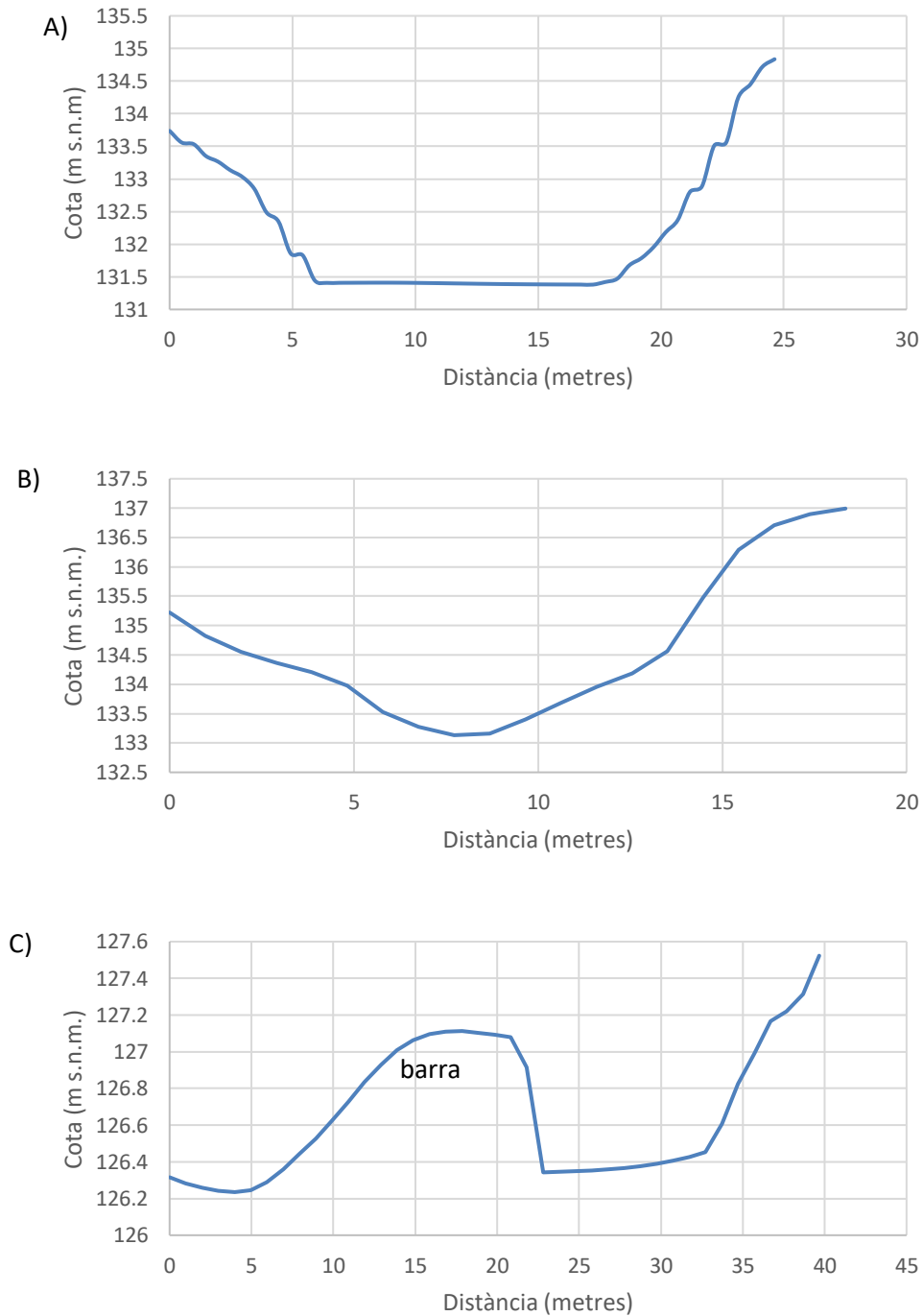


Figura A6. Perfils transversals característics dels tres tipus de llera observats en l'àmbit d'estudi. A) Llera plana: caracteritzada per presentar un perfil transversal pla i un perfil longitudinal recte. Es la tipologia majoritària, tan en número com en extensió. B) Llera trapezoidal: el perfil transversal és trapezoidal i el perfil longitudinal irregular i de major pendent. C) Llera plana amb barra lateral: el perfil transversal és irregular i el perfil longitudinal pla en el tàlveg.

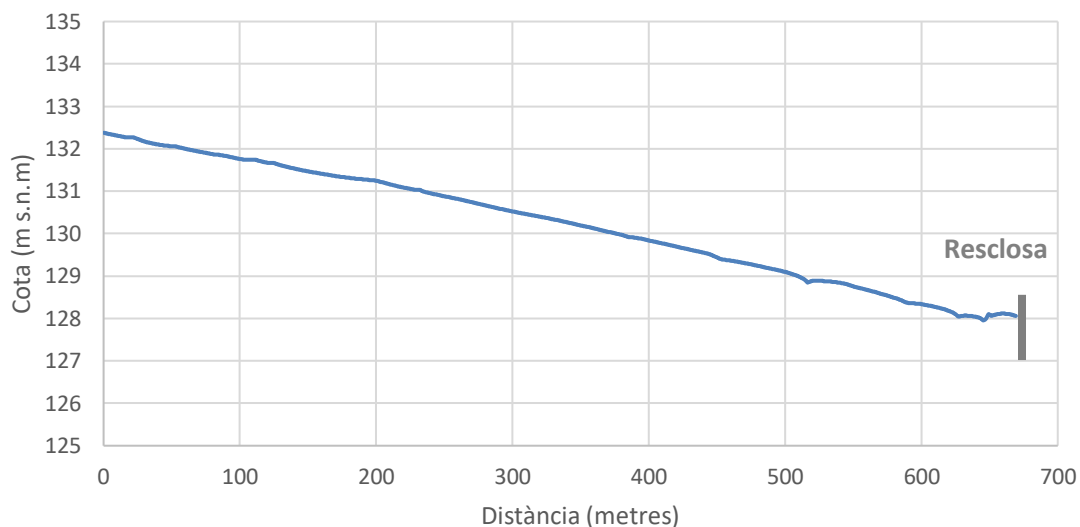


Figura A7. Perfil longitudinal del subtram de llera plana situat immediatament aigües amunt de la segona resclosa del parc de Sant Salvador. Es pot observar com el perfil és pla i no presenta irregularitats destacables. Solament hi ha un trencament del pendent quan la riera s'apropa a la resclosa (punt final del subtram), degut a la influència que genera aquesta aigües amunt.

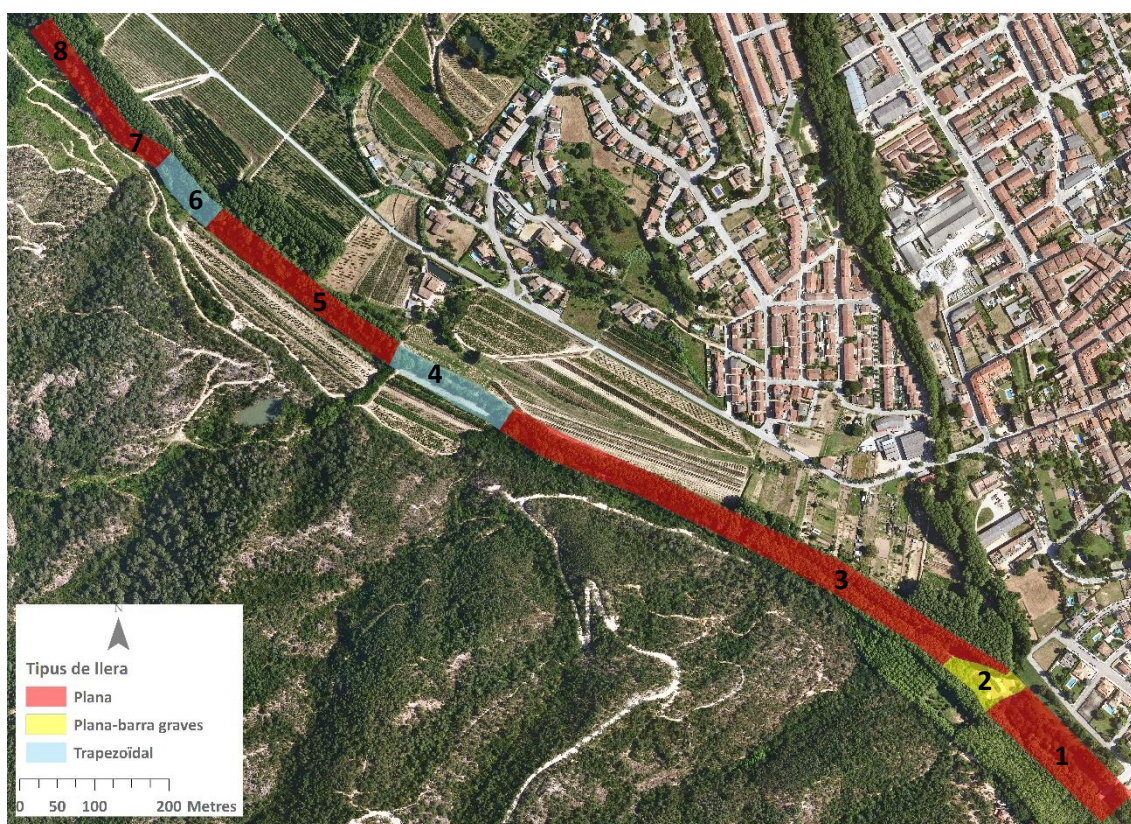


Figura A8. Distribució i identificació dels subtrams en funció del tipus del perfils transversal de la llera. En color vermell, hi han diversos subtrams amb un perfil transversal *pla* i longitudinal recte, mentre que els subtrams amb color blau, presenten una llera amb un perfil transversal *trapezoidal*. Finalment, en color groc, hi ha un subtram

amb un perfil transversal irregular (*pla amb barra lateral*) causat per la presència d'una barra lateral de grans dimensions.

### 10.3 Estimació del volum de sediments acumulats durant el temporal Glòria

Els MDE de l'estat actual de la llera de la riera de Santa Coloma es va obtenir mitjançant múltiples observacions topogràfiques registrades amb una estació total i un GPS-RTK. El volum de sediments retinguts a la llera s'obté de la diferència entre el model topogràfic actual (MDE del 2021) i el de referència (MDE del 2016). Aquesta estimació, es va fer per tots els substrams menys els de llera trapezoidal (Figura A8), ja que no presenta acumulacions excessives de sorres. Els resultats a nivell de subtram es mostren a la taula 1.

*Taula A1: Cubicatge dels processos de sedimentació i erosió de la llera a escala de subtram en els darrers anys, sobretot aquells generats durant el temporal Glòria. Per a la localització de cada perfil consultar la figura 10.*

Subtram	Sedimentació (m <sup>3</sup> )	Erosió (m <sup>3</sup> )
1	<b>384</b>	0
2	71	374
3	<b>4010</b>	196
4	-	-
5	2.0	<b>652</b>
6	-	-
7	2	409
8	60	60

Els resultats taula A1 mostren una tendència a l'acumulació de sediments a la llera respecte a l'any 2016. Els processos de sedimentació s'han concentrat sobretot en els substrams 1, 2 i 3, a la part més baixa de l'àrea d'estudi. El volum total sedimentat acumulat a la llera és superior als 4500 m<sup>3</sup>. No obstant, els processos de erosió també es veuen representats en casi tots els substrams, però sobretot en el tram 2, 5 i 7. El volum total sedimentat erosionats a la llera s'aproxima als 1700 m<sup>3</sup>, una quantitat no menyspreable. Els sediments erosionats al subtram 2, majoritàriament provenen de la barra lateral i no tant de les sorres de la llera. Tot sembla indicar, que els substrams 5, 6 i 7 no es troben afectats, a dia d'avui, per les aportacions extraordinàries que va comportar el temporal Glòria. Això es podria deure a que: (i) les aportacions extraordinàries de sediments provenien d'una font connectada directament als subtram 4 i/o 5, (ii) el perfil longitudinal dels substrams 5, 7 i 8 s'ha ajustat des del temporal Glòria i (iii) la competència hidràulica en aquetes seccions és suficients per mantenir el pendent d'equilibri observat a l'any 2016.

Les figures 11 i 13 mostren la distribució espacial de les sorres acumulades en els trams 1 i 3, respectivament. En la figura A9 es pot observar en el subtram 1, com els sediments acumulats van perdent potència a mesura que els sediments s'allunyen de la resclosa.

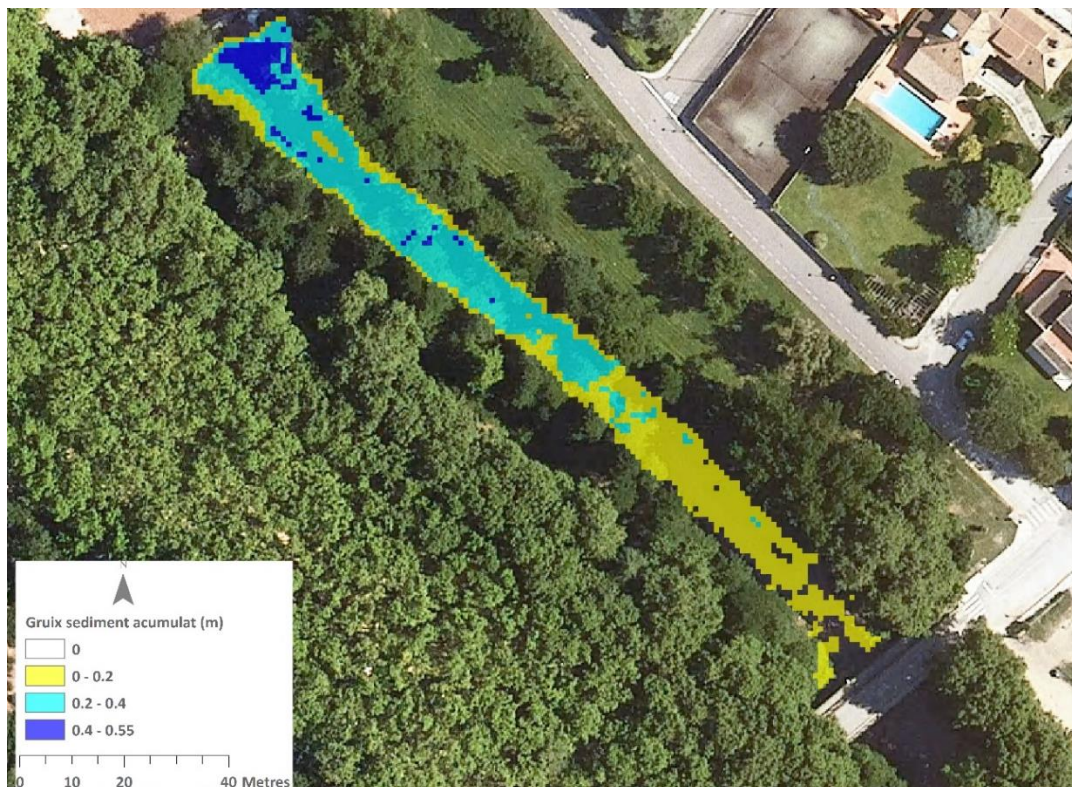


Figura A9. Distribució del gruix de sediment acumulat a la llera en el subtram 1 des del 2016. El gruix del sediment presenta una tendència a la baixa a mesura que s'allunya de la resclosa. El gruix màxim de sediment acumulat és d'aproximadament 50 cm, un valor semblant a l'estimat a partir de dues fotografies de la resclosa corresponents als anys 2017 i 2021.

El gruix màxim de sediment acumulat és d'aproximadament 50 cm, un valor semblant a l'estimat a partir de dues fotografies de la resclosa corresponents als anys 2017 i 2021 (Figura A10).



Figura A10. Comparativa d'una fotografia de la resclosa de Sant Salvador de l'any 2017 amb un altre de l'any 2021 (actual) que confirmen els resultats obtinguts amb el GIS (entre 20 y 55 cm d'acumulació).

El subtram 3 presenta el gruix i l'extensió més gran de sediments acumulats a la llera (Figura A11), arribant a superar els 100 cm de gruix en més d'1/3 de l'àrea del subtram. El gruix màxim arriba als 140 cm. En la figura A12, la comparativa de fotografies històriques i actuals confirmen una altra vegada els resultats obtinguts amb el GIS. En aquest tram, solament s'observen indicis d'erosió a la part inferior del tram, sobretot a l'àrea propera al canal de desguàs situat al lateral de la resclosa.

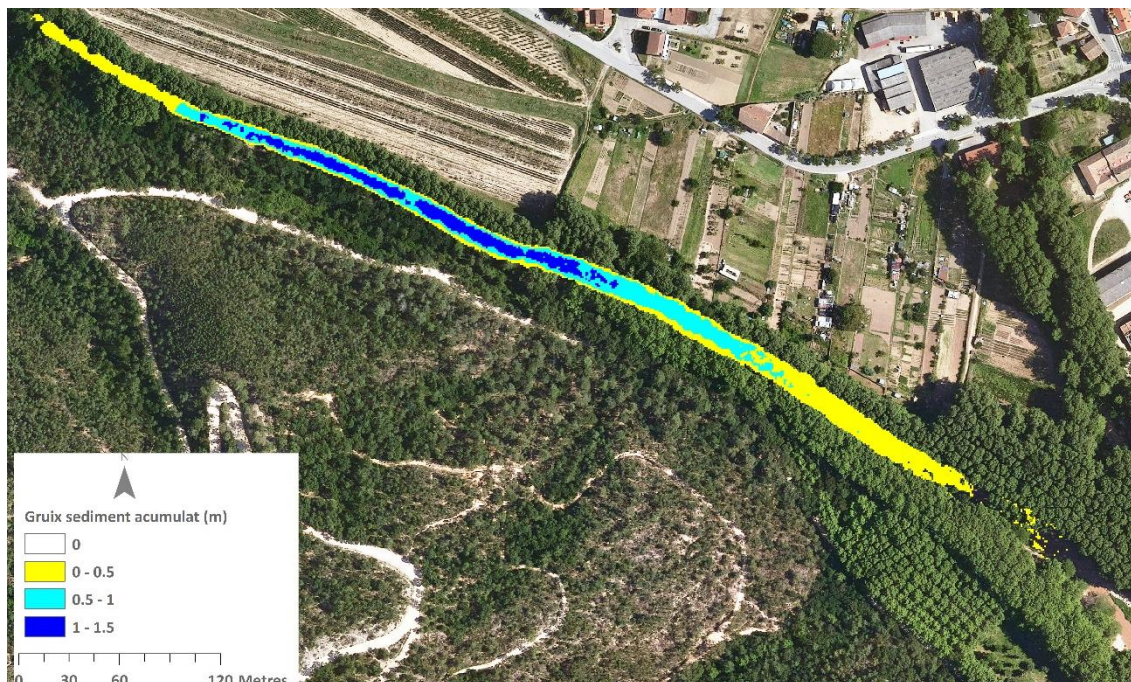


Figura A11. Distribució del gruix de sediment acumulat a la llera en el subtram 3 des del 2016. El sediment acumulat presenta un gruix molt important en tot el subtram, arribant a un màxim de 140 cm i superant els 100 cm en més d'1/3 del subtram.



Figura A12. Comparativa d'una fotografia de la Font Picant de l'any 2019 amb una altra del 2021 (actual) que confirmen els resultats obtinguts amb el GIS (entre 100 y 150 cm d'acumulació).

#### 10.4 Càlculs d'inici de moviment

A partir dels resultats de la modelització hidràulica s'ha estimat el diàmetre crític associat a un cabal. De manera general, els resultats indiquen que les sorres ja es posen amb moviment amb cabals iguals o superiors a  $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en els dos subtrams (és a dir, 1 i 3). No obstant, les graves fines no aconsegueixen inestabilitzar-se i moure's fins superar els  $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en el subtam 1 i els  $7,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en el tram 3. Aquesta diferència en la mobilitat de les graves fines és fruit del trencament de pendent del perfil longitudinal de la llera que s'observa uns metres aigües amunt de la segona resclosa del parc de Sant Salvador (Figura 9). Aquest fet facilita la sedimentació i dificulta la mobilitat del sediment.

Segons la distribució màxima de cabals calculats per l'ACA, el cabal de la màxima crescuda ordinària (2,33 anys de període de retorn) a la riera de Santa Coloma a l'alçada del parc de Sant Salvador és de  $77,28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , superant amb escreix els llindars mínims de mobilitat. No obstant, la gran quantitat de sediment que aporta la conca d'aigües amunt redueix la capacitat d'erosió i transport de la riera, encara que aquesta superi els llindars mínims de mobilitat.

Cal tenir present que en aquest apartat es mostren els resultats preliminars dels anàlisis realitzats d'inici de moviment. En els informes posteriors aquesta informació serà completada i analitzada amb més detall.

### 11 CONCLUSIONS

Després d'elaborar aquest informe, podem extreure diferents conclusions del treball realitzat: La metodologia emprada sembla la més adequada per al càlcul de volums a vista dels resultats obtinguts, si bé és cert que és molt difícil corroborar els resultats de manera precisa per qualsevol altre mitjà que no sigui la comparació d'imatges abans i després del Glòria . Aquestes imatges ens mostren que els resultats estan dins del mateix rang que les fotos.

Si tenim en compte els errors i les incerteses que poden arrossegar els nostres resultats es podrien diferències tres tipus principals. El primer fa referència al disseny metodològic per a l'obtenció de les dades, incloent-hi les característiques dels equips utilitzats i l'estratègia de mostratge.

La utilització del binomi estació total i GPS-RTK per obtenir la topografia d'un tram fluvial, com qualsevol altre mètode, té avantatges i desavantatges. Altres mètodes com la fotogrametria digital automatitzada o les tècniques lidar poden obtenir major densitat de punts, però la preparació abans de l'obtenció de dades (abalisament, punts de control, etc.) i el post-procés (tractament de núvols de milions de punts) hi hagués resultat molt més costós.

En aquest cas, atès que l'objectiu no era obtenir la micromorfologia del llit, sinó un model de superfície per poder calcular el volum de sediments, no es requeria aquesta densitat d'observacions. A més, en haver-se reblert la llera, la topografia era molt regular i la realització de perfils transversals i la seva interpolació s'ha adaptat molt bé a les necessitats del projecte. En el cas de la precisió i l'exactitud dels equips, es tracta d'un error que no es pot corregir i ve indicat pel propi fabricant, encara que actualment els valors són cada cop més baixos. En el cas de l'estació total, l'error de l'aparell no sol superar els 0,5 cm, mentre que el GPS no supera els 3 o 4 cm d'error. Quant a les dades Lidar utilitzades per crear el model de superfícies anterior al Glòria, es va utilitzar la segona cobertura Lidar (2016-2017) de l'ICGC, que té un error quadràtic mitjà d'uns 6 cm. En aquest context, podem considerar que l'ús d'aquests equips no afecta el resultat de la topografia. En qualsevol cas, es considera important que els dissenys metodològics tinguin en compte l'obtenció d'informació addicional per a l'estimació dels errors dels models resultants.

El tercer tipus d'error està associat al processament de les dades. L'ús de diferents mètodes i resolucions sol derivar en resultats lleugerament diferents, i és per això que s'han d'analitzar minuciosament per decidir quin tipus d'interpolació s'adequa més als objectius plantejats. En aquest cas, es podria considerar que el plantejament metodològic ha estat correcte, i que la densitat dels transectes ha estat adequada per obtenir una densitat de punts acceptable que permet crear uns models digitals d'elevacions que s'acostin de manera ajustada a la topografia pre i post Glòria de la riera de Santa Coloma.

Dels mètodes emprats per a la granulometria no cal aprofundir, ja que són mètodes àmpliament acceptats i utilitzats per la comunitat científica.

Els resultats obtinguts en l'anàlisi topogràfic mostren una acumulació de sediment a la llera de més de 4500 m<sup>3</sup> des de 2016 fins a dia d'avui (novembre de 2021), majoritàriament aportats pel temporal Glòria. Aquests dipòsits de sorres han generat un canvi molt significatiu de les condicions morfo-sedimentàries de la riera de Santa Coloma a l'alçada de Santa Coloma de Farners.

El context climàtic, amb grans contrastos tant a les temperatures com a les precipitacions, i el litològic, amb una alta erosionabilitat dels materials que conformen la conca, fan d'aquesta una conca eminentment generadora de sediments. D'altra banda, el baix pendent de la conca condicionen la seva capacitat de transport. Quan en un riu hi ha més sediments dels que aquest és capaç de transportar, l'excés de sediment es diposita al riu generant múltiples i petits canals, com és el cas. Aquest tipus de morfologia respon a la d'un riu trenat de sorres. La relació

amplada-profunditat és superior a 4, sent molt més ample que profund. El caràcter torrencial d'aquest tipus de rius fa que siguin medis dinàmics i de morfologies canviant, i en el cas de la riera de Santa Coloma, la mida del material ( $D_{50} = 1,36$  mm) fa que sigui un riu altament dinàmic i que el sediment circuli fàcilment aigües avall. En aquest tipus de rius, en què dominen els processos d'acumulació, el sistema tendeix a incrementar-ne el pendent de manera natural, augmentant així la seva velocitat i capacitat de transport. Aquest procés es pot observar al tram d'estudi, però la presència de constants obstacles (rescloses i guals) impedeixen que la riera assolixi el seu equilibri de manera natural.

Tot i tractar-se d'un informe preliminar, les primeres observacions ens comencen a indicar la direcció de les mesures que cal dur a terme per millorar les condicions morfo-sedimentàries del tram d'estudi.

En primer lloc, caldria ajudar el riu a assolir el seu equilibri natural mitjançant l'eliminació parcial o total d'alguns obstacles. Si eliminem obstacles, com hem dit anteriorment, el riu augmentaria el pendent, la velocitat i la capacitat per transportar els sediments acumulats. D'aquesta manera, el riu faria part del treball de manera natural, i s'estalviaria en l'extracció mecànica de sediment.

En segon lloc, la reducció de l'amplada activa augmentaria el calat, la velocitat i la capacitat de transport de sediments de la llera, provocant una incisió a la llera.

Per últim, com s'ha esmentat anteriorment, la identificació de fonts potencials de sediment i la seva estabilització (o desconexió de la llera) reduiria l'entrada de sediment al sistema i ajudaria a millorar l'estat morfològic de la riera a llarg termini, reduint-ne les possibilitats que es produeixi una aportació extraordinària de sediment en el futur.

## 12 BIBLIOGRAFIA

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A., 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Rev. Int. Metod. Numer. para Calc. y Disen. en Ing. 30, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>
- Church, M.A., McLean, D.G., Wolcott, J.F., 1987. River bed gravels: sampling and analysis, en: Sediment Transport in Gravel-bed Rivers.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazor river bar: A study in the significance of grain size parameters. J. Sediment Petrol.
- Sánchez, F.J., Lastra, J., 2011. Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Strickler, A., 1923. Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und Geschlossene Leitungen, Mitteilungen des Amtes für Wasserwirtschaft // Eidgenössisches Departement des Innern, Nr 16. Bern Sekretariat d. eidg. Amtes f. Wasserwirtschaft, Berna.
- Vericat, D., Batalla, R.J., 2012. Mesura i mostreig de variables geomorfològiques, Quaderns DMACS n°38. Lleida.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol. 30, 377-392.

## ANNEX 2

*Taula A2. Hietogrames (mm) corresponents al temporal Glòria a escala de subconca.*

Data	R10W 10	R30W 30	R40W 40	R50W 50	R60W 60	R70W 70	R110W 110	R90W 90	R100W 100	R130W 130	R200W 200	R80W 80	R220W 220	R160W 160	R150W 150	R140W 140	R190W 190	R230W 230	R180W 180	R170W 170	R120W 120	R260W 260	R210W 210
21/01/2020 1:00	3.6	2.2	1.3	1.0	2.6	3.2	2.6	1.5	1.9	1.8	1.8	2.0	1.7	1.8	1.8	1.7	1.7	1.9	1.7	1.8	1.5	2.8	2.1
21/01/2020 2:00	5.1	4.5	3.9	3.7	5.0	5.2	4.5	3.7	4.3	4.0	3.8	4.0	3.6	4.3	3.7	4.3	5.0	3.4	4.7	4.2	3.1	3.7	4.4
21/01/2020 3:00	4.5	3.8	4.0	3.3	3.8	3.9	3.2	3.3	3.6	3.2	3.2	2.5	3.5	2.7	3.4	2.5	2.9	3.6	3.5	2.9	3.3	4.3	3.8
21/01/2020 4:00	5.7	4.3	3.7	3.0	4.5	5.1	4.5	3.5	3.6	3.6	4.4	5.0	4.4	3.4	4.2	3.8	3.9	5.4	3.9	4.0	4.6	8.4	5.3
21/01/2020 5:00	5.4	4.4	2.8	2.7	5.9	6.8	5.8	4.2	4.6	4.8	5.2	4.1	5.3	4.4	5.1	4.0	2.8	6.0	2.9	4.4	4.3	7.4	4.6
21/01/2020 6:00	3.4	3.2	1.3	1.5	5.2	5.3	3.8	2.8	3.8	2.7	2.4	2.2	2.7	2.7	2.5	2.3	1.5	2.5	1.3	2.2	2.2	2.3	1.6
21/01/2020 7:00	2.6	1.7	1.1	1.2	2.0	2.4	2.2	1.5	1.6	1.4	1.3	1.8	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.4	0.8	1.2	1.6	1.6	1.0
21/01/2020 8:00	8.1	7.3	4.6	4.3	6.2	6.2	4.2	4.1	4.7	2.7	2.8	2.7	3.5	2.3	3.1	2.2	1.7	3.7	1.4	2.2	4.0	3.1	2.0
21/01/2020 9:00	3.9	4.2	5.4	5.9	2.8	2.5	1.8	3.3	2.8	1.9	1.7	1.6	2.0	1.8	1.9	1.8	1.8	2.0	1.5	1.7	3.8	1.9	1.4
21/01/2020 10:00	3.7	2.7	3.4	2.6	1.8	1.9	1.5	1.3	1.4	0.8	0.7	1.5	0.7	1.1	0.7	1.2	1.0	0.7	0.6	0.8	1.3	0.7	0.6
21/01/2020 11:00	2.5	2.4	2.8	2.5	2.0	1.9	1.6	1.8	1.9	1.5	1.4	1.8	1.4	1.6	1.4	1.7	1.8	1.3	1.3	1.4	1.8	1.2	1.3
21/01/2020 12:00	7.2	4.8	5.6	3.3	3.7	4.1	3.2	2.4	3.0	1.7	1.5	2.9	1.5	1.9	1.5	2.1	2.4	1.5	1.8	1.7	2.0	1.6	1.5
21/01/2020 13:00	2.6	2.9	4.2	4.1	2.3	1.9	1.7	2.7	2.6	1.8	1.8	1.8	2.0	1.6	1.9	1.6	1.6	2.0	1.5	1.6	2.9	1.7	1.6
21/01/2020 14:00	4.4	4.2	4.6	3.8	3.4	3.2	2.8	2.8	3.2	1.8	1.3	2.7	1.5	1.8	1.5	1.7	1.6	1.4	1.1	1.4	2.3	1.2	0.9
21/01/2020 15:00	2.5	2.7	3.7	3.4	1.7	1.6	1.4	1.8	1.7	0.9	0.9	1.2	1.0	0.9	0.9	0.9	0.6	1.0	0.5	0.8	2.2	0.9	0.7
21/01/2020 16:00	0.2	0.3	1.3	1.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
21/01/2020 17:00	0.0	0.1	0.4	0.8	0.1	0.0	0.0	0.9	0.4	0.5	0.4	0.0	0.7	0.1	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	0.1	1.5	0.8	0.1
21/01/2020 18:00	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.2	0.5	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5
21/01/2020 19:00	0.0	0.2	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.6	0.4	0.1	0.5	0.0	0.4	0.1	0.4	0.4	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
21/01/2020 20:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21/01/2020 21:00	0.6	1.5	1.7	2.1	1.3	1.1	1.5	1.9	1.8	1.9	2.0	2.5	2.0	2.1	2.0	2.5	3.0	1.8	2.5	2.1	2.1	1.3	1.8

Diagnosi del desequilibri sedimentari i propostes per a la millora de la dinàmica fluvial a la riera de Santa Coloma al seu pas pel parc de Sant Salvador (tm. Santa Coloma de Farners)

21/01/2020 22:00	3.4	3.8	4.6	4.8	3.3	3.2	3.1	3.5	3.4	3.3	3.3	4.1	3.1	4.1	3.1	4.8	6.0	3.0	5.2	4.1	3.6	2.6	3.9
21/01/2020 23:00	4.0	5.2	6.1	6.3	4.7	4.3	4.6	5.9	5.5	6.0	5.8	6.2	5.7	6.3	5.8	6.0	6.4	5.1	6.0	6.1	5.5	4.4	5.9
22/01/2020 0:00	8.8	10.4	10.4	9.9	8.8	7.6	7.3	11.4	10.7	9.5	10.3	10.2	11.1	8.5	10.5	8.6	10.8	11.0	9.4	9.3	9.0	9.0	10.1
22/01/2020 1:00	10.8	8.6	8.4	6.6	7.7	8.1	7.2	6.6	6.5	5.8	6.6	7.1	6.9	5.1	6.6	5.6	6.9	8.4	6.6	5.7	9.1	10.5	7.3
22/01/2020 2:00	14.0	14.9	17.0	20.3	13.5	12.6	10.7	16.6	14.4	14.2	16.0	8.9	16.5	13.4	15.8	11.8	9.7	20.0	12.8	14.3	26.2	23.8	16.8
22/01/2020 3:00	30.9	29.2	26.5	23.5	22.0	18.0	10.8	19.0	18.2	6.9	6.2	6.7	10.4	4.9	7.8	5.1	4.6	13.3	2.5	3.8	25.8	15.1	2.6
22/01/2020 4:00	16.8	13.4	10.5	8.7	13.9	13.7	8.0	9.1	11.5	8.7	7.0	5.2	7.0	9.0	7.3	9.2	8.8	6.7	7.3	7.2	9.4	7.1	4.4
22/01/2020 5:00	11.4	11.1	13.5	11.5	6.6	5.2	3.5	7.1	7.6	5.2	5.2	3.2	5.8	4.7	5.9	4.1	3.3	5.1	4.9	4.7	7.2	5.7	5.1
22/01/2020 6:00	14.7	11.5	10.7	9.9	7.9	6.9	3.8	7.3	7.5	6.2	6.1	2.3	5.5	5.2	6.1	3.6	2.4	5.4	4.1	6.8	8.1	4.6	5.8
22/01/2020 7:00	6.0	7.7	8.4	7.5	3.5	2.9	2.0	7.7	6.2	2.2	1.7	0.9	4.2	1.2	2.8	0.5	0.6	3.7	0.1	0.8	4.9	0.9	0.1
22/01/2020 8:00	8.0	8.1	7.5	6.5	5.7	4.7	3.1	7.1	6.3	3.0	2.4	1.4	4.5	1.5	3.5	0.9	0.2	4.7	0.2	1.1	4.3	2.0	0.3
22/01/2020 9:00	3.9	4.7	5.9	4.8	1.2	0.6	0.0	2.5	1.9	0.0	0.1	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	2.2	0.1	0.0
22/01/2020 10:00	1.2	1.0	3.4	2.8	0.3	0.3	0.1	0.5	0.3	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	0.1	0.1
22/01/2020 11:00	2.1	2.0	4.6	3.7	0.7	0.6	0.5	1.1	0.8	0.5	0.5	1.1	0.6	0.5	0.5	0.7	1.0	0.7	0.8	0.5	2.5	0.8	0.4
22/01/2020 12:00	0.4	0.2	1.1	0.9	0.3	0.3	0.6	0.1	0.2	0.2	0.2	0.7	0.2	0.5	0.2	0.6	0.6	0.1	0.6	0.4	0.8	0.4	0.4
22/01/2020 13:00	1.0	0.8	0.9	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
22/01/2020 14:00	0.9	0.8	1.5	0.9	0.4	0.2	0.3	0.5	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
22/01/2020 15:00	0.4	0.4	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
22/01/2020 16:00	0.5	0.7	1.4	1.0	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.0	0.1
22/01/2020 17:00	1.3	0.4	0.2	0.1	1.1	1.2	1.4	0.2	0.5	0.3	0.1	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
22/01/2020 18:00	1.3	1.2	0.7	0.3	2.5	2.5	1.2	0.8	1.7	1.3	0.5	0.3	0.5	2.1	0.6	0.9	0.2	0.2	0.2	0.9	0.1	0.0	0.0
22/01/2020 19:00	0.7	0.6	0.1	0.1	2.0	2.9	2.3	0.2	0.5	0.1	0.1	0.9	0.0	1.2	0.0	1.0	0.3	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.1

Diagnosi del desequilibri sedimentari i propostes per a la millora de la dinàmica fluvial a la riera de Santa Coloma al seu pas pel parc de Sant Salvador (tm. Santa Coloma de Farners)

22/01/2020 20:00	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	0.9	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
22/01/2020 21:00	0.9	0.5	0.4	0.2	0.8	1.1	0.6	0.3	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
22/01/2020 22:00	2.7	2.5	2.7	1.6	1.4	1.1	0.7	0.9	1.4	0.6	0.4	0.5	0.4	1.0	0.4	0.9	0.2	0.2	0.4	0.8	0.9	0.0	0.2
22/01/2020 23:00	2.9	3.8	6.1	4.6	1.7	1.3	1.3	2.9	2.4	1.8	1.8	1.5	2.2	1.7	2.0	1.7	1.6	2.3	1.5	1.6	3.3	2.0	1.4
23/01/2020 0:00	1.6	1.5	1.8	1.7	1.4	1.6	1.8	1.3	1.3	1.2	1.2	1.9	1.2	1.5	1.2	1.7	1.5	1.0	1.4	1.4	1.2	0.9	1.4
23/01/2020 1:00	1.3	1.4	1.6	1.1	1.1	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.5	1.1	1.3	1.1	1.5	2.1	1.0	1.7	1.2	0.9	0.7	1.1
23/01/2020 2:00	5.1	4.4	4.1	3.2	4.3	4.6	4.4	3.2	3.9	3.5	3.2	4.5	3.0	3.7	3.3	3.7	4.0	2.5	3.6	3.5	2.5	2.4	3.3
23/01/2020 3:00	3.1	2.7	2.8	2.8	2.7	2.9	3.1	2.2	2.5	2.4	2.1	3.5	1.9	2.8	2.1	3.0	3.5	1.7	2.9	2.5	2.3	1.3	2.1
23/01/2020 4:00	5.0	4.7	4.5	3.4	4.8	4.8	4.9	3.9	4.5	4.8	4.4	5.2	3.9	5.5	4.2	5.7	6.1	3.3	6.3	5.4	2.7	2.3	4.9
23/01/2020 5:00	5.7	6.3	4.3	3.9	6.0	5.7	5.2	4.2	5.3	4.0	3.3	4.6	3.3	4.4	3.5	4.7	4.8	3.0	3.9	3.7	3.1	2.5	2.9
23/01/2020 6:00	3.7	2.5	2.4	1.5	2.6	3.1	2.9	1.6	2.0	2.1	1.8	2.7	1.5	2.7	1.7	2.8	2.6	1.2	2.5	2.3	1.2	0.9	1.8
23/01/2020 7:00	1.4	0.8	0.6	0.3	0.7	0.8	0.6	0.2	0.4	0.0	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.2	0.4	0.1
23/01/2020 8:00	0.5	2.8	1.9	4.5	1.5	0.5	0.2	6.2	4.1	1.3	1.3	0.1	1.9	0.8	1.5	0.6	0.2	2.5	0.7	0.9	4.4	1.3	0.7
23/01/2020 9:00	15.5	8.4	7.1	3.9	12.6	14.3	18.0	2.6	7.0	6.7	4.1	21.4	2.3	11.9	3.6	16.3	23.3	0.6	18.7	7.9	0.8	0.0	4.2
23/01/2020 10:00	0.9	0.1	0.0	0.0	0.3	1.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.3	0.0	1.0	4.4	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 11:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 12:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 13:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 14:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 16:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 17:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Diagnosi del desequilibri sedimentari i propostes per a la millora de la dinàmica fluvial a la riera de Santa Coloma al seu pas pel parc de Sant Salvador (tm. Santa Coloma de Farners)

23/01/2020 18:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 19:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 20:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 21:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 22:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/01/2020 23:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0