



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

La conca alta del Francolí i els seus molins: reconstrucció hidràulica de crescudes extraordinàries per l'anàlisi de freqüències dels cabals de crescuda

***Màster de Recursos Minerals i Riscos Geològics
Especialitat: Riscos Geològics***

Juliol 2021

Laura Poll Barrera

Tutora i tutors:

Dra. Glòria Furdada Bellavista (UB)

Dr. Jordi Tuset Mestre (UdL)

Dr. J. Carles Balasch Solanes (UdL)

ÍNDEX

1	RESUM / ABSTRACT	1
2	INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	2
3	SITUACIÓ GEOGRÀFICA I GEOLÒGICA	2
4	CARACTERÍSTIQUES CLIMÀTIQUES I HIDROLÒGIQUES DEL FRANCOLÍ	4
4.1	<i>Clima</i>	4
4.2	<i>Hidrologia.....</i>	5
5	ANTECEDENTS	5
5.1	<i>Riuades històriques</i>	5
5.1.1	<i>Riuada de 1874.....</i>	5
5.1.2	<i>Riuada de 1930.....</i>	6
5.1.3	<i>Riuada de 1994.....</i>	6
5.1.4	<i>Riuada de 2019.....</i>	6
5.2	<i>Antecedents temàtics: integració de dades sistemàtiques i no sistemàtiques</i>	6
6	METODOLOGIA.....	6
6.1	<i>Base de dades dels molins.....</i>	8
6.2	<i>Selecció del tram de riu a estudiar</i>	8
6.3	<i>Aixecament topogràfic.....</i>	9
6.4	<i>Modelització hidràulica: Iber.....</i>	9
6.4.1	<i>Preparació del model</i>	9
6.4.2	<i>Simulació</i>	10
6.5	<i>Anàlisi de freqüències.....</i>	11
7	RESULTATS	11
7.1	<i>Base de dades dels molins i selecció.....</i>	11
7.2	<i>Aixecament topogràfic.....</i>	12
7.3	<i>Modelització hidràulica: Iber.....</i>	13
7.3.1	<i>Simulació</i>	13
7.4	<i>Anàlisi de freqüències.....</i>	16
8	DISCUSSIÓ	17
8.1	<i>Base de dades dels molins.....</i>	17
8.2	<i>Modelització hidràulica.....</i>	17
8.3	<i>Anàlisi de freqüència.....</i>	18
9	CONCLUSIONS	18
10	AGRAÏMENTS	19
11	REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	20
12	ANNEXOS	22
I	<i>Base de dades dels molins.....</i>	22
II	<i>Cartografia dels usos del sòl</i>	22
III	<i>Aixecament topogràfic</i>	22
IV	<i>Model digital del terreny del 2003 de 1X1m retallat.....</i>	23
V	<i>Simulacions.....</i>	23
VI	<i>Anàlisi de freqüències.....</i>	23

1 RESUM / ABSTRACT

Resum

Al llarg del darrer segle i mig la conca alta del riu Francolí ha estat afectada per quatre grans riuades de tipus *flash flood*. Aquestes riuades històriques han causat un gran nombre de danys materials i pèrdues de vides humanes. Aquest estudi pretén aportar coneixement sobre la freqüència i cabals amb què es produeixen aquestes riuades, útil per fer els mapes de perillositat i risc necessaris per a la planificació i gestió del territori.

S'ha fet una recerca a la zona dels molins i limnimaques que s'hi troben a través de fonts bibliogràfiques i dades de camp. S'ha seleccionat i estudiat un tram on se situa el Molí del Celdoni i se n'ha reconstruït els cabals pic de les dues riuades més recents (1994 i 2019) utilitzant el software lliure Iber com a model hidràulic. Finalment s'ha recalculat els períodes de retorn tenint en compte les dades dels cabals sistemàtiques (aforaments) i no sistemàtiques (reconstruïts de les limnimarques històriques) per a períodes de retorn de baixa freqüència.

Els resultats han estat per una banda una base de dades georeferenciada dels molins i les limnimarques que se situen a la capçalera de la conca del Francolí. Per l'altra banda, s'han estimat cabals pic de 380 m³/s per la riuada del 1994 amb un període de retorn inferior a 50 anys, d'acord amb l'anàlisi de freqüència. En canvi, per la riuada del 2019 s'han estimat cabals de 780 m³/s i corresponents a un període de retorn d'entre 50 i 100 anys. Aquest estudi mostra la importància de tenir en compte les dades no sistemàtiques, ja que i) redueixen els períodes de retorn i, ii) fan multiplicar per 8 els cabals obtinguts només amb dades sistemàtiques per els mateixos períodes de retorn.

Abstract

Over the last century and a half, the upper Francolí river basin has been affected by four flash floods. These historical floods caused a large material damage and loss of human life. This study aims to provide knowledge about the flood occurrence, their frequencies and their peak flows. These are key data for hazard and risk mapping, needed for land use planning and management.

We carried out a research of the mills and flood water marks within the study area by means of a bibliographic review and field data. A reach that includes the *Molí del Celdoni* was selected and studied. We have been able to reconstruct the peak flows of the two most recent floods (1994 and 2019) using the open source Iber software. Finally, the return periods have been recalculated taking into account the data of systematic (gauging data) and non-systematic flows (reconstructed from the historical marks) for long return periods.

The results have been, first, a georeferenced database of the mills and flood water marks located at the head of the Francolí basin. Second, peak flows of 380 m³/s were estimated for the 1994 flood, with a return period <50 years according to the frequency analysis. Contrastingly, for the 2019 flood we estimated flows of 780 m³/s with a corresponding return period between 50-100 years. This study highlights the importance of considering non-systematic data, because i) they reduce return periods and, ii) they increase 8 times the peak flows obtained only with systematic data for the same return periods.

2 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

El riu Francolí és un dels cursos principals de la zona litoral del SW de Catalunya que drena les seves aigües al mar Mediterrani (Pujadas, 1994). En aquest riu s'han produït un gran nombre de riudes històriques essent les més destacades: les del 1874 (Santa Tecla), el 1930 (Sant Lluç), el 1994 (Sant Tomàs de Vilanova) i, finalment, la del 2019. Aquesta última ens aporta les evidències de la dinàmica del riu durant la riuda al camp.

Aquestes riudes històriques han causat un gran nombre de pèrdues de vides humanes i danys materials. Es tracta de riudes de tipus *flash flood* o inundacions llampec. A la costa mediterrània s'ha detectat un increment de riudes produïdes per *flash floods*. Es tracta d'inundacions extraordinàries causades per pluges intenses i curtes (Tarolli et al., 2012) en rius relativament petits i propers a la costa (Llasat et al., 2008).

Aquest tipus d'esdeveniments extrems són la base de la planificació dels espais fluvials (gestió del risc per inundació) i no acostumen a quedar registrats per les estacions d'aforament al veure's superades. No obstant, molts veïns, amb la finalitat de deixar constància dels nivells assolits per les aigües, han col·locat nombroses referències (plaques commemoratives) en les zones habitualment afectades per inundacions. Un clar exemple són els molins, aquest tipus d'edificacions estan situades molt properes al riu i conseqüentment estan exposats a les inundacions.

Els molins existents o en ruïnes avui en dia, que no han estat completament destruïts per les riudes, ens permeten obtenir informació històrica de dades no sistemàtiques, ja que molts presenten marques d'aigua o limnimarques. Aquestes dades són claus per reconstruir els cabals que les estacions d'aforament no han registrat i permeten una anàlisi de la freqüència de cabals més ajustada.

Per tant, l'objectiu fonamental de l'estudi és calcular els cabals de les crescudes més importants del riu Francolí en un tram proper a l'estació d'aforament de Montblanc i fer l'anàlisi de freqüències de cabals per millorar les prediccions d'avingudes a través de la integració de dades no sistemàtiques a la conca. Els objectius específics són:

1. Obtenir una base de dades amb la informació històrica rellevant de molins i limnimarques per a l'estudi de crescudes històriques.
2. Caracteritzar el tram d'estudi per la reconstrucció de cabals amb un model hidràulic (Iber).
3. Estimar els cabals històrics d'una localització.
4. Integrar els cabals històrics calculats amb dades sistemàtiques de cabals per calcular períodes de retorn més ajustats a la realitat per al riu Francolí.

3 SITUACIÓ GEOGRÀFICA I GEOLÒGICA

La zona d'estudi se situa la capçalera del riu Francolí (Figura 1), situat al SW de Catalunya. El riu Francolí drena una àrea de 833 km² i té un recorregut de 59 km i un desnivell de 1200m (Pujadas, 1994). La zona d'estudi està delimitada principalment per zones muntanyoses, al N, hi ha les Serres de Vilobí i del Tallat i els Comalats, al SW, les muntanyes de Prades, que es tracta de la zona topogràficament més elevada amb alçades de fins a 1200 m i, al SE, les Serres de Guixerres i de Miramar i les muntanyes de Jordà i de Cabarrà.

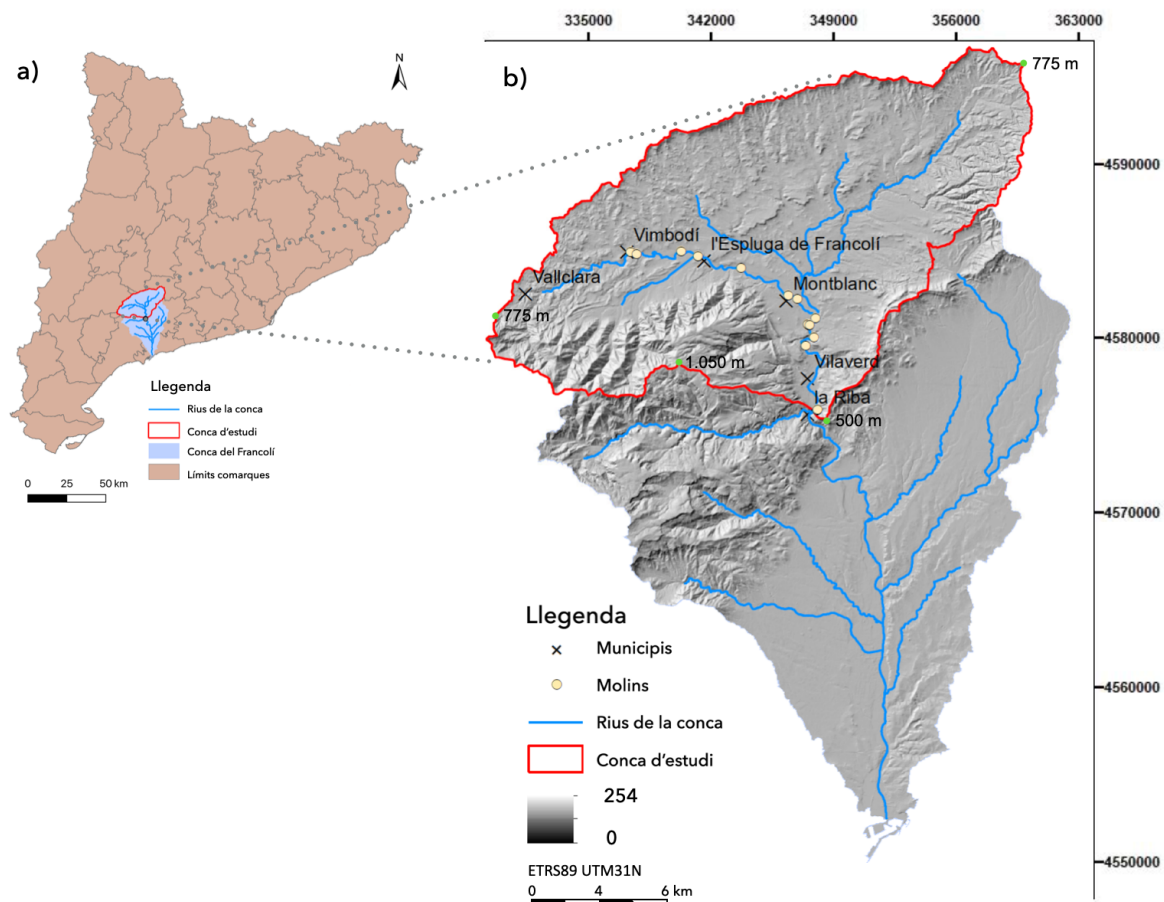


Figura 1. a) Mapa de Catalunya amb la localització de la conca del Francolí marcada en blau, en vermell està marcada la conca d'estudi. b) Mapa ampliat del model d'ombres del terreny de la conca del Francolí, on també està marcada la conca d'estudi, els molins inventariats i els municipis propers. Model d'ombres propietat de l'ICGC CC by 4.0 [en línia].

La zona d'estudi se situa en la zona de trànsit entre la Conca de l'Ebre (N de la conca), la Serralada Prelitoral (centre-oest de la conca) i la Depressió Prelitoral (S de la conca). La geologia de les formacions, de Nord a Sud, és la següent (Figura 2):

- La conca de l'Ebre està constituïda per materials terciaris continentals. Principalment lutites, gresos, conglomerats i calcàries, puntualment hi ha presència de guixos.
- La Serralada Prelitoral està formada per un sòcol paleozoic de pissarres i calcàries, puntualment hi ha plutons de leucogranits i granodiorites. Per sobre d'aquests materials paleozoics i afloren materials triàsics, constituïts per conglomerats, gresos i lutites de les Fàcies Buntsandstein i calcàries i dolomies de les Fàcies Muschelkalk i Keuper.
- La Depressió Prelitoral formada per un substrat sedimentari miocènic (conglomerats, gresos i lutites) el qual està recobert en gran extensió per materials quaternaris. Els fons de vall estan recoberts per materials quaternaris generats per l'erosió del riu amb el pas del temps. El material quaternari es tracta de dipòsits al·luvials constituïts per graves, sorres, llims, de terrasses, les quals presenten un fort escalonament segons l'eix del riu, formades per graves i de cons de dejecció formats per conglomerats, gresos i lutites.

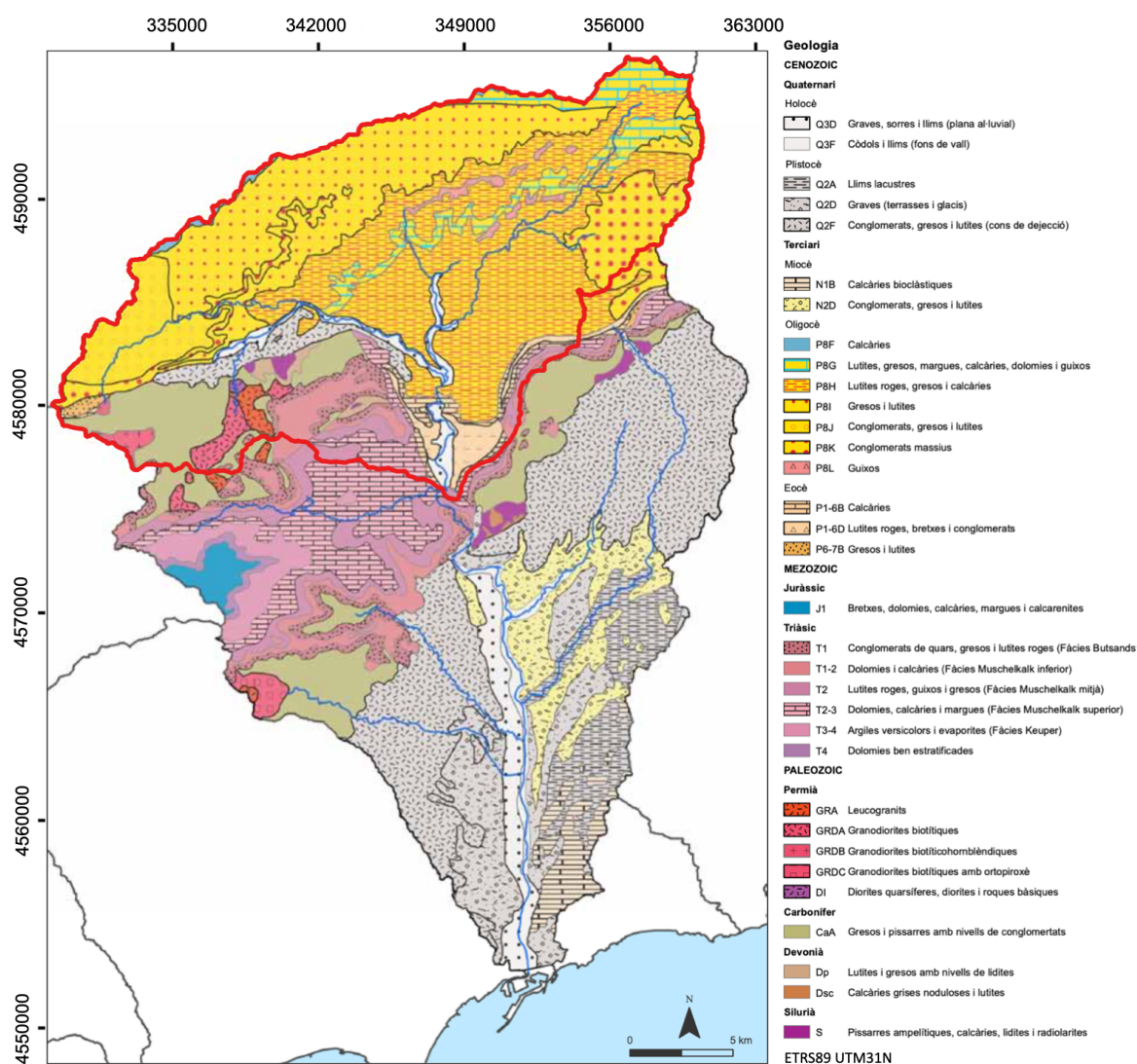


Figura 2. Mapa geològic de la conca del Francolí. Font: (Ortiz et al., 2013). Marcada en color vermell la zona d'estudi, corresponent a la conca alta.

4 CARACTERÍSTIQUES CLIMÀTIQUES I HIDROLÒGIQUES DEL FRANCOLÍ

4.1 Clima

El clima actual del riu Francolí és mediterrani temperat, clàssic del litoral, variant una mica les condicions a la part alta de la conca cap a un clima continental mediterrani (Trilla, 1972). Aquest clima mediterrani es caracteritza per altes pressions subtropicals a l'estiu. Pel que fa a la resta de l'any hi ha circulació atmosfèrica de l'oest i perturbacions atlàntiques. Per tant, l'estiu és molt calorós i sec i la primavera i la tardor són estacions suaus i plujoses, on puntualment hi poden haver aiguats de gran intensitat (Ortiz et al., 2013).

Pel que fa a les precipitacions i a les temperatures tal i com es pot veure a la Figura 3, les precipitacions màximes es concentren a la Serra de Prades amb precipitacions acumulades anuals de 751-800 mm i temperatures de 10-11°C (mínima de la conca). Les temperatures mitjanes en general són força altes, 12º-15ºC, augmentant cap a la costa, 15º-17ºC. En resum, es pot concloure que les precipitacions són força escasses i les temperatures elevades, per tant, que hi ha una evapotranspiració anual molt importat (Ortiz et al., 2013).

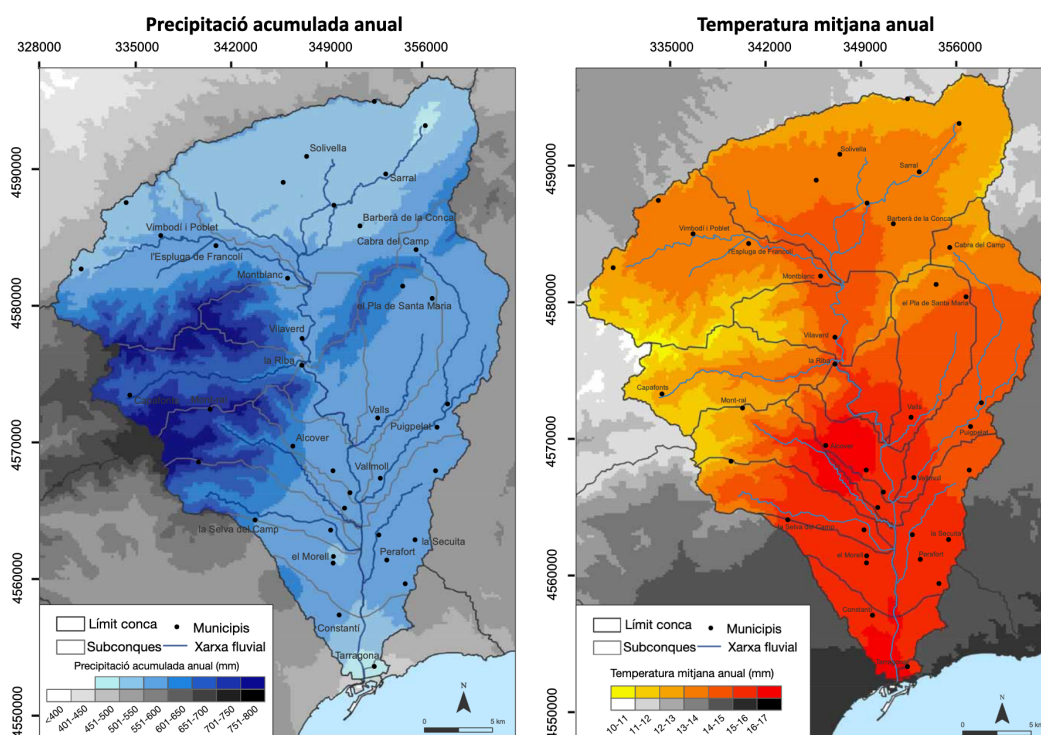


Figura 3. Distribució de la precipitació i temperatura mitjana anual de la conca del riu Francolí. Dades de l'Atles climàtic de Catalunya. Font: (Ortiz et al., 2013).

4.2 Hidrologia

El riu Francolí és un riu mediterrani amb un cabal molt escàs (Pujadas, 1994). Pel que fa a la conca d'estudi se situa a la capçalera de la conca hidrogràfica del riu Francolí fins arribar aigües avall de la població de Montblanc, concretament al paratge del Molí del Celdoni. L'àrea d'aquesta conca és de 381 km² i té un desnivell de 553m. Els principals rius afluents a la conca d'estudi són el Riu Sec a l'alçada de l'Espluga de Francolí, el Riu d'Anguera aigües avall de Montblanc i el Brugent a La Riba (no considerat en aquest treball).

El riu presenta un règim hidrològic pluvial mediterrani (cabals forts amb augments sobtats a la primavera i tardor i eixuts a l'estiu) que genera crescudes de tipus *flash flood* (Llasat et al., 2008), les quals es concentren principalment durant els mesos de setembre i novembre (Paprotny et al., 2018), sent l'octubre un dels mesos amb més riudes (Llasat et al., 2010).

Aquest tipus de crescudes estan relacionades amb el tipus de clima que hi ha a la conca, de manera que estan causades per precipitacions curtes però molt intenses o torrencials.

5 ANTECEDENTS

5.1 Riudes històriques

Les riudes històriques més destacades de la zona són les del 1874 (Santa Tecla), el 1930 (Sant Lluç), el 1984 (Sant Tomàs de Vilanova) i, finalment, la de l'octubre de 2019.

5.1.1 Riuda de 1874

Aquesta riuda, també coneguda com l'aiguat de Santa Tecla, és una de les inundacions més antigues que es tenen coneixement a la conca. La precipitació es va concentrar en un interval de 5 hores durant la matinada, entre la una i les sis del 23 de setembre de 1874 (SMC, 2014 [en línia]). Aquests aiguats van afectar principalment a les conques dels rius Francolí, Gaià, Ondara, Sió, Corb, Siurana, Montsant i Anoia (SMC, 2014 [en línia]). A la conca del riu Francolí van haver-hi 20 morts i força danys materials,

com la destrucció de dos ponts, tres molins i una fàbrica (Iglésies, 1971 i Pujadas, 1994). És la de major magnitud enregistrada a la conca alta del Francolí d'acord amb la documentació coneguda.

5.1.2 Riuada de 1930

La riuada del 1930 és la primera crescuda registrada a la conca del Riu Francolí en el segle XX. Aquesta riuada va ser produïda per l'aiguat de Sant Lluç el 18 d'octubre de 1930. És una de les riuades més conegudes i recordades al riu Francolí. La zona amb menys precipitació va arribar als 96,5 litres i se'n van registrar 280 litres a Prades i 348 litres a Montblanc (Trenchs, 2017 [en línia]). En aquest esdeveniment el riu Brugent, un dels principals afluents del riu Francolí, va aportar una gran quantitat d'aigua i sediments al riu Francolí. Aquesta riuada va causar sobretot danys materials, com la destrucció d'uns quants ponts al llarg de la conca (Pujadas, 1994).

5.1.3 Riuada de 1994

L'aiguat de 1994 també se'l coneix com l'Aiguat de Sant Tomàs. Les pluges van ser torrencials i van tenir lloc a gran part de Catalunya entre el 9 i 11 d'octubre de 1994. Les conques del Baix Ebre, Siurana, Set, Ondara, Francolí, Gaià, Foix, Anoia, Baix Llobregat, Besòs, Tordera, Daró, Llémena, Fluvià i Cap de Creus van ser les zones més afectades (SMC, 2019a [en línia]). Durant el 10 i 11 d'octubre van haver-hi precipitacions intenses a tota la zona litoral de Catalunya. A la conca del riu Francolí hi va haver precipitacions molt fortes, especialment en la capçalera del riu Brugent i al marge dret del Riu Francolí. Aquesta riuada comportà danys materials on es destaca la trencada del pont del riu Brugent a la Riba (ACA, [en línia]).

5.1.4 Riuada de 2019

L'aiguat del 2019 és el més recent, aquest es va produir el 22 i 23 d'octubre del 2019 i les precipitacions van afectar a tot Catalunya (SMC, 2019b [en línia]). Aquestes van ser generades per una massa d'aire mediterrani càlid i humit provinent del S-SE sobre les Serralades Costaneres Catalanes (Balasch et al., 2020). La màxima precipitació a la conca del riu Francolí es va registrar a la capçalera amb valors propers als 300 litres. El sòl presentava poca humitat després d'un estiu sec i la primera part de la precipitació del 22 d'octubre el va saturar. La segona part de la precipitació, més intensa, va crear un flux de crescuda hortoniana. La intensitat de pluja més forta va ser a les 19 UTC i el cabal màxim estimat a l'Espluga del Francolí va ser de $1300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, amb una taxa d'escolament del 70%. La riuada va causar 6 morts i pèrdues materials amb un valor superior als 100 milions d'euros. Es va tractar d'un esdeveniment extrem on s'estima que la recurrència de les precipitacions registrades a capçalera tinguin un període de retorn de 500 anys (Balasch et al., 2020).

5.2 Antecedents temàtics: integració de dades sistemàtiques i no sistemàtiques

La integració de dades sistemàtiques i no sistemàtiques per recalculer el període de retorn serveix per millorar la precisió i reduir la incertesa. A la zona catalana s'han fet treballs d'aquest estil a la conca de l'Ebre i del Segre (Balasch et al., 2010a; Balasch et al., 2010b; Ruiz-Bellet et al., 2015) amb resultats que mostren que la introducció de les dades històriques incrementa el cabal esperat un 300% (Ruiz-Bellet et al., 2015) en conques petites ($<500 \text{ km}^2$).

6 METODOLOGIA

La metodologia del treball es divideix en cinc grans blocs (Figura 4), la generació de la base de dades dels molins, la selecció del tram d'estudi concret, l'aixecament topogràfic, la reconstrucció de les avingudes dels anys 1994 i 2019 amb un model matemàtic (Iber) en un tram del riu Francolí i l'anàlisi de freqüències dels cabals màxims.



Metodologia

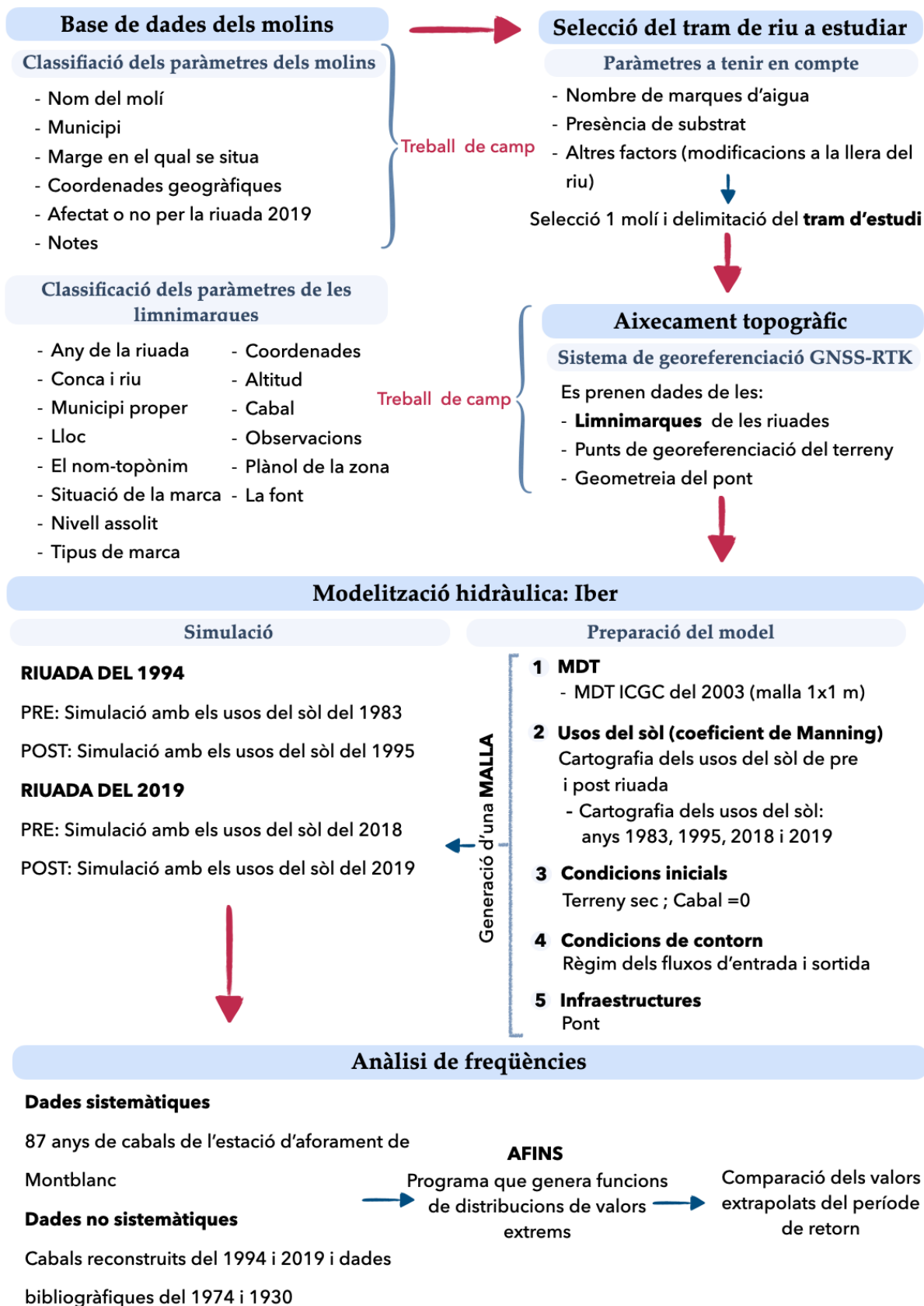


Figura 4. Diagrama de flux de la metodologia utilitzada a l'estudi.

6.1 Base de dades dels molins

S'ha generat una base de dades de molins i plaques i marques d'aigua (limnimarques) per a la conca alta del riu Francolí. La base de dades dels molins s'ha generat principalment a partir de la informació recopilada durant el treball de camp, mentre l'obtenció del nivell màxim de la làmina d'aigua durant les riuades s'ha obtingut de les plaques i marques d'aigua localitzades als molins, de la recerca bibliogràfica i de la verificació directa de camp.

Els paràmetres recopilats dels molins són els següents: el nom del molí, el municipi més proper, el marge del riu en el qual se situa, les coordenades geogràfiques, si ha estat afectat per la riuada del 2019 i altres notes preses al camp. Les notes són:

- si estan en ruïnes
- si es troben situat sobre substrat o sobre dipòsit al·luvial
- si estan protegit o tenen algun tret característic de la morfotopografia
- si se situen a la plana al·luvial o no
- nombre de marques d'aigües o limnimarques de les diferents riuades

Els paràmetres de les plaques i marques d'aigua són: l'any de la riuada, la conca, el riu, el municipi proper, el lloc, el nom-topònim, la situació de la marca, el nivell assolit, el tipus de marca, és a dir, si es tracta d'una alçada transmesa oralment, o bé d'una marca documental o placa de ceràmica, les coordenades, el cabal que han calculat altres autors com Pujadas (1994), observacions, el plànol de la zona i les fonts d'informació d'on s'han extret totes les dades.

6.2 Selecció del tram de riu a estudiar

Un cop generada aquesta base de dades dels molins s'ha fet una selecció dels millors molins per a reconstruir els cabals de les crescudes dels anys 1994 i 2019. Per la tria dels molins s'han tingut en compte els següents criteris:

1. **Nombre de marques d'aigua de diferents riuades.** Quantes més marques d'aigua més cabals es poden reconstruir (1 per cada aiguat), i més dades no sistemàtiques es poden integrar per fer un càlcul de períodes de retorn més acurat.
2. **Presència de substrat rocós resistent.** A les zones on aflora el substrat rocós la variació geomorfològica del canal (geometria) amb el pas del temps és molt menor que a les zones on predominen els materials al·luvials poc cohesionats. Per tant, la incertesa provinent dels canvis en la morfologia del canal per la crecuda desapareixen o són mínims.
3. **Altres factors.** Modificacions a la llera del riu, construccions de ponts i rescloses al llarg del temps poden alterar el règim hidràulic del flux (la hidràulica) entre i durant esdeveniments. Aquest fet augmenta la incertesa en el càlcul dels cabals a partir del model hidràulic (Iber), ja que el model no és capaç de reproduir, durant les simulacions, els canvis que es generin en les infraestructures o al terreny durant la riuada (per exemple, el trencament d'un pont) Es per això que és aconsellable seleccionar un tram de riu el més estable possible.

Tenint en compte tots aquests paràmetres i amb l'ajuda de la base de dades dels molins s'ha fet una pre-selecció dels possibles molins. El tram triat es el del molí del Celdoni, de 414 metres de llarg. El tram d'estudi es delimita amb un polígon que compren tota la zona inundada al llarg de totes les riuades estudiades. El polígon té uns 200 m d'amplada i uns 100 m de llargada. Finalment, aquest s'ha retocat en funció de la informació proporcionada per les fotos aèries històriques, les corbes de nivell i les exigències de condicions de contorn que cal entrar al model hidràulic, és a dir, els obstacles que hi ha aigües amunt i aigües avall.

6.3 Aixecament topogràfic

Un cop definit el tram d'estudi es fa l'aixecament topogràfic al camp, que s'ha fet amb uns equips topogràfics de precisió de la Universitat de Barcelona i sota la direcció de Giorgi Khazaradze, i amb altres membres de RISK NAT (UB) i de la UdL. S'ha utilitzat el sistema de georeferenciació GNSS-RTK (per més informació consultar Annex III).

Per l'aixecament topogràfic és important prendre informació de:

1. Limnimarques i marques d'aigua de la zona de les diferents riuades.
2. Punts de georeferenciació del terreny per poder calibrar i/o verificar els possibles MDTs a utilitzar posteriorment en la construcció del model hidràulic.
3. Geometria i punts de georeferenciació del pont per poder-lo introduir al model hidràulic.

6.4 Modelització hidràulica: Iber

Iber (ver.2.6) és un model numèric bidimensional per a la simulació de flux superficial lliure en rius i estuaris. Utilitza esquemes numèrics avançats per tal de poder generar la modelització capaç de simular fluxos en lleres naturals, permetent així el càlcul d'avingudes i inundacions i la delimitació de zones inundables (Bladé, 2014). L'Iber ha estat desenvolupat pel GEAME, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (Universidad de la Coruña) i l'institut Flumen, format per la Universitat Politècnica de Catalunya i el Centre Internacional de Mètodes Numèrics a l'Enginyeria, i es tracta d'un software de programari lliure. La modelització ha estat realitzada amb l'ajuda del tutor Jordi Tuset de la Universitat de Lleida.

La modelització hidràulica amb Iber es divideix en dos grans blocs, la preparació del model i la simulació de les riuades.

6.4.1 Preparació del model

Per preparar el model cal definir la geometria del canal (MDT), els usos del sòl, les condicions inicials del model, les condicions de contorn d'entrada i sortida del model, les infraestructures existents i la malla.

- Model Digital del Terreny

El Model Digital del Terreny (MDT) del tram d'estudi és important que sigui el més precís possible, ja que la topografia és un factor limitant en les modelitzacions hidràuliques i pot generar errors en els resultats de la modelització.

Per fer la tria del MDT s'ha tingut en compte el MDT del 2003 del ICGC de malla 1x1 m, aquest ha estat cedit al grup PROMOTEC i és inèdit, el MDT de descàrrega actual del 2016 del ICGC de malla 2x2 m i un MDT post inundació del 2019 que s'ha generat amb el software AgiSoft i els fotogrames post inundació de l'ICGC. Per tal de saber quin és més precís s'han comparat tots els MDT amb les dades del LIDAR de l'ICGC del 2013 (punts de terreny) i amb les dades preses al camp amb l'aixecament topogràfic. S'ha observat que el més precís i amb uns errors menors és el MDT del 2003 del ICGC de malla 1x1 m. Aquest fet s'explica per elevat detall del MDT i per l'elevada presència de substrat que hi ha a la zona d'estudi, provocant que la geomorfologia no hagi variat pràcticament al llarg dels anys. És per això que s'han fet totes les modelitzacions amb el MDT del ICGC del 2003 (Annex IV).

- Usos del sòl

La cartografia dels usos del sòl s'ha generat a partir de la digitalització (ArcGIS) de la informació obtinguda de les ortofotos pre riuada i post riuada. S'han utilitzat les ortofotos pre i post riuada per poder observar com fa variar els cabals la diferència de la rugositat dels usos del sòl previs i posteriors a l'avinguda. Les riuades estudiades són les del 1994 i 2019 (Figura 5). A través de la cartografia dels usos del sòl s'ha assignat el coeficient de rugositat de Manning a cada ús, segons els valors recollits en

diverses taules de referència (Sánchez i Lastra, 2011; Dixon et al., 2016; Sandi et al., 2019) . Aquests coeficients permeten calcular la pèrdua d'energia del flux per fricció en el model hidràulic.

- Condicions inicials

Les condicions inicials s'han assignat amb un cabal $0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ja que s'ha definit la zona com a terreny sec.

- Condicions de contorn

Hi ha dos condicions de contorn, les d'entrada i les de sortida. Per les condicions d'entrada s'ha decidit un règim del flux crític-subcrític amb una morfologia de l'hidrograma característica d'un *flash flood*. S'ha generat un hidrograma on el cabal augmenta en un període de temps curt i de forma sobtada, mentre que la recessió de l'hidrograma és més pausada. Les condicions de sortida són en règim de flux crític, ja que el model acaba just en una resclosa.

- Infraestructures

La presència de ponts a la zona s'ha de tenir en compte. El pont de la N-240 que hi ha uns 140 m aigües amunt del Molí del Celdoni (geometria) s'ha afegit a la malla del model. El pont, com obstacle, és capaç d'alterar el comportament hidràulic del flux aigües amunt i de regular el pas de l'aigua aigües avall.

- Generació d'una malla

Un cop introduïts tots aquests paràmetres a l'Iber s'ha generat la malla amb la qual es faran les simulacions. La malla és regular i té una mida de cel·la d'1x1 metres, la mateixa que el model digital del terreny (MDT).

6.4.2 Simulació

El procés que s'ha dut a terme per la simulació ha estat un retroanàlisi on s'ha partit de les dades de les limnimarques per assignar uns nivells màxims de la inundació i reconstruir el cabal màxim de les avingudes passades. La simulació ens aporta informació de la distribució de la velocitat de l'aigua, del calat i de la cota de la làmina d'aigua en diferents instants de la crescuda. S'introdueix un hidrograma amb un cabal pic conegut i es va variant el cabal fins que la cota d'aigua resultant de la simulació coincideix amb l'elevació de la marca d'aigua de la riuada presa al camp (Figura 5).

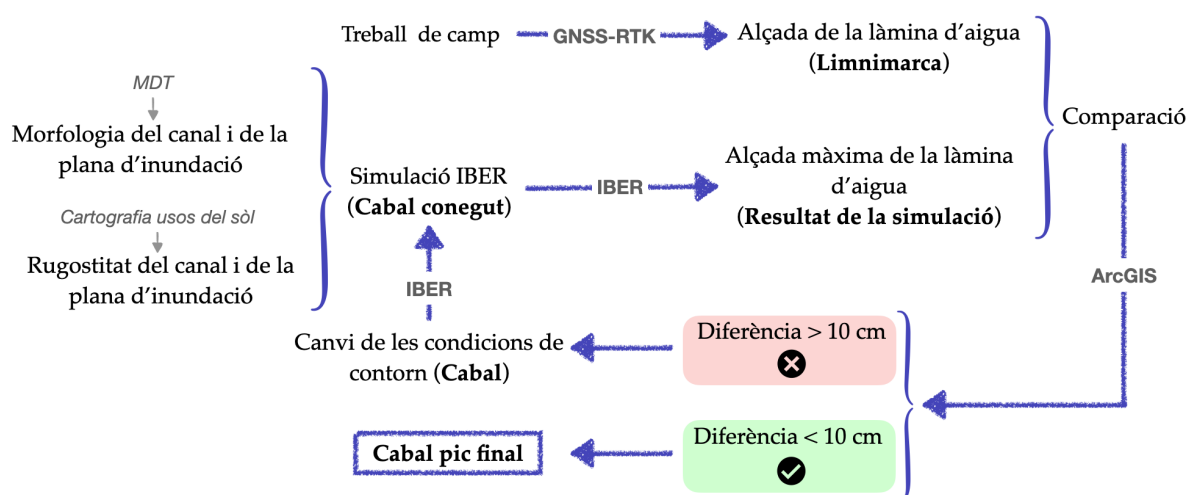


Figura 5. Diagrama del procediment de les simulacions amb Iber

6.5 Anàlisi de freqüències

Aquest apartat s'ha realitzat amb l'ajut de J. Carles Balasch de la Universitat de Lleida.

Per fer l'anàlisi de freqüències dels cabals màxims s'han tingut en compte tant les dades sistemàtiques com les no sistemàtiques. Les dades sistemàtiques són els cabals màxims anuals enregistrats a l'estació d'aforament del riu Francolí a Montblanc des del 1932 al 2018 (87 anys de dades consecutives) obtingudes a través de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA). En canvi, les dades històriques són les dades de cabal màxim de les riuades obtingudes a través de les simulacions hidràuliques del model Iber pels anys 1994 i 2019 d'aquest estudi. L'any 1874 va ser reconstruït per Ruiz-Bellet et al. (2015) amb el model HEC-RAS a uns 500 m aigües avall del Molí del Celdoni. L'episodi de 1930 va ser calculat per Montalbán i Novoa (1979) amb l'equació de Manning. L'any 1994, a pesar de figurar entre les riuades més grans, s'ha introduït amb la resta de dades sistemàtiques perquè està inclosa dins el període 1932-2018. Aquesta dada, encara que obtinguda per simulació hidràulica, ha estat introduïda com a sistemàtica substituint a la corresponent de 1994 procedent dels anuaris de l'ACA.

Primerament, s'ha calculat el període de retorn de les riuades històriques a través d'una llei de probabilitat d'excedència per a dades no sistemàtiques (Bayliss i Reed, 2001). Amb totes les dades històriques s'ha fet un ajustament logarítmic i s'han calculat els períodes de retorn usals (50, 100, 500 anys).

Posteriorment, s'ha utilitzat el programa AFINS (ver.2.0) per ajustar diverses funcions de distribució de valors extrems, primer a les dades sistemàtiques i, després a totes les dades conjuntament (sistemàtiques i històriques). El programa AFINS ha estat creat per l'institut d'Enginyeria de l'Aigua i del Medi Ambient (IIAMA) de la Universitat Politècnica de València (UPV). En l'anàlisi de freqüència s'han utilitzat les següents funcions de distribucions: Gumbel, TCEV, LogNormal i Pareto. Per a cada funció s'han generat dos ajustaments: a) un només a les dades sistemàtiques i b) l'altre a les dades sistemàtiques i no sistemàtiques conjuntes, i s'han comparat ambdós amb les dades històriques de l'ajust logarítmic.

Finalment, s'ha fet una comparació amb els valors de cabal de disseny publicats per l'administració catalana (ACA, 2005 [en línia]), per als diferents períodes de retorn per observar si la introducció de valors històrics canvia la previsió dels cabals màxims basada en el registre sistemàtic i en quina magnitud ho fa.

7 RESULTATS

Els resultats obtinguts es fonamenten en la base de dades dels molins, les marques/plaques d'aigua i la selecció del tram, l'aixecament topogràfic i les simulacions realitzades amb l'Iber al tram del Molí del Celdoni i la comparació de dades sistemàtiques i no sistemàtiques.

7.1 Base de dades dels molins i selecció

S'ha generat una base de dades amb 15 molins, 4 plaques d'aigua i 12 marques d'aigua (Annex I). A la Taula 1 es pot veure un resum de les dades dels molins de la zona d'estudi. La meitat dels molins presenten limnimarques. Es van pre-seleccionar el Molí de Guasc, el Molí del Pas, el Molí del Celdoni i el Molí de la Farga, i finalment s'ha seleccionat el Molí del Celdoni i se n'ha definit el tram d'estudi.

Taula 1. Taula resum dels molins situats a la conca d'estudi. En color negre estan marcats els molins pre-seleccionats i en color vermell està marcat el molí del qual s'ha fet l'estudi.

Nº	Nom	x	y	Alçada aprox	Afectat per la riuada 2019?	Notes
1	Molí del Duc	336223,59	4584420,34	483 m	Sí	Ruïna, situada aigües avall del pont. El pont d'aigües amunt es va obstruir
2	Molí el Salt	336666,58	4584323,60	470 m	No	Discipació d'energia gràcies a la cascada d'aigües amunt. El molí actualment és una casa rural que es va començar a construir el 2002.
3	Molí de l'Oli	337314,74	4585028,50	460 m	No	Topogràficament molt alt Situat dins del poble de Vimodí
4	Molí de la Vila	337670,41	4584900,65	450 m	Sí	Ruïna Protegit pel substrat Situat a la plana inundable
5	Molí del Guasc	340228,70	4585044,30	420 m	Sí	Zona al·luvial força influenciable Marques d'aigua del any 30, 94 i 2019
6	Molí de la Vila 2	341195,61	4584783,69	411 m	Sí	Ruïna Situat a la plana inundable
7	Molí de Poca	343666,60	4584096,00	363 m	Sí	El molí queda protegit pel substrat rocós Dins del molí hi ha la marca d'aigua del 2019 Actualment és un celler de vins
8	Molí dels Capellans	346381,33	4582533,81	330 m	No	Molí apartat de la llera del riu Pont de Montblanc amb marques d'aigua del 1994 i 2019
9	Molí del Pas	346919,03	4582303,48	323 m	Sí	Situat justament sobre la reclosa Marques d'aigua de Santa Tecla i 2019 Molí reconstruït
10	Molí de Malet	347959,88	4581218,57	303 m	Sí	Ruïna Situat sobre material al·luvial i la plana inundable 2019 va caure una paret del molí
11	Molí del Celdoni	347556,40	4580841,10	298 m	Sí	Sobre el substrat Marques d'aigua del 30, 94 i 2019 Masia amb les marques d'aigua dins de la casa Canvi de noms amb el del Molí de Celdoni
12	Molí de la Farga	347872,08	4580144,20	294 m	Sí	Elevat topogràficament Marques H2O del 94 i del 2019 + Santa tecla Esquerdas de dessacació dins del molí
13	Molí de Llorac	347403,33	4579601,41	283 m	No	Ruïna Topogràficament molt elevat
14	Molí de l'Estret	348058,57	4575955,99	235 m	No	Pròxim al substrat, la paret del substrat rocós amb la marca d'aigua del 2019 Marca d'aigua del 2019 Es veuen marques de llastres que han impactat a la paret
15	Molí d'en Roca	348205,21	4575038,79	261 m	No	Ruïna Flotants arriben a la sèquia Difícil accés

7.2 Aixecament topogràfic

Les dades del camp s'han diferenciat depenent de la tipologia (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Taula 2). S'ha utilitzat les dades de terreny, batimetria (al canal del riu) i georeferenciació com a punts de control pels MDT, les dades del pont per definir la geometria d'aquest i les marques d'aigua per la simulació del model (Annex III).

Taula 2. Tipus i nombre de punts presos al camp amb el GNSS-RTK.

Tipus	Terreny	Resclosa	Pont	Avingudes 1994 i 2019	Batimetria	Georeferenciació	Làmina d'aigua
Nombre de punts	55	7	34	2	22	49	3

7.3 Modelització hidràulica: Iber

7.3.1 Simulació

Els resultats obtinguts es basen en les reconstruccions de les avingudes de 1994 i del 2019. En les dues reconstruccions s'han utilitzat els usos del sòl previs i posteriors a la riuada (Annex II).

7.3.1.1 Reconstrucció de l'avinguda de 1994

Els resultats de la reconstrucció del cabal punta de l'avinguda de 1994 (Taula 3) han estat de 297 m³/s pels usos del sòl de 1983 i 380 m³/s pels usos del sòl de 1995, sent major a la simulació dels usos del sòl de post riuada (1995). Les velocitat de l'aigua disminueixen sobre el pont i la velocitat màxima de l'aigua és de 7 m/s.

Taula 3. Resultats del cabal i les alçades de la lamina d'aigua obtinguts el model hidràulic (Iber) per l'avinguda de 1994 i comparació amb la limnimarca de 1994.

	Cabal (m ³ /s)	Alçada de la làmina d'aigua (m)	Diferència respecte la limnimarca (m)
Limnimarca del 94	-	296,83	-
Resultat de la simulació del 83	297	296,9	0,07
Resultat de la simulació del 95	380	296,83	0

Tal com es pot observar a les figures 6 i 7, la zona inundada és menor aigües avall del pont i es torna a eixamplar quan arriba a la part exterior del meandre, just després del molí. El calat de la làmina d'aigua i la velocitat és major al centre del canal i disminueixen a les vores en les dues simulacions (Annex V).

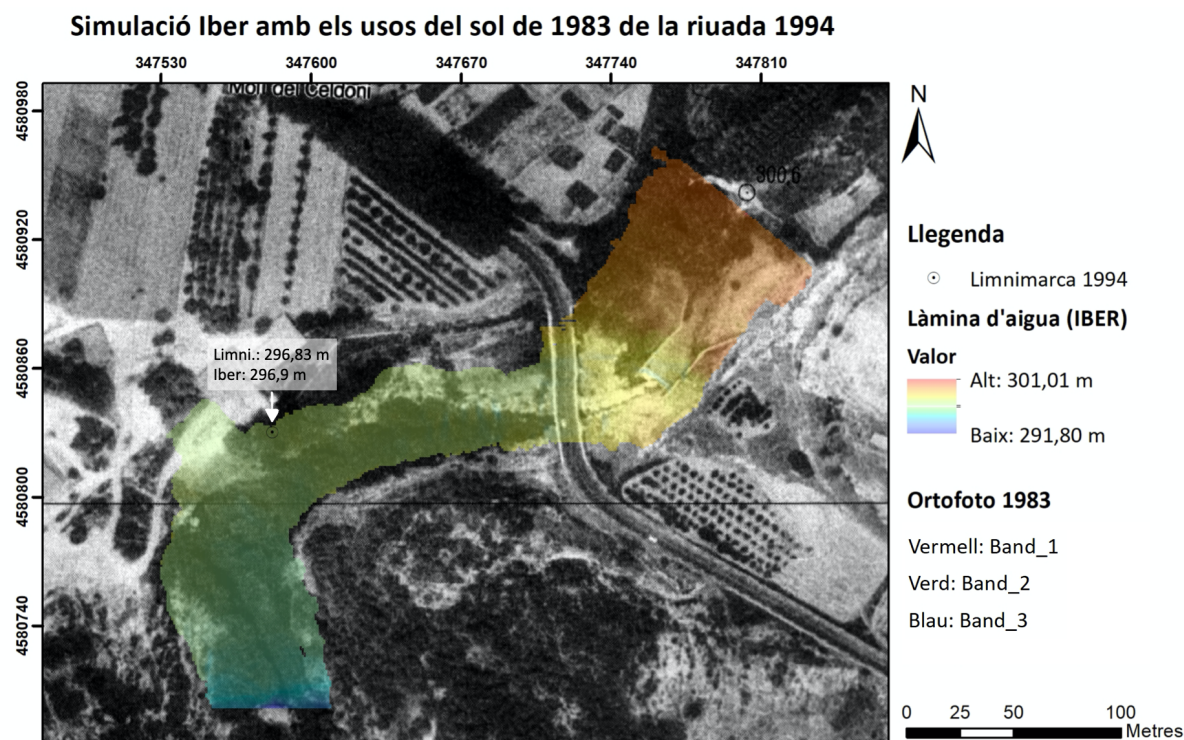


Figura 6. Simulació de la làmina d'aigua de l'avinguda de 1994 amb Iber dels usos del sòl de 1983 (pre riuada). S'indica amb una etiqueta la cota de la limnimarca de la riuada de 1994 i la cota d'aigua resultant de la simulació. Ortofoto propietat de l'ICGC CC by 4.0 [en línia].

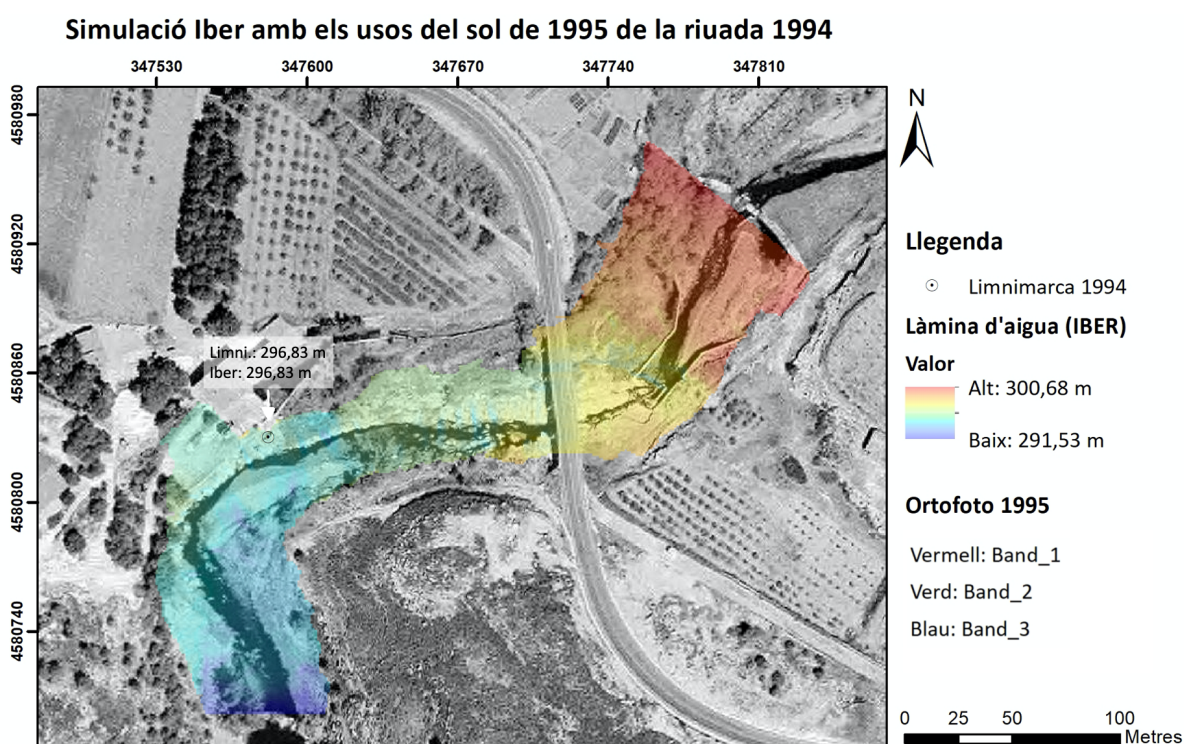


Figura 7. Simulació de la làmina d'aigua de l'avinguda de 1994 amb Iber dels usos del sòl de 1995 (post riuada). S'indica amb una etiqueta la cota de la limnimarca de la riuada de 1994 i la cota d'aigua resultant de la simulació. Ortofoto propietat de l'ICGC CC by 4.0 [en línia].

7.3.1.1 Reconstrucció de l'avinguda de 2019

Els resultats del cabal pic de les simulacions fetes amb Iber de l'avinguda de 2019 (Taula 4) han estat: pic de 550 m³/s pels usos de sòl pre riuada (2018) i 780 m³/s pels usos del sòl post riuada (2019). En aquest cas, la disparitat de resultats és superior a la del cas de 1994. La velocitat arriba fins a 10 m/s a les zones on aflora el substrat.

Taula 4. Resultats del cabal i les alçades de la làmina d'aigua obtinguts amb el model hidràulic (Iber) per l'avinguda de 2019 i comparació amb la limnimarca del 2019.

	Cabal (m³/s)	Alçada de la làmina d'aigua (m)	Diferència respecte la limnimarca (m)
Limnimarca del 2019	-	298,04	-
Resultat de la simulació del 2018	550	298,18	0,14
Resultat de la simulació del 2019	780	298,08	-0,04

Durant l'avinguda de 2019 la zona inundada (Figura 8 i 9) es va reduint fins a arribar al molí. Un cop passat el molí la zona inundada es torna a eixamplar per la zona exterior del meandre arribant a zones forces elevades (298,2 m).

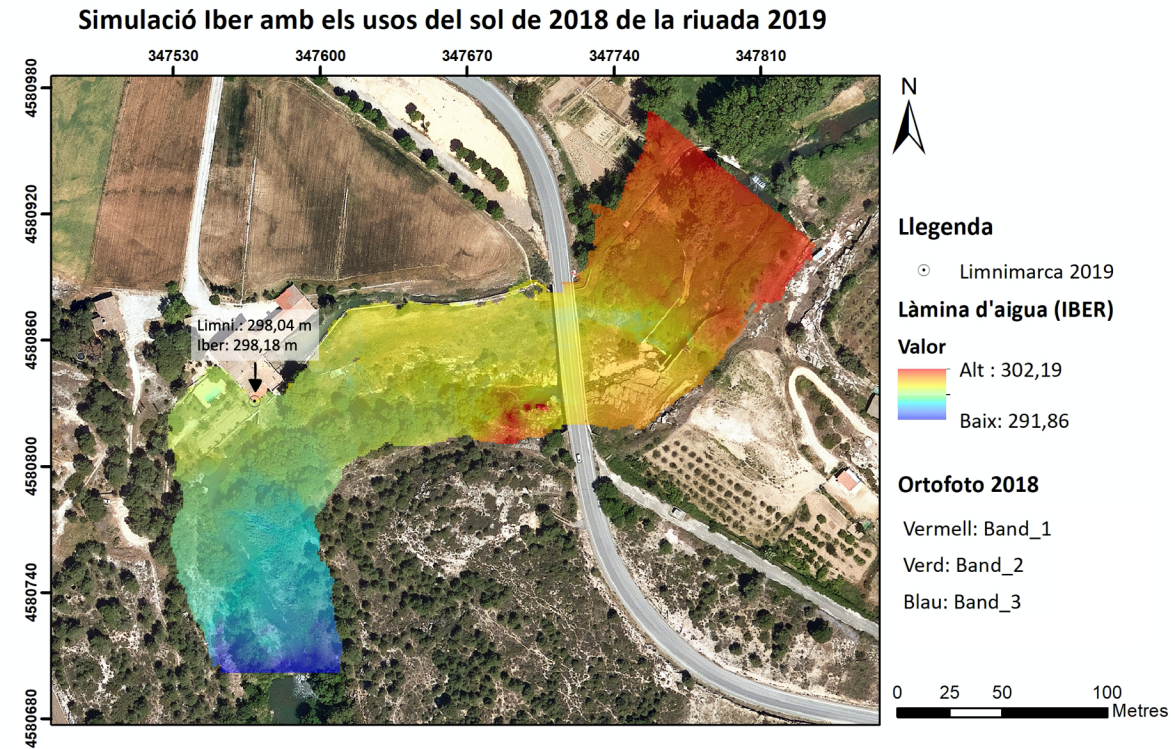


Figura 8. Simulació de la làmina d'aigua de l'avinguda del 2019 amb els usos del sòl del 2018 (pre riuada). S'indica amb una etiqueta la cota de la limnimarca de la riuada del 2019 i la cota d'aigua resultant de la simulació. Ortofoto propietat de l'ICGC CC by 4.0 [en línia].

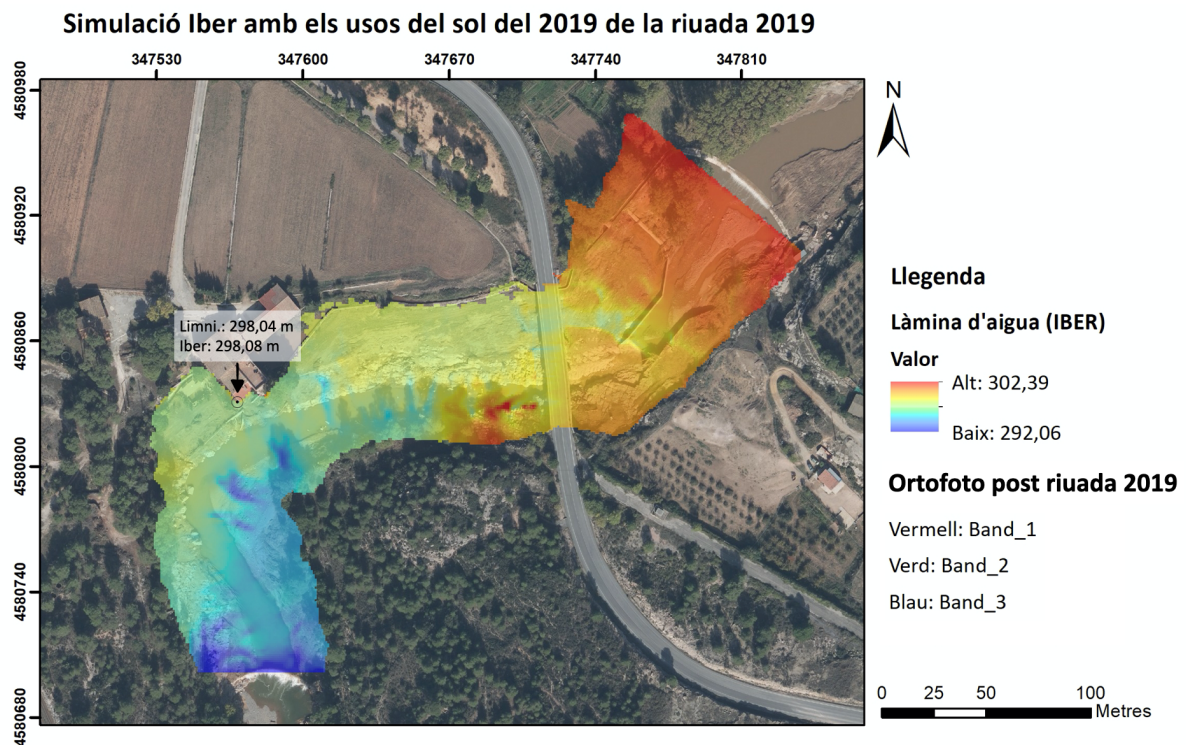


Figura 9. Simulació de la làmina d'aigua de l'avinguda del 2019 amb els usos del sòl del 2019 (post riuada). S'indica amb una etiqueta la cota de la limnimarca de la riuada del 2019 i la cota d'aigua resultant de la simulació. Ortofoto propietat de l'ICGC CC by 4.0 [en línia].

7.4 Anàlisi de freqüències

Els resultats extrapolats del càlcul del període de retorn (probabilitat esperada) són els següents (Taula 5). Pel que fa a les dades històriques (Annex VI), s'han tingut en compte les avingudes de 1874, de 1930, la de 2019. Amb la reconstrucció de 1994 s'ha corregit la dada referent a aquell any en l'anuari de dades sistemàtic.

A la Taula 5 es presenten els resultats dels cabals previstos per als períodes de retorn de 10, 50, 100, 500 i 1000 anys utilitzant dades sistemàtiques i dades sistemàtiques i històriques per a cada funció d'extrems. A més es comparen amb les dades de l'Administració Hidràulica (ACA, 2005 [en línia]) i l'ajust logarítmic simple als valors històrics (probabilitat observada).

Taula 5. Resultats dels períodes de retorn T en anys de les dades històriques, de l'ACA i les funcions de distribucions d'estrems tenint en compte les dades sistemàtiques (S) i les dades sistemàtiques i no sistemàtiques (S+NS)

P retorn	Històric	ACA 2005	Gumbel (S)	Gumbel (S+NS)	TCEV (S)	TCEV (S+NS)	LogNormal (S)	LogNormal (S+NS)	Pareto (S)	Pareto (S+NS)
10		373	76	196	80	167	87	132	87	134
50	475	644	117	319	260	1055	217	392	206	490
100	1568	916	134	371	337	1428	300	574	280	822
500	4105	1531	175	491	513	2283	576	1245	541	2644
1000	5200		192	543	585	2641	741	1676	706	4343

Al gràfic (Figura 10) figuren els cabals màxims previstos segons les funcions d'extrems, els històrics i les dades de l'ACA (PEFCAT). Les funcions d'extrems estan representades depenent de si tenen en compte només les dades sistemàtiques (S) o les dades sistemàtiques i no sistemàtiques (S+NS). Les S estan representades amb una línia continua i les S+NS amb una línia discontinua. Tal i com es pot observar al gràfic, les funcions de valors extrems que només tenen en compte les S s'assemblen a les dades de l'Administració Hidràulica (ACA), representades en color vermell, i amb cabals més baixos. Ara bé, si es tenen en compte les S+NS, els resultats de les funcions s'assemblen més als valors de les riuades històriques en base logarítmica i augmenten els cabals previstos.

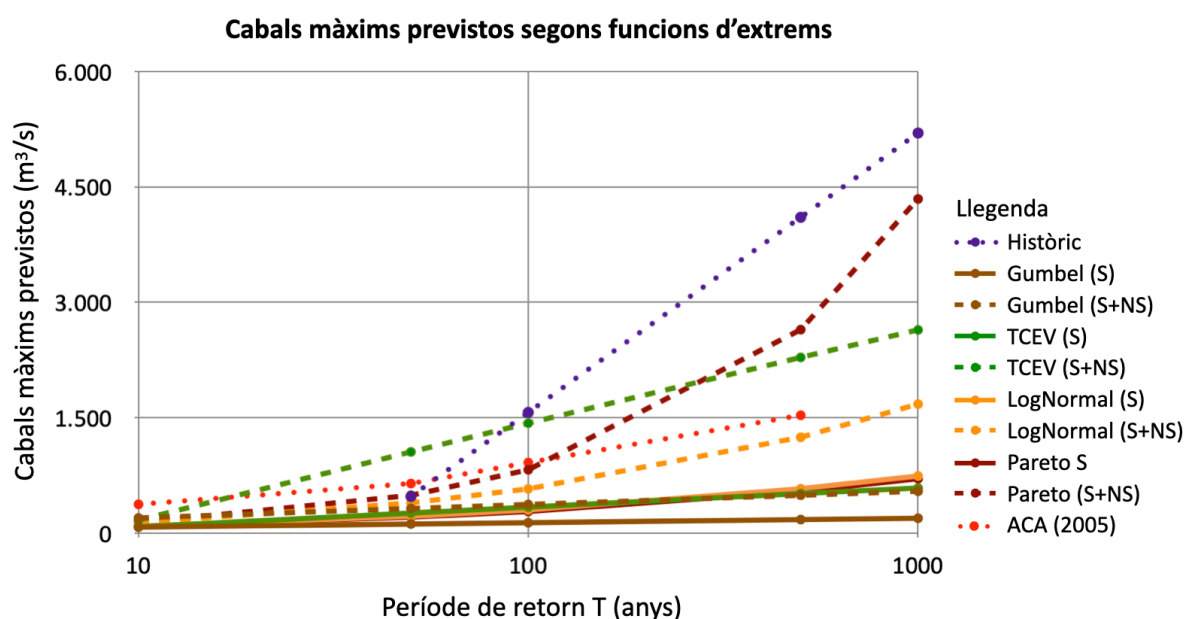


Figura 10. Representació dels cabals màxims previstos segons les funcions d'extrems reflectides a la llegenda en cas que tinguin en compte només les dades sistemàtiques (S) o les dades sistemàtiques i no sistemàtiques (S+NS); també estan representades les dades històriques i les de l'ACA.

Amb els valors no sistemàtics la funció que dona un valor més elevat dels cabals previstos és la LogNormal, tot i que queda per sota de la PEFCAT. Amb les dades conjuntes sistemàtiques i no sistemàtiques totes les funcions analitzades donen valors més elevats que els obtinguts la Junta d'Aigües, excepte Gumbel i entre elles la que més s'ajusta a les històriques (mínima separació entre dades) és la Pareto, tenint en compte les dades sistemàtiques i no sistemàtiques. La disparitat entre l'ajust de dades sistemàtiques i no sistemàtiques comença a partir dels 50 anys.

8 DISCUSSIÓ

En aquest apartat es discutiran els resultats obtinguts de la base de dades dels molins, la modelització hidràulica amb Iber i l'anàlisi de freqüències.

8.1 Base de dades dels molins

A través de la base de dades dels molins i marques d'aigua s'ha observat que hi ha una gran presència de molins i gran part d'aquests van ser afectats per l'avinguda del 2019. Els que no van ser afectats van ser per dos motius: per la presència de substrat que els protegia o per la situació topogràfica elevada a la qual es troben. Aquesta base de dades, a part d'aportar informació, és clau per fer la tria del millor tram d'estudi per, posteriorment, fer les modelitzacions amb Iber.

8.2 Modelització hidràulica

El tram d'estudi seleccionat té una morfotopografia que ha variat poc al llarg de l'últim segle ja que predominantment aflora substrat resistent amb un recobriment pel·lucular de formacions superficials. Per tant, la selecció ha estat bona, ja que permet reduir la incertesa dels canvis de morfologia al canal al llarg del temps.

La comparativa dels MDTs ha permès poder escollir el MDT que s'ajusta més a la realitat, en aquest cas ha estat el MDT del 2003 generat per ICGC de malla 1x1 m. La malla 1x1 m aporta precisió però, al mateix temps, incrementa x16 el temps de computació.

Destaca el canvi important entre els usos del sòl pre i post crescuda a la zona d'inundació en les dues avingudes modelitzades. Els usos del sòl pre riuada té més vegetació i els post riuada hi aflora més substrat. Això és conseqüència de la capacitat de la riuada de netejar la llera de vegetació herbàcia i arbòria i de la cicatriu que deixen les avingudes de tipus *flash flood*.

És cabdal prendre les marques d'aigua amb la major precisió possible per dues raons. Primer, perquè són patrimoni hidrològic d'esdeveniments de baixa freqüència i el seu manteniment contribueix a mantenir la memòria històrica. En segon lloc, perquè errors grans a la presa dels punts impossibiliten l'estudi de l'avinguda. Un clar exemple és l'avinguda de 1930, que per les condicions meteorològiques i la situació d'ombra de l'edifici no s'han pogut mesurar per fer la modelització, ja que no es va obtenir un nivell fiable d'alçada assolida per l'avinguda.

Els resultats dels cabals punta reconstruïts amb el software Iber (v.2.6), model matemàtic bimodal, per les avingudes de 1994 i 2019 es consideren coherents entre ells. Vist que el tram d'estudi se situa en un meandre del riu i que les limnimarques estan situades a l'extrem exterior de la corba és important utilitzar un model bidimensional, ja que aquest té més capacitat de reconstruir millor el canvi de direcció de l'aigua.

Els usos del sòl determinen la rugositat del terreny per on circula l'aigua, podent frenar la propagació d'una avinguda i incrementar el calat resultant de la mateixa. En molts casos, la crescuda arrenca i elimina la vegetació de la llera i es dona per fet que el cabal punta s'obté quan aquesta ja ha desaparegut. Fet que és molt difícil de demostrar i ens hauria de portar a calcular el cabal màxim de

l'avinguda en les dues situacions (pre i post crescuda). La crescuda del 1994 va ser capaç d'eliminar la vegetació amb un cabal punta d'entre 297 i 380 m³/s, ja que no es pot assegurar en quin moment la crescuda va ser capaç d'eliminar la capa arbòria de la llera. En canvi, en la crescuda de l'any 2019, el cabal punta es va assolir amb la llera neta de vegetació, ja que el cabal estimats amb els usos del sòl pre i post crescuda superen en escreix la resistència de la vegetació determinada per la crescuda de l'any 1994.

Les velocitats de la làmina d'aigua són majors al centre del canal a les simulacions post riuada. En el cas de l'avinguda de 1994 les velocitats màximes han estat de 7 m/s i a l'avinguda del 2019 fins a 10 m/s al mig del canal. Aquest fet està relacionat amb la vegetació que es troba al canal de flux preferent. Als usos del sòl pre riuada hi ha més vegetació, aquesta augmenta la rugositat del canal, conseqüentment disminueix la velocitat de l'aigua. En canvi, als usos del sol post riuada aflora el substrat i la rugositat del canal de flux preferent disminueix i permet que l'aigua circuli a més velocitat. S'ha definit un cabal punta per l'avinguda de 1994 de 380 m³/s i per l'avinguda del 2019 de 780 m³/s. No hi ha registrades dades sistemàtiques amb aquestes magnituds de cabal, ja que l'estació d'aforament es veu sobrepassada.

8.3 Anàlisi de freqüència

D'acord amb el conjunt global de les dades, l'avinguda de 1994 a Montblanc tindria una ocurrència o període de retorn inferior a 50 anys i la del 2019 tindria un període de retorn d'entre 50 i 100 anys.

Si només es consideren les dades sistemàtiques la riuada de 1994 només es produiria un cop entre 100 i 500 anys, mentre que la de 2019 tindria un període de retorn proper als 1000 anys. Això es degut a que els 87 anys consecutius de dades de cabal màxim anual no poden representar els extrems del comportament hidrològic en una conca mediterrània d'aquestes característiques i els subestimen.

A l'estudi de l'anàlisi de freqüència s'ha observat una gran diferència entre les anàlisis fetes únicament amb les dades sistemàtiques i les fetes amb dades sistemàtiques i no sistemàtiques. Quan s'afegeixen les dades no sistemàtiques augmenta el cabal previst.

La pluja que genera els aiguats del 2019 segons el mapes de freqüència de les pluges màximes a Catalunya (Casas, 2005) tindrien un període de retorn d'uns 500 anys a l'Espluga de Francolí i Prades. Aquesta disparitat amb els resultats hidrològics es deu a que les dades emprades cobreixen un interval massa petit (uns 50 anys de pluja), que molt probablement no contenen registres de situacions extraordinàries com la de 2019 o la de 1930, com per extrapolar períodes de retorn tan elevats (500 anys). A més, cal destacar que no té perquè haver-hi una correspondència exacta entre les precipitacions i els cabals que se'n deriven.

La diferència entre extrapolar el període de retorn a partir de les dades sistemàtiques o sumant-li també les dades no sistemàtiques genera una diferència que és multiplica per 8 segons el mètode d'anàlisi. Per tant, és erroni no tenir en compte les dades no sistemàtiques. Cal remarcar la importància de tenir-les en compte, ja que aquest fet farà variar la cartografia i zonificació de la perillositat de la zona tot augmentant el grau de perill i, en conseqüència, la gestió del territori.

9 CONCLUSIONS

- El riu Francolí és un riu amb avingudes de tipus *flash flood*. És d'especial interès la sistematització de la base de dades dels molins i les limnimarques per l'estudi de les dades no sistemàtiques de la conca, que fan variar sensiblement les anàlisis de freqüència de les riuades, i pel patrimoni hidrològic de les marques d'aigua que contribueixen a mantenir la memòria història de les riuades.

- El tram d'estudi escollit ha estat l'ídoni ja que ha patit molt poques modificacions al llarg de l'últim segle i ha reduït la incertesa que haurien introduït variacions geomorfològiques difícils de controlar, especialment per a l'avinguda de 1994.
- És fonamental l'obtenció acurada de limnimarques amb dispositius GNSS-RTK i amb errors baixos (centimètrics).
- Hi ha una clara diferència al canal entre els usos del sòl pre i post riuada. Als usos del sòl de la pre riuada hi predomina bosc de ribera i als post riuada hi aflora substrat. Factor indicador de que les riuades són altament energètiques.
- Els cabal punta seleccionats com a més representatius són els modelitzats amb els usos del sòl de post riuada, ja que el riu hauria eliminat la vegetació abans de l'arribada del cabal punta.
- La riuada del 1994 va assolir un cabal de 380 m³/s i d'acord amb l'anàlisi de freqüència de Pareto (S+SN) se li assigna un període de retorn inferior a 50 anys. En canvi, la riuada del 2019 va assolir un cabal de 780 m³/s i es correspondria un període de retorn d'entre 50 i 100 anys.
- Si analitzem les dades històriques veiem que no té sentit extrapolar el període de retorn solament amb dades sistemàtiques, ja que hi ha una divergència molt gran comparat amb els períodes de retorn extrapolats de les dades sistemàtiques i no sistemàtiques. La diferencia entre el resultat del període de retorn extrapolat a partir de les dades sistemàtiques i el període de retorn extrapolat a partir de les dades sistemàtiques i no sistemàtiques es multiplica per aproximadament un factor de 8 cops depenent del mètode d'anàlisi. Per tant, en rius de que registren crescudes del tipus *flash flood* en conques relativament petites com aquesta, s'ha de donar molta importància a l'anàlisi de les dades històriques, perquè incrementen molt els valors de cabal màxim previstos per als períodes de retorn i, per tant, són una metodologia molt més conservadora i que es decanta pel costat de la seguretat en la previsió del risc per inundacions.

10 AGRAÏMENTS

Un cop més em torno a trobar amb la magnífica oportunitat de deixar per escrit els meus agraïments a les diverses persones que m'han ajudat directament o indirectament, en la realització del meu TFM. Primerament i com no pot ser d'altra manera, m'agradaria donar un especial agraïment a la Glòria Furdada, al Jordi Tuset i al J. Carles Balasch. Agrair-vos haver estat allà ajudant-me, donant-me un cop de mà sempre que ho he necessitat, els dies al camp, els Skypes, les correccions i les trucades. Glòria, gràcies per haver-me ajudat a triar aquest tema. Jordi, gràcies per la paciència amb el programa Iber. Carles, gràcies per l'ajuda amb l'anàlisi de freqüències. Moltíssimes gràcies als tres per haver valorat la meva feina i haver-me ajudat.

També m'agradaria agrair a la Llani i al Gia per haver vingut al camp i haver-nos ajudat amb el GNSS-RTK. A la Sra Dolors Sabaté i al seu fill Josep Andreu per haver-nos obert les portes del seu molí i haver-nos acollit tan bé.

Òbviament i clarament agraeixo la paciència que tenen el meu pare, la meva mare i ma germana. Paciència per aguantar-me hores i hores parlant de geologia, per estar allà fent-me suport sense saber massa bé de què va la cosa. Gràcies i més gràcies com ja us he dit més d'un cop, per educar-me a la vostra manera i respectar totes les meves decisions.

Un agraïment diferent pel meu avi, per haver-me vist sempre amb bons ulls.

Agraeixo a tot el professorat per haver-me ensenyat la gran majoria de coneixements de geologia que tinc.

Finalment, agrair al meu pilar fonamental que són els amics i sobretot els companys de pis. Gràcies, Merion, Pauma i Conce.

11 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- ACA, Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat. *Riuada del riu Francolí a l'Espluga de Francolí. 10 d'octubre de 1994*. Fitxa informativa de les marques de l'aigua del territori. [en línia]. [Consultat el 13/04/2021]. URL: <http://aca-web.gencat.cat/sig/fitxes/espais_fluvials/mat/aca_mat_430542_1994d_v1.pdf>
- ACA, Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat. (2005). *Tramificació de Cabals*. [en línia]. [Consultat el 15/05/2021]. URL: <https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html>
- Balasch, J. C., Ruiz-Bellet, J. L., Tuset, J., and Martín de Oliva, J. (2010a). *Reconstruction of the 1874 Santa Tecla's rainstorm in Western Catalonia (NE Spain) from flood marks and historical accounts*. Natural Hazards Earth System Science, 10, 2317–2325 pp. doi:10.5194/nhess-10-2317.
- Balasch, J. C., Tuset, J., and Ruiz-Bellet, J. L. (2010b). *Reconstructing the 1874 Santa Tecla flash flood in the Ondara River (Ebro Basin, NE Spain)*. Advances in Geoscience, 26, 45–48 pp. doi:10.5194/adgeo-26-45.
- Balasch, J.C., Tuset, J., Segura, A., Castelltort, X., Barriendos, M., Valera-Prieto, L., Khazaradze, G., Furdada, G., Calvet, J. and Pino, D. (2020). *Runoff variability of an extreme flash flood event on the Catalan Coastal System-Ebro Basin water divide (NE Iberian Peninsula)*. EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, The EGU2020-8250, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-8250>, 2020.
- Bayliss, A.C. and Reed, D.W. (2001). *The use of historical data in flood frequency estimation*. NERC/Centre for Ecology and Hydrology. Wallingford, 87 pp.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J. and Coll, A. (2014). *Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos*. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Vol. 30, Issue 1, 10 pp.
- Casas Castillo, M.C. (2005). Análisis espacial y temporal de las lluvias extremas en Catalunya. Modelización y clasificación objetiva. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- Dixon, S.J., Sear, D.A., Odoni, N.A., Sykes, T., Lane, S.N. (2016). *The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology*. Earth Surface Processes and Landforms, 41, 997–1008 pp. <https://doi.org/10.1002/esp.3919>
- ICGC, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.(2003) *Model digital del terreny 1X1m* (inèdit).
- ICGC, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. *Model digital del terreny 2X2m* [en línia]. URL: <<http://www.icgc.cat/vissir3/>>
- ICGC, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. *WMS Ortofotos* [en línia]. URL: <https://geoserveis.icgc.cat/icc_ortohistorica/wms/service?>
- Iglésies, J. (1971). *L'aiguat de Santa Tecla (23 de setembre de 1874)*. Episodis de la Història, 156. Editorial Rafael Dalmau, Barcelona.
- Langley, R.B., Teunissen, P.J. and Montenbruck, O. (2017). *Introduction to GNSS*. Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, 3-23 pp.

- Llasat, M. C., López, L., Barnolas, M. and Llasat-Botija, M. (2008). *Flash-floods in Catalonia: the social perception in a context of changing vulnerability*. *Advances in Geoscience*, 17, 63–70 pp.
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Rodriguez, A. and Lindbergh, S. (2010). *Flash floods in Catalonia: a recurrent situation*. *Advances in Geoscience*, 26, 105–111 pp.
- Ortiz, J., Blay, J., Sierra, J., Roig, N., Merseburger, G., Pérez Paricio, A., Buqueras, X. A. and Schuhmacher, M. (2013). *La vida al riu Francolí*. Els humans i els sistemes aquàtics. Publicacions URV, Tarragona, 415 pp.
- Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Nápoles, O. and Sebastiaan N. J. (2018). *Trends in flood losses in Europe over the past 150 years*. *Nature Communications*, Vol. 9, 1, 12 pp.
- Pujadas Ferrer, J. (1994). *Mapa de riscos d'inundació i riscos associats de la Riba, riu Francolí*. Cartografia de Riscos d'Inundació, campanya 1994. Generalitat de Catalunya: Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 60 pp. [en línia]. [Consultat el 10/04/21]. URL: < <http://hdl.handle.net/2445/170580> >
- Ruiz-Bellet, J.L., Balasch, J.C., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J. and Pino, D. (2015). *Historical, hydraulic, hydrological and meteorological reconstruction of 1874 Santa Tecla flash flood in Catalonia (NE Iberian Peninsula)*. *Journal of Hydrology*, 524, 279–295 pp. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.023>.
- Sánchez, F. J. and 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, 349 pp.
- Sandi, S.G., Saco, P.M., Saintilan, N., Wen, L., Riccardi, G., Kuczera, G., Willgoose, G. and Rodríguez, J.F. (2019). *Detecting inundation thresholds for dryland wetland vulnerability*. *Advances in Water Resources*, 128, 168–182 pp. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.04.016>
- SMC (2014). *“140 anys de l'Aiguat de Santa Tecla (1874)”*. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 7 pp. Disponible a la secció d'Efemèrides de l'apartat de Publicacions del Servei Meteorològic de Catalunya, publicat el 23/09/2014. [en línia]. [Consultat el 10/04/21]. URL: <https://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/publicacions/efemerides/1874-09-23_140-anys-de-laiguat-de-santa-tecla/>
- SMC (2019a). *“25 anys de l'aiguat de Sant Tomàs (1994)”*. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 7 pp. Disponible a la secció d'Efemèrides de l'apartat de Publicacions del Servei Meteorològic de Catalunya, publicat el 10/10/2019. [en línia]. [Consultat el 10/04/21]. URL: <<https://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/publicacions/efemerides/1994-10-10-25-anys-de-laiguat-de-sant-tomas/>>
- SMC (2019b). *Comunicat de premsa (23 d'octubre de 2019)*. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 8 pp. Disponible a la secció d'Episodis de temps singular de l'apartat de Climatologia del Servei Meteorològic de Catalunya, publicat el 23/10/2019. [en línia]. [Consultat el 17/04/21]. URL: <<https://govern.cat/govern/docs/2019/10/23/15/59/53e0bd6e-2bd7-46f3-be34-69a94fe74de3.pdf>>

- Tarolli, P. Borga, M. Morin, E. and Delrieu, G. (2012). *Analysis of flash flood regimes in the North-Western and South-Eastern Mediterranean regions*. Natural Hazards and Earth System Science, 12, 1255–1265 pp.
- Trenchs i Mestre, M. (2017). “Notes sobre la climatologia vallenca”. Aiguats més importants. Centre Meteorològic de l’Alt Camp. Consell Comarcal de l’Alt Camp. [en línia]. [Consultat el 14/04/21]. URL: <<http://www.metacamp.net/aiguats-mes-importants/>>
- Trilla Arrufat, J. (1972). Estudio hidrogeológico de la cuenca del Francolí. Cronología de las aguas subterránea. Acta geológica hispánica, Vol. 7, 5, 138-142 pp.

12 ANNEXOS

I Base de dades dels molins

Contingut del annex:

1.Base_de_dades_dels_molins → PDF de la base de dades dels molins i les marques d’aigua que se situen a la conca alta del riu Francolí.

2.Shape_molins → Carpeta *molins* amb la capa de polígons dels molins (shape).

II Cartografia dels usos del sòl

Contingut del annex:

3.Shapes_usos_moli_Celdoni → Carpeta *usos_celdoni* amb les 5 capes dels polígons de les cartografies (shape). Cartografies de les ortofotos del 1956, del 1983, del 1994, del 2018 i del 2019.

III Aixecament topogràfic

El Leica Viva GS14 és un sistema de georeferenciació que està connectat a un satèl·lit a través d’un aparell mòbil. El receptor mòbil presenta una antena que permet rebre les dades d’interès que són emeses per l’estació de referència a través d’un radioenllaç (Langley et al., 2017). El dispositiu disposa d’una antena de 2m i una precisió superior als 10cm. En aquest estudi s’ha utilitzat el sistema de coordenades ETRS89_UTM31.

Contingut del annex:

4.Shapes_punts_GNSS-RTK → Carpeta *Montblanc-9-4-2021_SHP* amb les diferents capes (Taula 6).

Nom de la capa	Tipus de punt
AV2019	Avinguda 2019
AV94	Avinguda 1994
BAT	Batimetria
GEO	Georeferenciació
LA	Làmina d’aigua

MARCA	Marques d'aigua de l'avinguda del 2019
PNT	Pont
PNTARC	L'Arc del pont
RESCLOSA	Resclosa
TER	Terreny

Taula 6. Noms de les capes d'ArcGIS i tipus de punt als que corresponen.

IV Model digital del terreny del 2003 de 1X1m retallat

Contingut del annex:

5.MDT_2003_1x1 → Carpeta *mdt_2003_t* on està el mdt del ICGC del 2003 i amb una malla de 1x1 m retallat.

V Simulacions

Aquest apartat estan adjuntades les simulacions del iber (modelitzacions ja acabades) i les capes del ArcGIS de la làmina d'aigua i de la velocitat màxima de les modelitzacions. Pel que fa a les velocitats, es pot observar que aigües amunt del pont hi ha un efecte de rabeig, generat per la presència del pont. Al centre del canal, la velocitat és major ja que hi predomina el subtrat i aigües avall els usos del sòl són més rugosos i la corba facilita el desbordament lateral.

Contingut del annex:

6.IBER_simulacions

Carpets amb post i pre riuada dels projectes del iber.

7.ArcGIS

Carpets amb post i pre riuada de les capes de la làmina d'aigua i velocitats màximes de l'ArcGIS de cada simulació.

VI Anàlisi de freqüències

Contingut del annex:

8. AFQ amb cabals històrics Montblanc_final

Ajust dels cabals històrics de Montblanc de les diferents riuades de 1874, 1930, 1994 i 2019.