



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



Facultat de Biologia

Anàlisi de la permanència de l'aigua a rius intermitents mitjançant sensors de temperatura

Júlia Valera Florensa

Niub: 16478501

Grau en Biologia

Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals
Grup de recerca *Freshwater Ecology, Hydrology and Management*

Tutors: Núria Bonada i Miguel Cañedo-Argüelles

Juliol 2020



Agraïments

M'agradaria expressar el meu agraïment al Miguel Cañedo i a la Núria Bonada, biòlegs del departament d'ecologia i tutors d'aquest treball, per totes les hores dedicades a ajudar-me i orientar-me, per tot el que he après fent aquest treball, i pels consells i el suport rebuts en tot moment.

També voldria donar les gràcies a la meva parella, l'Albert, per ser el meu recolzament en els moments complicats i no deixar que em doni per vençuda.

I per últim, agrair a la meva família l'ajuda i la confiança que m'han donat durant tot el treball.

Moltes gràcies a tots.

Abstract

Temporary rivers are watercourses that have an irregular flow. Its regime varies due to different climatic, physical and anthropogenic factors, and this leads to an alternation between wet and dry periods. Their flow intermittency leads to unique biological communities and ecological processes that need to be properly managed and preserved.

In this thesis, different criteria have been sought to infer, from temperature data, the presence or absence of surface water over time in the studied streams. Temperature sensors were used to obtain records from water and air. Subsequently, the data obtained were submitted to various statistical analyses and different classification models were developed, which allowed the transition from temperature data to flow (i.e. dry vs. flowing river sections) data. These models were tested to see which of the criteria made a better classification of the data, and I found that the most accurate model was the one that approximated the temperature daily ranges to sinusoidal (dry) or linear (flowing) functions. Finally, a matrix was generated which included the results obtained, to be used in later stages of the project. It has been shown that the use of temperature sensors, in combination with the data processing carried out during this research, constitutes a cost effective technique to characterize temporary rivers.

Resum

Els rius temporals són cursos d'aigua que presenten un cabal irregular. El seu règim varia a causa de diferents factors, tant climàtics, com físics o antropogènics, i això comporta que es produeixi una alternança entre períodes humits i secs. La seva intermitència d'aigua provoca que aquest tipus de rius tinguin unes comunitats biològiques i processos ecològics únics, que necessiten ser ben gestionats i preservats.

En aquest treball, s'han buscat diferents criteris amb els quals poder inferir, a partir de dades de temperatura, la presència o absència d'aigua superficial dels rius en les diferents èpoques de l'any. Es van utilitzar sensors col·locats dins i fora de l'aigua per a obtenir registres de temperatura. Posteriorment es van sotmetre les dades a diverses anàlisis estadístiques i es van elaborar diferents models que permetien classificar les dades de temperatura en dades de presència i absència d'aigua (seccions seques o seccions amb aigua). Es van testar aquests models per veure quin oferia un millor criteri de classificació, i es va veure que el model més precís era el que aproximava les amplituds tèrmiques a funcions sinusoidal (sec) o recta (amb aigua). Finalment es van generar una matriu que englobava els resultats obtinguts per utilitzar-los en posteriors estadis del projecte. S'ha vist que l'ús de sensors de temperatura en combinació amb el tractament de dades realitzat durant aquest treball, constitueixen una tècnica econòmica i efectiva per caracteritzar aquests rius.

Objectius del Desenvolupament Sostenible (ODS)

Aquest treball té impacte sobre la gran quantitat d'ecosistemes que es troben en rius temporals, que són un tipus de cursos d'aigua molt comuns, sobretot en les zones amb clima mediterrani com Catalunya. Aquests ecosistemes són de gran rellevància ecològica, ja que serveixen d'hàbitat a multitud d'espècies. A causa del canvi climàtic i de l'extracció de l'aigua i alteració del sol, els rius intermitents estan en augment arreu del món. En la bibliografia existeix un dèficit d'investigacions a nivell general sobre aquest tipus d'ecosistemes fluvials, i és important aconseguir-ne més informació per poder assegurar-ne una bona conservació. És per això que aquest treball pretén aportar més coneixement en aquest camp.

En aquest treball s'han estudiat 8 rius temporals del Parc Natural de Sant Llorenç de Munt i l'Obac, i s'han analitzat les seves temperatures per poder observar-ne la intermitència. Aquest TFG per si mateix no té un impacte rellevant en la millora de la conservació de la biodiversitat, però a l'estar emmarcat dins d'un projecte de recerca més gran, els seus resultats ajudaran a aconseguir desenvolupar eines i bases per una millor gestió i conservació dels cursos intermitents, que és l'objectiu del projecte.

Els resultats obtinguts indiquen que els models desenvolupats per estudiar els canvis en la presència d'aigua superficial són efectius, i podrien ser aplicats en altres zones d'estudi per a futures investigacions.

Aquest TFG ha estat desenvolupat des de la Universitat de Barcelona, sense interacció directa amb altres entitats. Els resultats del projecte però tindran rellevància directa tant a nivell local, com a nivell Europeu i internacional, ja que les directrius de gestió i conservació creades es podran aplicar a diverses escales.

Per tot l'explicat anteriorment, els ODS tractats en aquest TFG s'enquadren dins de l'àmbit de Planeta, concretament en l'OD 15 "Vida d'ecosistemes terrestres", impactant més específicament en la meta 15.1 "Pel 2020, assegurar la conservació, el restabliment i l'ús sostenible dels ecosistemes terrestres i els ecosistemes interiors d'aigua dolça i els seus serveis, en consonància amb les obligacions contretes en virtut d'acords internacionals". En aquest cas, l'indicador 15.1.2 "Proporció de llocs importants per la biodiversitat terrestre i d'aigua dolça inclosos en zones protegides, desglossada per tipus d'ecosistema" permetria avaluar l'avanç en la protecció i conservació dels ecosistemes amb rellevància ecològica, com els rius temporals.

Adaptació del TFG al confinament COVID-19

Durant la realització d'aquest treball, una limitació que cal mencionar ha sigut l'estat de confinament en el qual hem hagut d'estar sotmeses durant els mesos de març fins a juny, causat pel COVID-19.

En el cas del meu TFG, aquesta incidència no ha impossibilitat cap de les tasques dutes a terme, ja que totes les dades amb les quals s'ha hagut de treballar s'havien recollit abans de l'inici del confinament i he pogut seguir la feina des de casa.

Tot i això, aquesta situació sí que ha estat una dificultat afegida a l'hora de realitzar reunions i comunicar-me amb els meus tutors i la resta de l'equip, i ha fet que resoldre dubtes i avançar en la redacció de la memòria fos més lent del que hauria estat en una situació de normalitat.

Índex

ABSTRACT

RESUM

OBJECTIUS DEL DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE (ODS)

ADAPTACIÓ DEL TFG AL CONFINAMENT COVID-19

1. INTRODUCCIÓ	1
2. OBJECTIUS I PLANTEJAMENT	3
3. METODOLOGIA I MATERIALS	4
3.1. Zona d'estudi	4
3.1.1. Clima	4
3.1.2. Xarxa hidrogràfica	5
3.2. Materials i mètodes	6
3.2.1. Tècniques de recollida d'informació	6
3.2.2. Tècniques d'anàlisi de la informació	6
3.3. Fases de la recerca	7
3.3.1. Fase prèvia i contextualització	7
3.3.2. Fase de documentació i recerca teòrica	8
3.3.3. Fase de recollida de dades	8
3.3.4. Fase d'anàlisi de les dades: procediment metodològic	10
4. RESULTATS	17
4.1. Amplituds tèrmiques	17
4.2. Model de classificació: càlcul del punt de tall	18
4.3. Model de classificació: sinusoïdal-recta	21
4.4. Precisió dels models utilitzats	22
4.5. Matriu de presència i absència d'aigua	23
5. DISCUSSIÓ	25
6. CONCLUSIONS	28
BIBLIOGRAFIA	29

1. Introducció

Els cursos d'aigua intermitents o temporals són aquells que, a causa de processos que actuen a distintes escales -com les condicions climàtiques, les característiques geològiques o l'activitat humana- presenten diferents nivells de connectivitat hidrològica depenent de l'època de l'any (Acuña et al., 2014). El seu règim de cabals ve caracteritzat per tenir períodes en què el flux d'aigua s'atura en algun moment o es perd superficialment, en un o més punts del seu curs.

Aquest tipus de rius són comuns arreu del món, constituint una proporció de més del 50% de la xarxa fluvial mundial (Datry et al., 2014). A Catalunya, en ser una regió amb un clima clarament mediterrani, els cursos intermitents són molt habituals, i formen aproximadament el 60% de la longitud total de la xarxa fluvial (Stubbington et al., 2018).

Els rius temporals es poden entendre com un mosaic de taques d'ecosistemes lòtics (aigua que flueix), lèntics (aigües estancades) i terrestres (secs), que varien en l'espai i en el temps (Datry et al., 2014). A mesura que els rius es van assecant, el flux d'aigua va disminuint i els hàbitats lòtics es van fent més petits donant pas als hàbitats lèntics, que són zones d'una mateixa riera que poden mantenir l'aigua tot l'any, però que queden desconnectades unes de les altres. Finalment, quan el curs està completament sec, els hàbitats terrestres són els més abundants. Aquesta successió es pot donar a diferents trams d'una mateixa riera en moments diferents. Per això intentar obtenir patrons espacio-temporals d'aquesta intermitència és difícil, ja que l'aportació d'aigua a la superfície i els nivells d'aigua subterrània varien constantment (Datry et al., 2016).

En el cas del clima mediterrani, la variació del cabal d'aigua en els rius ve molt marcada pel règim de precipitació, i trobem que presenten una època de major cabal en els períodes humits (hivern i tardor) i una fase de menor cabal en els períodes de l'any més secs, sobretot l'estiu (Bonada & Resh, 2013). Quan el flux d'aigua s'atura o disminueix, les basses permanents queden separades entre elles. Aquesta intermitència d'aigua superficial determina, per tant, les comunitats biològiques que hi viuen, ja que la sequera imposa unes condicions ambientals i d'hàbitat molt dures que no tots els organismes són capaços de resistir, i els trams secs dificulten la dispersió d'alguns organismes, com peixos o larves d'invertebrats. Això fa que la biodiversitat i l'estructura de les comunitats que hi habiten siguin úniques i característiques d'aquest tipus de rius, perquè s'han hagut d'adaptar a la intermitència, que actua com a factor d'estrès important i determina les adaptacions i estratègies de supervivència dels seus organismes (Bogan et al., 2013; Bonada & Resh, 2013). Per tant, caracteritzar els períodes secs i la seva duració és clau per entendre la distribució de la biodiversitat i ajudar a protegir-la de manera més eficaç.

Els rius temporals han estat relativament poc estudiats fins ara i, tot i que actualment la investigació de cursos intermitents dins de l'ecologia fluvial d'aigua dolça està en augment, encara queda molt per descobrir dels patrons i la influència dels episodis d'intermitència en

aquests ecosistemes (Bogan et al., 2013; Leigh et al., 2017). A més a més, cal remarcar que aquest tipus de cursos estan en augment en totes les zones climàtiques del món (Paillex et al., 2020; Piano et al., 2019), tant en nombre com en longitud, a causa del canvi climàtic i l'alteració dels usos del sol i l'extracció de l'aigua (Döll & Schmied, 2012; Larned et al., 2010).

Davant la perspectiva que cada vegada seran més comuns, és important començar a investigar i treballar sobre la seva dinàmica per augmentar el nostre coneixement i poder-ne fer una gestió eficaç (Datry et al., 2014).

El projecte MECODISPER sorgeix d'aquesta necessitat d'avançar en l'estudi dels rius intermitents per poder millorar la seva conservació i gestió, a través de l'anàlisi de la connectivitat fluvial a escala local, i la relació d'aquesta amb les comunitats d'organismes (algues, macroinvertebrats i peixos) que hi habiten i els refugis perennes que utilitzen per sobreviure. Això requereix conèixer bé si els diferents trams dels rius s'assequen, quan ho fan i quant dura cada fase (lòtica, lèntica i terrestre). Això es pot fer utilitzant diferents metodologies.

Una manera seria fer-ho mitjançant la instal·lació d'estacions de mesura d'aforament o sensors de nivell d'aigua en els rius, que són aparells que realitzen les mesures de cabal de manera molt exacta (Jensen et al., 2019; Snelder et al., 2013). L'inconvenient d'aquest mètode però, és que la majoria de rius intermitents no estan aforats i, si ho estan, aquestes només ens aporten dades d'un tram en concret i no de què passa a tota la conca.

Una altra possible metodologia a utilitzar seria fer un mapatge de sec-humit dels cursos que s'estudien, però això requereix molt treball de camp constant de manera molt intensiva i extensiva (Costigan et al., 2017).

Una alternativa a aquestes dues metodologies, i que es va adoptar en aquest estudi, és la d'instal·lar sensors de temperatura amb registradors de dades en continu en diferents trams dels rius i, a partir de les temperatures, poder extrapolar les variacions de cabal en les diferents èpoques de l'any (Magand et al., 2020).

Diversos estudis anteriors han demostrat la viabilitat d'aquesta tècnica (Paillex et al., 2020), però cal ajustar-la a les especificitats de la regió climàtica que es vulgui estudiar, en aquest cas la mediterrània. Tot i això, cal tenir en compte que, en el nostre cas, l'ús d'aquesta tècnica portava implícit un nivell de subjectivitat, ja que la inferència de la variació de cabal a partir de la temperatura comporta una interpretació humana (Chapin et al., 2014). És precisament en aquest nivell d'interpretació en el que se situen els objectius del present treball.

2. Objectius i plantejament

Per tal d'entendre l'objectiu d'aquest treball, cal tenir en compte que s'engloba dins d'un projecte del grup de recerca *Freshwater Ecology, Hydrology and Management* (FEHM-Lab), iniciat amb anterioritat a la meua incorporació. Aquest projecte, titulat *Avenços en ecologia de meta-comunitats en rius intermitents per la millora de la seva conservació i gestió (MECODISPER)*, i finançat pel *Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Agencia Estatal de Investigación)* pel període 2018-2021, té com a objectiu principal comprendre el paper de la connectivitat de la xarxa fluvial i la dispersió d'espècies en la conformació de les meta-comunitats dels rius intermitents, i poder proporcionar eines per a la gestió i la conservació d'aquests ecosistemes i la seva biodiversitat associada.

El meu TFG té com a objectiu determinar els criteris per poder establir quan els rius presenten aigua superficial i quan no en funció de la temperatura. Per tal d'assolir-lo, he analitzat les dades en continu de temperatura provinents dels sensors instal·lats en els diferents rius del Parc Natural de Sant Llorenç de Munt i l'Obac. Dins del projecte MECODISPER, aquest objectiu forma part d'un objectiu més general que pretén quantificar la connectivitat de la xarxa fluvial durant les diferents fases hidrològiques dels rius intermitents.

3. Metodologia i materials

3.1. Zona d'estudi

La zona en la que s'ha treballat és el Parc Natural de Sant Llorenç de Munt i l'Obac.

Aquest parc comprèn 13.694 hectàrees, i està situat a la Serralada Prelitoral catalana, en les comarques del Vallès Occidental i el Bages. Són dues formacions muntanyoses: el massís de Sant Llorenç de Munt, els cim més alt del qual és la muntanya de La Mola (1.104 m.s.n.m.), i la serra de l'Obac. Estan unides al nord pel coll d'Estenalles, i separades entre elles per la vall de la riera de Les Arenes.

El paisatge que hi trobem generalment és de bosc mediterrani, tot i que també hi ha zones de roca pelada.

Geològicament hi predominen els conglomerats, units per ciments silícis i calcaris, cosa que provoca l'erosió marcada per part dels agents abiòtics com els cursos d'aigua. L'orografia de la zona és escarpada, amb cingles i canals (semblant a Montserrat), i presenta molts torrents i rieres que modelen el relleu (Diputació de Barcelona, n.d.).

3.1.1. Clima

El massís de Sant Llorenç de Munt està situat a l'extrem septentrional del Vallès Occidental, per la qual cosa les pluges descarreguen preferentment al sector oriental de la muntanya i fan augmentar la humitat a la vall del riu Ripoll. Presenta un clima mediterrani subhumit, per aquest motiu el tipus de bosc que s'hi desenvolupa és majoritàriament d'alzinars i pinedes, amb alguns avellaners.

Com en totes les muntanyes mediterrànies, l'estació plujosa és la tardor, seguida de la primavera, mentre que la més seca és a l'estiu, encara que s'hi poden produir tempestes estivals de caràcter local. La pluviositat és variable, al cim de la Mola pot arribar a ser de 800 mm anuals, mentre que a la serra de l'Obac no sol passar de 700 mm anuals.

Pel que fa a la temperatura, tot i que a la depressió del Vallès la temperatura mitjana de l'any acostuma a ser d'uns 15 °C, la mitjana als cims del massís sol ser d'uns 11 °C i a l'hivern les mínimes poden arribar a ser extremes i provocar gelades (Diputació de Barcelona, n.d.).

Totes aquestes condicions fa que els rius que drenen el parc de Sant Llorenç tinguin una hidrologia de caràcter mediterrani, amb nombroses rieres intermitents que s'assequen a l'estiu i que recuperen el cabal després de les pluges de tardor (Bonada & Resh, 2013).

3.1.2. Xarxa hidrogràfica

La xarxa hidrogràfica del massís de Sant Llorenç de Munt inclou rius i rieres de les conques hidrogràfiques del Besòs i del Llobregat. Per la part oriental, els rius i rieres, com els torrents de Vall d'Horta o de Castelló, drenen el riu Ripoll, que presenta cabal perenne i que posteriorment va a parar al Besòs; Per la part de ponent i sud del parc, hi ha altres rieres i torrents que drenen al Llobregat, com són les rieres de Mura, Talamanca, Gaià, Rellinars, San Ana i Santes Creus. Per tal d'estudiar concretament els cursos d'aigua intermitents, es van seleccionar 8 rieres d'aquest parc (figura 1).



Figura 1. Mapa de la zona d'estudi del Parc Natural de Sant Llorenç de Munt i l'Obac, amb les rieres estudiades situades. (Font: elaboració pròpia)

3.2. Materials i mètodes

3.2.1. Tècniques de recollida d'informació

Com ja s'ha explicat prèviament, per tal de poder fer l'anàlisi dels cursos d'aigua intermitents, es va optar per col·locar en diferents trams de cada riera, sensors de temperatura amb registradors de dades en continu (*data loggers*) de la marca HOBO, per poder estimar posteriorment la presència o absència d'aigua superficial.

Els registradors de dades són uns aparells que permeten recopilar i emmagatzemar grans quantitats de dades i poder documentar les mesures de forma òptima i segura. Compten amb un sensor que els hi permet monitorar i registrar en continu la temperatura del seu voltant. Aquest model de registradors de dades, com es pot veure a la figura 2, presenta una coberta impermeable i pot mesurar temperatures en rangs de 20° a 70 °C en aire i de 0 a 50 °C en aigua.

Tot això els converteix en aparells molt versàtils, cosa que ha permès ajustar-los als propòsits d'aquest projecte.

Aquests instruments tenen un cost d'uns 40 euros aproximadament, i com ja s'ha explicat prèviament a la introducció, van ser utilitzats en aquesta recerca perquè es van considerar econòmicament accessibles i relativament resistents.

Així i tot, treballar amb aquest tipus de sensors té alguns inconvenients, ja que si s'instal·len dins del curs d'aigua o a la ribera, poden ser fàcilment arrossegats o enterrats, de manera que el seu ús requereix visites periòdiques al lloc d'estudi per comprovar la instal·lació i anar descarregant les dades registrades (Costigan et al., 2017).

Per obtenir les dades que els HOBOS van registrant al llarg del temps, cal recollir-los del seu lloc de mostreig i connectar el dispositiu via USB a un ordinador, a on es podran descarregar a través del programa HOBOWare.



Figura 2. Registrador de dades HOBO (Font: Alphaomega electronics)

3.2.2. Tècniques d'anàlisi de la informació

Per treballar sobre les dades no processades (*raw data*) un cop descarregades dels HOBOS, es van utilitzar principalment dos programes.

D'un cantó es va fer servir l'Excel, que va permetre organitzar les dades de temperatures de manera visual, ajuntar-les en forma de matrius i crear bases de dades sobre les quals treballar posteriorment. Per altra banda, per realitzar la part principal de l'estudi es va triar el llenguatge de programació R (R Development Core Team, 2019), que és un llenguatge enfocat a l'anàlisi

estadístic i s'utilitza molt sovint en investigació científica. R proporciona moltes eines estadístiques i gràfiques que van ser necessàries per a l'elaboració d'aquest treball, com per exemple tests estadístics i algorismes de classificació i agrupació, entre d'altres.

Un avantatge que donava treballar amb R era la possibilitat de sistematitzar tota l'anàlisi de les dades i poder generar bucles que permetessin automatitzar les operacions i avançar més ràpidament del que s'hauria fet utilitzant un altre programa. A més, al ser un programari lliure, R compta amb una gran comunitat d'usuaris, que ajuden a resoldre dubtes i a buscar solucions de manera ràpida. Per treballar amb R, es va utilitzar l'RStudio, que és un entorn de desenvolupament integrat (IDE) per aquest llenguatge de programació. Aquest entorn compta amb una consola, un editor de sintaxi que ajuda a l'execució del codi i altres eines per fer més còmode l'espai de treball.

3.3. Fases de la recerca

3.3.1. Fase prèvia i contextualització

Com ja s'ha explicat en apartats anteriors, el projecte MECODISPER consta de diversos objectius relacionats amb l'estudi de la connectivitat hidrològica dels rius intermitents, i de la seva relació amb la biodiversitat aquàtica.

La zona de treball va ser escollida perquè ja havia sigut l'àrea principal d'estudi del grup de recerca FEHM sobre els rius intermitents en altres projectes, i per tant es tenia coneixement previs dels cursos d'aigua del parc i les seves condicions (Bonada et al., 2007).

Un cop seleccionats els llocs de mostreig, es van col·locar un total de 106 sensors de temperatura, repartits entre els diferents rius, que van anar recollint dades a intervals d'una hora durant aproximadament 12 mesos. Per poder-los instal·lar de manera segura, els HOBOS es van col·locar dins d'unes càpsules de plàstic dur, que anaven fixades a roques a través d'un filferro i un tac amb un caragol. Aquest sistema d'ancoratge dels HOBOS (figura 3), com es veurà més endavant, va resultar insuficient davant de les perturbacions meteorològiques que van haver de suportar.

Es van col·locar una mitjana de 14 HOBOS per cada riu, alternant les localitzacions a on s'instal·laven entre zones de ràpid o de bassa, ja que es buscava poder comparar els ràpids, més somers, i les bases, a on persisteix l'aigua més temps. A cada riu sempre s'hi va deixar un HOBOS

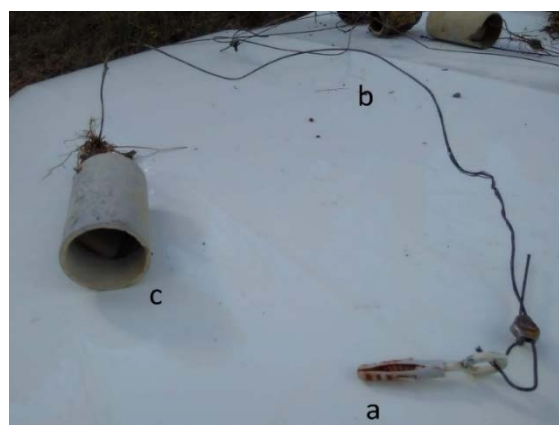


Figura 3. Sistema d'ancoratge d'un HOBOS dins de la riera. Tac (a), filferro (b) i càpsula amb sensor a l'interior (c). (Font: elaboració pròpia)

situat en una zona fora de l'aigua, normalment en algun arbre proper a la llera. Aquest HOBO fora de l'aigua (aeri) serviria de control a l'hora de comparar les temperatures dels HOBOS dins de l'aigua (aquàtics).

Durant el transcurs de l'estudi, es van fer diverses sortides de camp (una per cada estació de l'any) per prendre mostres i fer observacions de les comunitats, i durant les quals es va aprofitar per anar descarregant les dades que havien recollit fins al moment alguns dels sensors.

Al moment de la incorporació de l'autora d'aquest treball al projecte, feia més d'un any que s'havien col·locat els sensors i ja s'havien obtingut alguns registres.

3.3.2. Fase de documentació i recerca teòrica

La primera fase del treball va estar centrada sobretot en la familiarització amb el projecte, i és en la qual es va començar la part de recerca teòrica per poder conèixer el context del treball. També es va decidir quins programes serien més adequats d'utilitzar a l'hora de realitzar l'anàlisi i treball de les dades.

Cal tenir en compte que els coneixements de l'autora sobre el llenguatge de programació R previs a aquest treball, eren només els que s'havien obtingut de les classes d'estadística i de disseny experimental i anàlisi de dades impartides durant el grau, i per generar un script des de zero eren basant limitats. Per aquest motiu, tota la recerca d'informació i aprenentatge per utilitzar aquest llenguatge va requerir destinar-hi moltes hores.

Aquest procés va durar principalment els dos primers mesos, fins que es va realitzar la sortida de camp i es van poder obtenir totes les dades per començar a treballar, tot i que l'aprenentatge i consulta teòrica han seguit presents durant totes les fases de la realització del treball.

3.3.3. Fase de recollida de dades

Es va realitzar una sortida de camp durant els dies 12 i 13 de desembre, en la que es van anar recorrent els diferents rius estudiats, parant en cada punt de mostreig i retirant els HOBOS que s'havien mantingut en el seu lloc i es van poder trobar, tal com veiem en la figura 4.



Figura 4. L'autora del treball durant la sortida de camp i les eines utilitzades per la retirada dels HOBOS del seu lloc de mostreig. (Font: elaboració pròpia)

Un cop recuperats els HOBOS, es van poder descarregar totes les dades que contenien a l'ordinador i es va obtenir un full Excel per cada HOBOS amb els registres de les temperatures que havia anat recopilant.



Figura 6. Total de HOBOS recollits en la sortida de camp de desembre (Font: elaboració pròpia)



Figura 5. Sistema d'ancoratge sense el HOBOS corresponent. (Font: elaboració pròpia)

En aquest punt de la recerca, es va fer evident una incidència important, ja que només es van poder recuperar 26 dels 106 sensors col·locats inicialment (figura 5), tot i que d'alguns dels sensors perduts ja se n'havien pogut extreure algunes dades en sortides anteriors. Els motius d'aquestes pèrdues segurament van ser les grans riuades i perturbacions meteorològiques que van tenir lloc durant el període d'estudi (figura 6).

Per altra banda, en l'observar els registres es va detectar que en alguns dels sensors s'havien produït problemes de funcionament. Aquests problemes van provocar que alguns HOBOS aturessin el registre abans del previst, i altres comencessin a enregistrar temperatures molt més tard que la resta.

Un cop tots els registres de cada HOBOS van estar ordenats d'una manera visual, es va veure que hi havia molta desigualtat en la quantitat de dades proporcionades pels diferents sensors. Això feia difícil la seva comparació i dificultava l'anàlisi per treure conclusions sobre la connectivitat hidrològica.

A causa d'aquests problemes, es van haver de replantejar els passos a seguir per arribar a l'objectiu del treball, ja que no es disposava de suficients registres per a poder generar una base de dades prou completa dels diferents rius estudiats. Per aquest motiu, es va decidir treballar amb les dades que es tenien, encara que fossin poques, i a partir d'aquestes generar una matriu en la qual les temperatures es substituïrien per dos valors: "sec" o "amb aigua" superficial. Això implicava estudiar diferents criteris per classificar les dades en aquests dos estats, que s'explicaran en detall a l'apartat 3.3.4.2.

Aquesta matriu servirà posteriorment per realitzar un procés de *Machine learning*¹, en

¹ Aplicació d'algoritmes d'autoaprenentatge que deriven el coneixement a partir de dades per a crear prediccions (Raschka & Mirjalili, 2019).

col·laboració amb el *Laboratory for Artificial Intelligence in Medical Imaging (AI-Med)* de la Ludwig Maximilian University Munich, per pal·liar les deficiències de dades i poder seguir amb l'estudi.

3.3.4. Fase d'anàlisi de les dades: procediment metodològic

L'objectiu en aquesta fase era traduir els registres horaris de temperatures dels diferents sensors de cada riu, en dades que permetessin avaluar el règim d'intermitència dels seus cabals.

Per poder explicar de forma entenedora els passos seguits, durant l'apartat s'introduiran part dels resultats obtinguts, ja que aquests són fonamentals per entendre la presa de decisions durant el procés de la recerca. A més, per fer més visual l'explicació metodològica s'ha afegit la figura 7.

La base de dades inicial consistia en un full Excel on hi constaven tots els registres dels HOBOS. Un cop obtinguda, el primer pas per començar a redactar l'script d'R va ser el de buscar una llibreria externa (*readxl*) i crear una funció (*read_excel_allsheets*) que permetessin llegir els arxius d'Excel (Hadley Wickham and Jennifer Bryan, 2019). Per consultes més concretes, a l'annex s'hi pot trobar tot l'script d'R utilitzat amb comentaris. Qualsevol fragment citat literalment del codi apareixerà en cursiva.

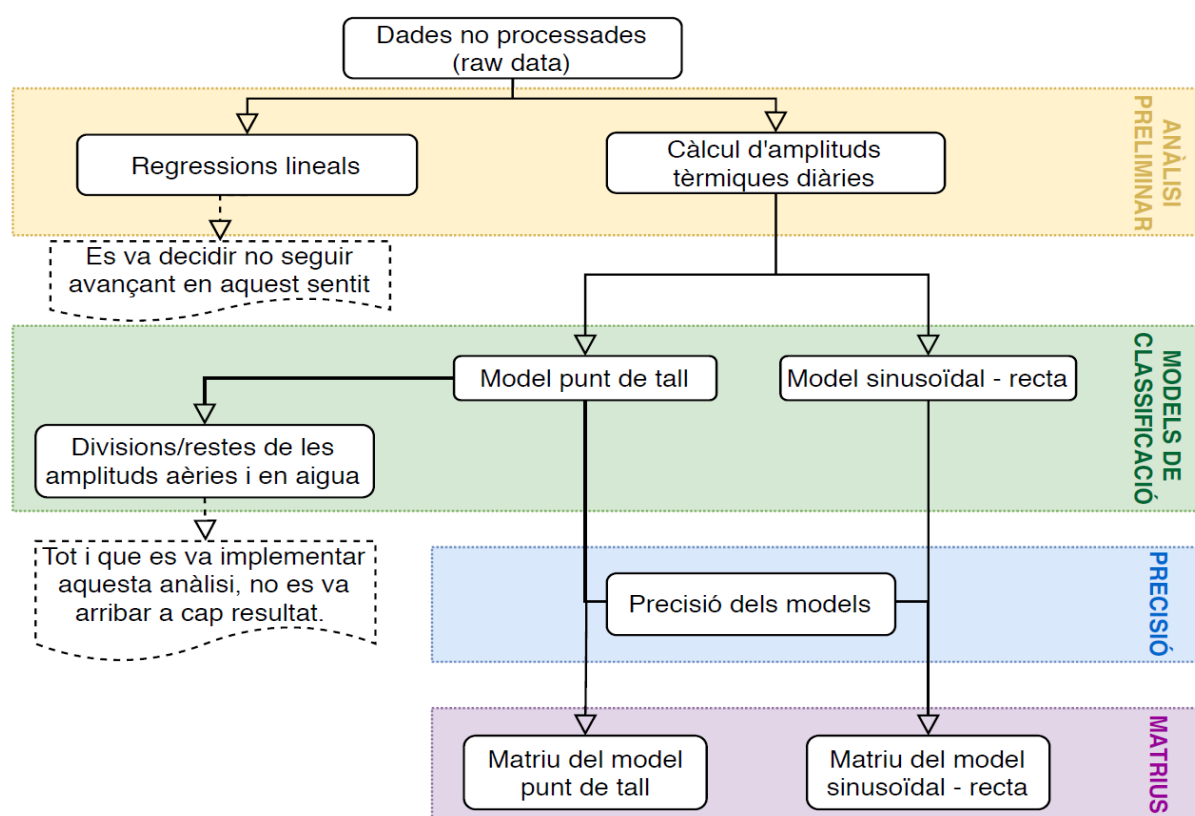


Figura 7. Esquema dels passos seguits durant el processament i anàlisi de les dades. El color groc fa referència a l'apartat 3.3.4.1, el verd a l'apartat 3.3.4.2, el blau a l'apartat 3.3.4.3 i el lila a l'apartat 3.3.4.4 (Font: elaboració pròpia).

3.3.4.1. Anàlisi preliminar

Es va plantejar una primera anàlisi per tal de començar a observar el comportament de les dades i poder-ne extreure patrons.

En disposar d'un HOBO aeri per cada riu, les dades del qual estaven sempre preses en sec, es va pensar que podria servir com a temperatures control, i es va decidir fer un seguit de regressions lineals entre les temperatures obtingudes pel HOBO aeri i les obtingudes pels diferents sensors de dins de l'aigua de cada riu (figura 7). L'estudi d'aquestes regressions venia motivat pel fet que s'esperava trobar una correlació lineal entre les temperatures del HOBO aeri i les temperatures del HOBO aquàtic, quan l'aquàtic estava sec. D'aquesta manera, tots els punts que no seguissin aquesta correlació i quedessin per sobre o per sota de la recta de regressió, indicarien la presència de cabal, ja que l'aigua té un efecte regulador i per tant, quan n'hi ha, les temperatures a dins es tornen menys extremes que les aèries.

Es va buscar una comanda que permetés fer aquestes regressions lineals (*lm*) i observar els residuals. Finalment, es va implementar una funció (*detect_by_regression*) per obtenir diferents gràfics que il·lustraven els resultats d'aquestes regressions (vegeu Annex 2.1²).

Paral·lelament a l'estudi de les regressions, es va analitzar com es comportaven les temperatures mirant l'amplitud tèrmica diària (figura 7). Considerar les amplituds era interessant perquè, tot i que les temperatures de l'aire poden variar considerablement, sota l'aigua es mantenen relativament constants a causa de la baixa conductivitat tèrmica de l'aigua respecte a l'aire. Per tant, fora de l'aigua l'amplitud varia més que a dins.

Per poder-ho fer, es va crear una funció (*create_diff_temperatures*) que buscava dins dels registres de cada HOBO, mitjançant un bucle (*for*), la temperatura màxima i mínima de cada dia i les restava, obtenint l'amplitud tèrmica diària (figura 8).

Aquestes dades es van posar en format gràfic, i es van obtenir els plots dels diferents HOBOS, en els quals es veia com augmentava o disminuïa l'amplitud tèrmica segons l'època de l'any. Es va observar que les amplituds tèrmiques dels HOBOS aeris canviaven molt més durant l'any que no

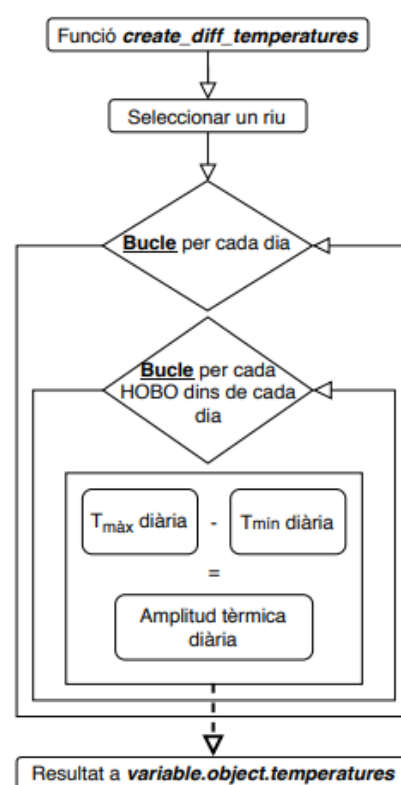


Figura 8. Esquema del funcionament bàsic de la funció *create_diff_temperatures*. (Font: elaboració pròpia)

² Per veure un exemple d'un sensor que s'ajustava bé a la regressió lineal vegeu Vall d'Horta (MECHA1~MECHR3), per veure un exemple d'un sensor que no s'ajustava, vegeu Mura (mu10~MECMP2).

pas les dels HOBOS permanentment submergits, que es mantenien més baixes i estables. Per tant, es podia fer servir la variació de temperatures per inferir la data en què desapareixien les propietats aïllants de l'aigua.

D'acord amb aquesta anàlisi preliminar, es va prendre la decisió de no considerar l'anàlisi de les regressions lineals i seguir avançant amb l'anàlisi de les amplituds tèrmiques. Aquesta decisió venia motivada pel fet que, observant les gràfiques de les amplituds, semblava que aquestes explicaven més clarament la variació estacional de les temperatures que no pas els gràfics resultants de les regressions lineals. Tot i això, la decisió presa no implica que l'estudi de les regressions fos una via errònia d'investigació.

Per tant, a partir d'aquest punt ja no es van utilitzar els registres amb un valor de temperatura per cada hora (valor/hora), sinó que es va agafar com a base de dades els valors de les amplituds tèrmiques diàries (valor/dia). Per tal que aquest conjunt de diferències quedés agrupat i es pogués fer servir com a base de dades, es va crear una variable (*variable.object.temperatures*) que contenia les amplituds tèrmiques de tots els HOBOS de cada riu (figura 8).

3.3.4.2. Models de classificació

- **Model de classificació: càlcul de punt de tall**

Per determinar en quins moments cada tram dels rius es trobava sec o amb aigua, un dels models que es va elaborar per fer aquesta classificació va ser el que s'anomenarà *model de punt de tall*. A nivell pràctic, aquest model consistia a trobar un punt de tall que establia a partir de quina diferència tèrmica es considerava “sec” o “amb aigua”.

Es va decidir utilitzar com a base per calcular el punt de tall, els registres de les observacions de camp que s'havien fet durant les sortides a l'àrea d'estudi, juntament amb les mesures de HOBOS situats en basses profundes que es mantenien amb aigua tot l'any. En aquestes sortides de camp, es van realitzar observacions sobre el cabal d'alguns trams de les rieres que es van visitar, i per tant, indicaven amb fiabilitat si per aquella determinada data, la zona d'un HOBOS en concret presentava aigua o no.

Tota aquesta informació es va recollir en un nou full d'Excel (*observacions_camp*), a on es va agrupar per cada riu, les dates i els HOBOS dels quals es tenien observacions fiables, i se li van assignar un 1 si s'hi havia observat aigua i un 0 si estava sec. A més, també se li va afegir una columna amb les amplituds tèrmiques corresponents a cada observació.

Es van fer proves amb diferents mètodes estadístics per trobar el punt de tall a partir de les observacions de camp, a través de la funció *get_threshold* (figura 9).

Amb els mètodes 1 i 2, es va decidir considerar totes les observacions de camp com si fossin un únic riu, ja que n'hi havia massa poques per a treballar-les per separat.

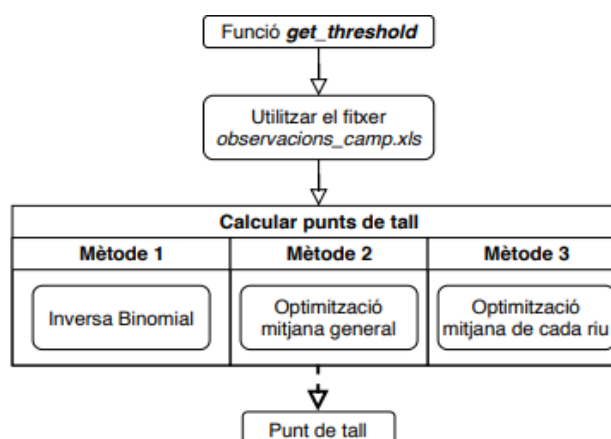


Figura 9. Esquema del funcionament bàsic de la funció *get_threshold*. (Font: elaboració pròpia)

- Mètode 1 (*method 1*): es va aplicar una funció que feia la inversa d'una distribució binomial, relacionant la variable d'amplitud tèrmica amb la variable d'agrupació (sec/amb aigua). Aquesta permetia, donada una probabilitat de 0,5, trobar el valor d'amplitud tèrmica corresponent que fes de punt de tall entre els valors 1 i 0, maximitzant la separació entre els dos grups i minimitzant l'error.
- Mètode 2 (*method 2*): es va utilitzar la funció d'optimització de la mitjana, que anava iterant el valor del punt de tall (*th*) per tal d'aconseguir que el valor de la mitjana fos el més proper a 0,5 possible (probabilitat de separar els valors 0 i 1 de la manera més precisa), i que per tant estiguessin el màxim de valors ben classificats.
- Mètode 3 (*method 3*): es va aplicar la funció d'optimització de la mitjana, amb el mateix procediment que el mètode 2, però considerant cada riu per separat.

Per acabar, es va implementar una funció (*detect_by_difference*), que realitzava la classificació de totes les amplituds dels rius en sec (0) o amb aigua (1), utilitzant el punt de tall obtingut en funció del mètode escollit. El que s'obtenia d'aquesta funció era la *matriu model punt de tall* (figura 10).

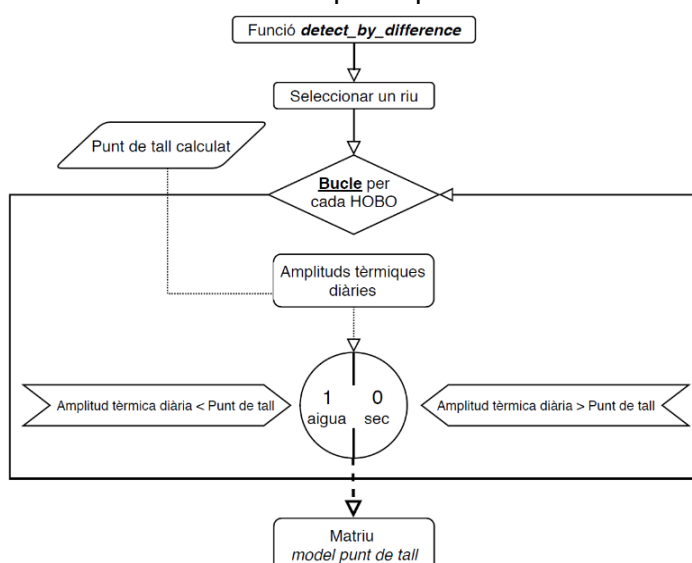


Figura 10. Esquema del funcionament bàsic de la funció *detect_by_difference*. (Font: elaboració pròpia)

Mètriques complementàries

Posteriorment, es va voler veure si, introduint les dades dels HOBOS aeris dins de la mètrica utilitzada, aquesta tenia un comportament més clar i donava més informació que no pas simplement les amplituds tèrmiques. Per això, es va provar de treballar amb les divisions de l'amplitud aèria entre l'amplitud dels HOBOS aquàtics i, posteriorment, també es va fer la prova amb la resta d'aquestes dues dades (figura 7).

Per implementar aquesta opció, primer es va crear una funció (*update_dades_camp*) que actualitzava les dades de la variable *dades_camp* afegint la divisió i la resta de l'amplitud de l'aeri i de cada HOBOS aquàtic. Un cop modificada aquesta base de dades, es tornava a calcular el punt de tall aplicant els tres mètodes descrits anteriorment amb la funció *get_threshold* (figura 9), i finalment s'implementava una funció (*detect_by_difference_vs_dry*) que feia la classificació de totes les dades per obtenir la matriu a partir d'aquest nou punt de tall.

- **Model de classificació: sinusoïdal-recta**

Un altre model que es va provar per obtenir un altre criteri de classificació de les dades, va ser el que s'anomenarà *sinusoïdal-recta*. En aquest cas, per un mateix riu s'agafava el comportament de les amplituds tèrmiques de dos HOBOS concrets, un considerat com a patró sec i l'altre com a patró amb aigua. Aquesta manera classificar les dades va sorgir pel fet que es va detectar que les amplituds preses en sec (HOBOS aeris) es podien aproximar a una funció periòdica de tipus sinusoïdal en la qual el període (T) era d'un any. En canvi, les amplituds preses en zones a on sempre hi havia aigua (HOBOS de basses permanents) tenien una tendència lineal.

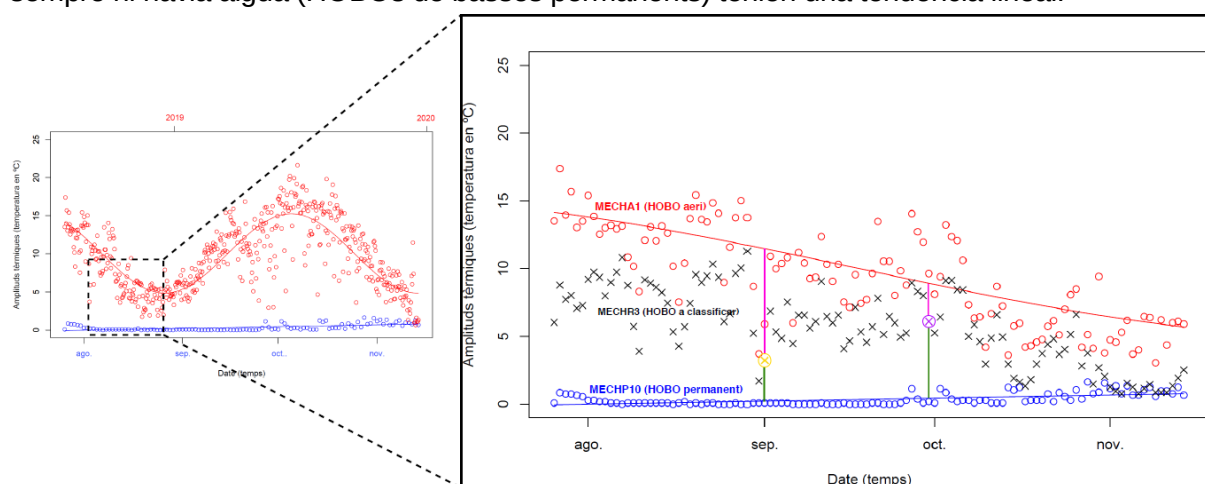


Figura 11. Representació gràfica d'un exemple, utilitzant patró sec (vermell) i patró amb aigua (blau), de l'operació per classificar els diferents valors d'amplitud tèrmica. Les creus de color negre representen les amplituds del sensor MECHR3, com a exemple de dades que es volen classificar. La línia rosa representa la distància amb el patró sec ($\text{valor}_{\text{model dry}} - \text{valor}_{\text{punt a classificar}}$) i la línia verda la distància amb el patró amb aigua ($\text{valor}_{\text{punt a classificar}} - \text{valor}_{\text{model flow}}$). El punt groc és una amplitud, que quedaria classificada com "amb aigua", i el lila una amplitud que quedaria classificada com a "sec". (Font: elaboració pròpia)

La causa de les diferències entre aquests dos patrons era que les amplituds tèrmiques aèries eren elevades a l'estiu i més baixes durant els mesos freds (sinusoïdal), i en canvi les amplituds de zones submergides es mantenien baixes i constants durant tot l'any (recta), com es pot veure en la figura 11. La classificació del conjunt de dades dels HOBOS, es basava en si s'aproximaven més a un patró o l'altre.

Fent l'operació $hobo.distance = |valor_{model\ dry} - valor_{punt\ a\ classificar}| - |valor_{punt\ a\ classificar} - valor_{model\ flow}|$, representada en la figura 11, es podien donar tres casos: si s'obtenia un resultat negatiu, es considerava que, en aquell punt, l'amplitud era més propera al patró sec, i per tant es classificava "sec", i si el resultat era positiu, era més proper al patró amb aigua i per tant es classificava "amb aigua". En cas de ser 0, es va acordar que s'assignaria "amb aigua".

Aquest procés es va fer amb les dades de cada riu per separat, ja que es disposava d'un HOBO aeri propi per cada curs d'aigua i en gairebé tots es disposava també d'un HOBO situat en una zona amb aigua constant. En 3 de les rieres (Rellinars, Gaià i Santes Creus) no es tenia aquest HOBO permanent, i per aconseguir el patró amb aigua es varen utilitzar les dades d'un HOBO d'una altra riu de característiques similars.

A través de la funció *detect_by_model* (figura 12), el model ens donava un criteri de classificació diferent per cada riu, que tenia en compte la variabilitat pròpia de cada curs d'aigua.

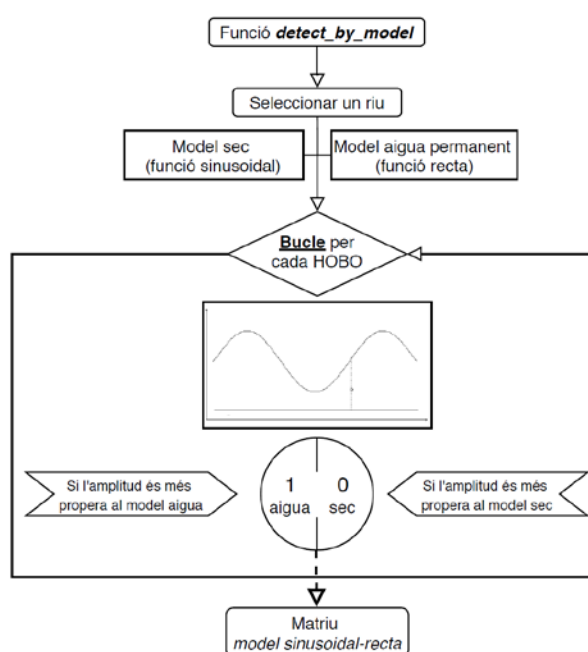


Figura 12. Esquema del funcionament bàsic de la funció *detect_by_model*. (Font: elaboració pròpia)

3.3.4.3. Precisió de cada model

Per decidir quin dels dos models de classificació era més adequat d'utilitzar, estadísticament parlant, a l'hora de generar la matriu de presència-absència d'aigua, es va analitzar la precisió (*accuracy*) de cada un d'ells. La precisió es va calcular com el percentatge d'assignacions correctes que feia cada model, utilitzant les dades d'observacions de camp.

Es va crear una funció (*get_acuracy_hobo*) que permetia fer aquest càlcul utilitzant els següents paràmetres d'entrada: riu, data, HOBO i valor assignat (1:aigua; 0:sec) segons el model utilitzat. El retorn (*return*) d'aquesta funció adjudicava un 1 si la classificació obtinguda amb el model coincidia amb l'observació de camp, un 0 si no coincidia i un -1 si l'observació de camp per aquells paràmetres d'entrada no existia. Amb aquesta informació, s'obtenia finalment el percentatge

d'encert de cada model.

La intenció fent aquest pas era establir com a model vàlid el que donés un percentatge més alt d'encerts.

3.3.4.4. Creació de la matriu

Per la creació de la matriu, es van generar tres funcions diferents.

La primera funció es va anomenar *create_matrix* i permetia crear l'esquelet de la matriu, amb tantes files com dates i tantes columnes com numero de HOBOS. El seu contingut en totes les caselles era NA (missing value), que correspon a la nomenclatura utilitzada per dir que no hi havia cap valor en aquella posició.

La segona funció (*update_matrix*) constava de tres paràmetres d'entrada: data, HOBOS i valor assignat (1:aigua; 0:sec) segons el model utilitzat. A partir d'aquests inputs, omplia la casella indicada amb el valor corresponent i, en fer-ho amb totes les caselles, finalment s'obtenia la matriu plena.

Per últim, la funció *save_matrix* guardava la matriu en un fitxer d'Excel per poder ser utilitzada posteriorment.

3.3.4.5. Millora de la organització i eficiència del codi

L'últim pas que es va dur a terme va ser el de posar un ordre lògic i modificar algunes parts de l'script per tal que fos més eficient i més entenedor, ja que un dels objectius era que aquest codi es pogués fer servir, si fos necessari, en futurs projectes relacionats amb la intermitència dels cabals.

Una de les implementacions que es van incorporar va ser la creació d'unes variables constants que feien referència a valors que s'utilitzaven durant el codi. Aquestes variables es van posar per separat, al principi de l'script, perquè en cas que fos necessari la modificació d'aquests determinats paràmetres, fos més fàcil accedir-hi per canviar-los.

Per altra banda, també es van utilitzar funcions (*dir.create*) que permetien, de manera automàtica, la creació de carpetes a on es guardaven els gràfics i els resultats que s'anaven obtenint durant l'execució de l'script, cosa que facilitava el fet de tenir els resultats endreçats i ajudava a l'organització.

Finalment, un detall que també es va afegir van ser els missatges de consola, que ajudaven a detectar possibles errors a l'hora d'executar el codi, i indicaven a la consola quins punts de l'script s'anaven executant satisfactòriament mentre corria.

4. Resultats

L'objectiu principal d'aquest treball, com ja s'ha exposat anteriorment, era desenvolupar models de classificació per estimar la presència i absència d'aigua superficial a partir de les dades de temperatura. Gràcies a l'assoliment d'aquest objectiu, s'ha pogut obtenir una matriu amb valors 1 (aigua) i 0 (sec), que posteriorment a la finalització d'aquest treball, serà utilitzada per acabar de complir l'objectiu de “quantificar la connectivitat de la xarxa fluvial” i seguir avançant a les següents fases del projecte MECODISPER.

Per aquest motiu, en aquesta memòria no es presentarà una anàlisi extensa de la matriu obtinguda, sinó que l'apartat de resultats se centrarà més a exposar els resultats que es van anar obtenint durant els passos realitzats fins a generar-la.

4.1. Amplituds tèrmiques

El primer que es pot veure en els gràfics de les amplituds tèrmiques respecte al temps, com els que estan representats en la figura 13, és el fet que les amplituds que pertanyen als HOBOS aeris en general són molt més variables si les comparem amb les amplituds dels HOBOS submergits. Durant els mesos càlids (estiu), es pot veure que les amplituds per als HOBOS aeris es feien molt altes i més variables, mentre que durant els mesos més freds (hivern) les amplituds eren bastant més baixes (gràfic A figura 13). Això segurament era causat pel fet que durant l'estiu, la diferència tèrmica entre la temperatura màxima durant el dia i la mínima durant la nit era molt gran, i per aquest motiu, les amplituds durant aquest període són altes. En canvi, a l'hivern tant la màxima com la mínima diàries corresponien a valors bastant baixos, segurament perquè feia molt fred en tots els moments del dia, i per tant les amplituds donen uns valors notablement més baixos i constants a mesura que es va entrant en els mesos més freds.

Aquesta distribució coincideix en tots els HOBOS aeris dels rius estudiats (vegeu Annex 2.2), per la qual cosa es podria dir que és un bon patró de comportament de les temperatures fora de l'aigua.

En canvi, mirant els gràfics dels HOBOS situats en basses permanents (gràfic B figura 13), que estaven submergits durant tot l'any, es pot veure que les seves amplituds tèrmiques gairebé no varien i sempre es mantenen baixes. La raó és que l'aigua té un efecte termoregulator que no permet que les temperatures pugin o baixin molt, i per tant no es fan tan extremes com a fora de l'aigua.

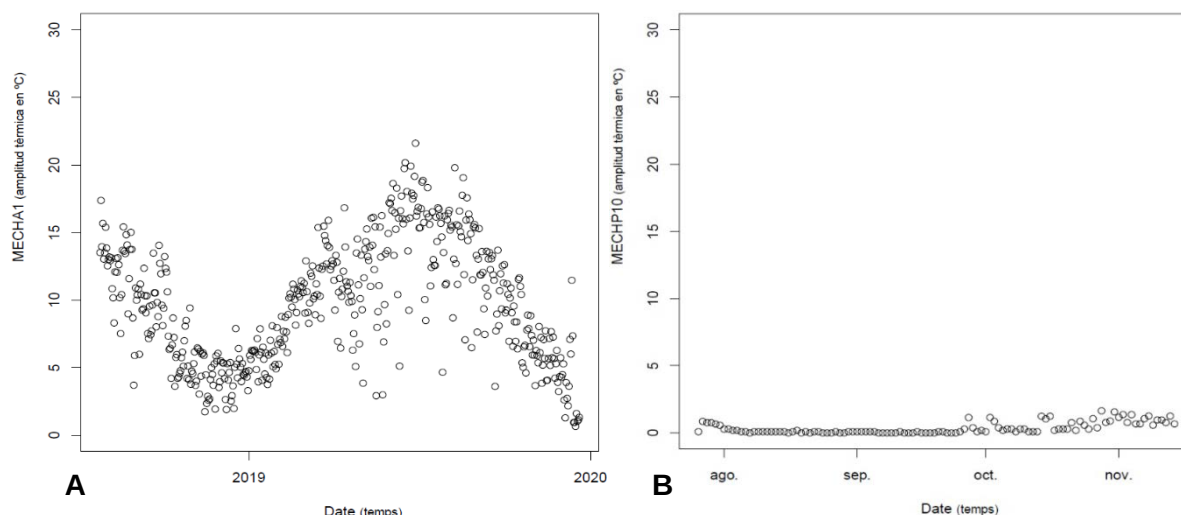


Figura 13. Gràfic A- Representació gràfica de les amplituds tèrmiques al llarg del temps d'un HOBO aeri (MECHA1). Gràfic B- Representació de les amplituds tèrmiques d'un HOBO submergit (MECHP10). (Font: elaboració pròpia)

Aquests van ser els primers resultats obtinguts del treball i són el fonament bàsic sobre el qual es construeixen tota la resta de resultats que es presentaran seguidament.

4.2. Model de classificació: càlcul del punt de tall

Mirant els punts de tall obtinguts amb els diferents mètodes, exposats a la taula 1, es pot veure que el punt de tall calculat amb la binomial (mètode 1), dóna un valor de 3,37, i que el calculat amb la funció d'optimització (mètode 2), dóna 3,83.

	Núm. observacions de camp	Mètodes de càlcul del punt de tall		
Riu		Mètode 1	Mètode 2	Mètode 3
Mura	11	3,37	3,83	5,15
Castelló	23	3,37	3,83	2,3
Gaià	2	3,37	3,83	7,86
Santes Creus	20	3,37	3,83	1,33
Talamanca	45	3,37	3,83	3,83
Rellinars	0	3,37	3,83	--
Vall d'Horta	19	3,37	3,83	3,85
San Ana	29	3,37	3,83	4,76
Total obs.	149			

Taula 1. Punts de tall calculats amb els diferents mètodes i nombre d'observacions de camp utilitzades per cada riu. Nombre total d'observacions en color gris. (Font: elaboració pròpia)

Entre aquests dos valors només hi ha 4 dècimes de diferència, que representa una variació ínfima respecte a l'escala de temperatura utilitzada en aquest treball.

En mirar la precisió de classificació utilitzant els dos valors de punt de tall per separat,

representada en la taula 2, es pot veure que en gairebé tots els rius el percentatge és exactament el mateix, indistintament de quin punt de tall s'utilitzi. Només en la riera de Talamanca es pot observar una variació de la precisió, que passa de ser d'un 50% quan es fa servir el 3,37, a un 60% quan s'agafa el 3,83. Tenint en compte aquests resultats, es pot arribar a la conclusió que utilitzar el valor 3,83 (mètode 2) com a punt de tall per realitzar la matriu és el més precís, tot i que segurament la diferència seria molt petita.

Per altra banda, amb el mètode 3 s'obtenia una llista de punts de tall diferents per cada riu, que es pot veure en la taula 1. El problema era que aquest càlcul es duia a terme utilitzant els valors d'observacions de camp de cada riu (vegeu segona columna taula 1), i per alguns rius hi havia molt poques dades o directament no n'hi havia, de manera que els punts de tall obtinguts eren poc fiables i es va descartar utilitzar-los.

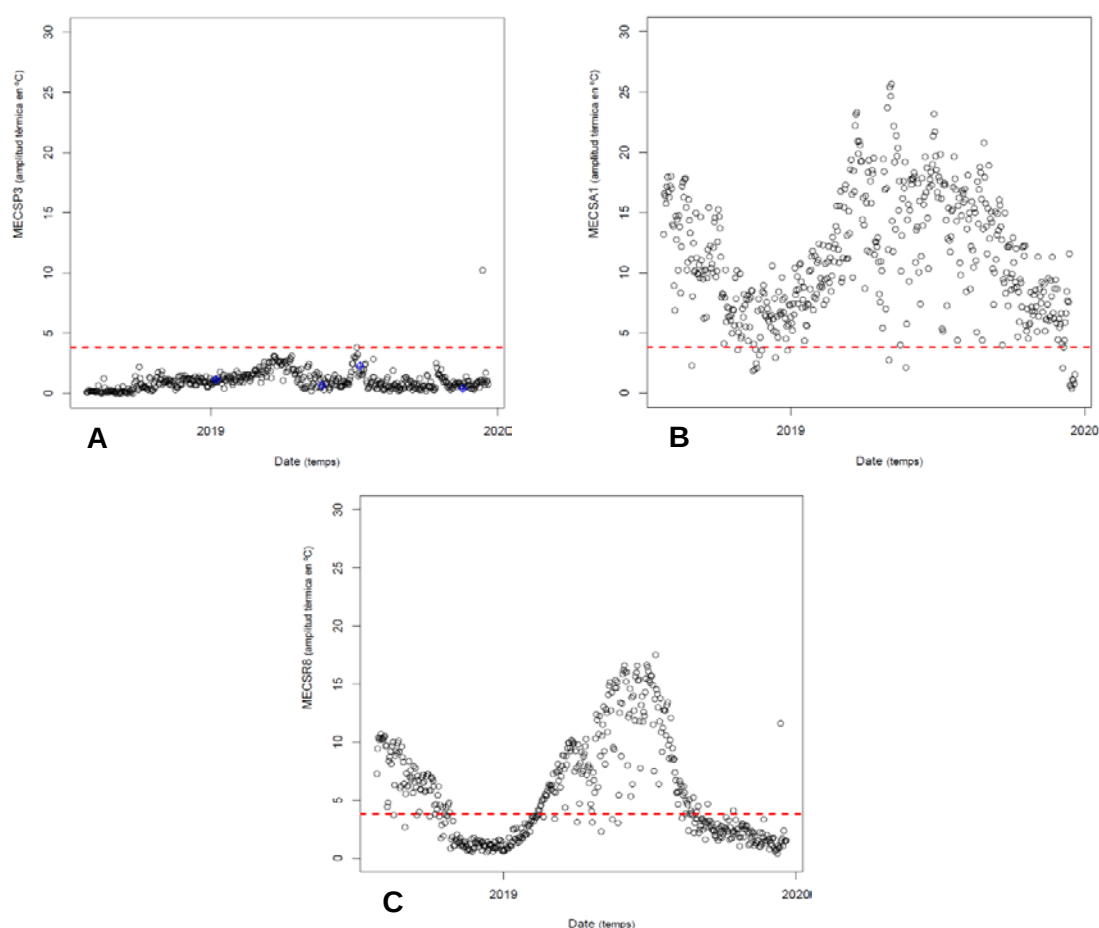


Figura 14. Representacions de les amplituds tèrmiques respecte al temps de diferents HOBOS de la riera de San Ana, amb el punt de tall de 3,83 representat amb una línia discontinua. Els punts que queden per sobre la línia discontinua són considerats secs, i els que estan per sota, amb aigua. A la part superior esquerra, el gràfic A és d'un HOBOS d'una bassa perenne, a la part superior dreta el gràfic B és del HOBOS aeri. El gràfic inferior C és d'un HOBOS que presenta intermitència de cabal al llarg del temps. (Font: elaboració pròpia)

En la figura 14, es pot veure un exemple dels gràfics obtinguts amb el punt de tall de 3,83, obtingut amb el mètode 2. El gràfic C és el d'un HOBO intermitent, i es pot observar com en les èpoques més fredes i humides (hivern i tardor) les amplituds es comporten de manera similar al gràfic A, que és el d'un HOBO permanentment submergit. En canvi, en les èpoques seques, sobretot estiu, es comporten més similars al gràfic B, que és el del HOBO aeri. La resta dels HOBOs analitzats presenten el mateix comportament amb petites variacions (vegeu Annex 2.2).

Es pot observar que el punt de tall dóna el criteri de separació que a ull nu ja es podia aproximar. Així doncs, a partir de 3,83 les amplituds més grans seran considerades com tram sec i les més petites es consideraran com a tram amb aigua.

Ús de les mètriques complementàries

Com ja s'ha introduït en l'apartat 3.3.4.2, les mètriques de divisions i restes de les amplituds tèrmiques dels HOBOs aeris entre els HOBOs en aigua, es van descartar per diferents motius. El primer d'ells és que quan s'estudien els mesos freds (hivern), a on les amplituds aèries són baixes, els resultats tant de les divisions com de les restes són sempre valors baixos, i no permeten discriminar si el HOBO estudiat es troba dins o fora de l'aigua.

A més, un altre inconvenient en utilitzar les divisions és que es tracta d'una mètrica molt sensible, de manera que quan el denominador (amplitud del HOBO d'estudi) es fa molt petit respecte a la del numerador (amplitud del HOBO aeri), es dispara i dóna valors molt alts, que poden generar confusió, com es veu en el gràfic A de la figura 15.

Finalment, la dispersió dels valors de les amplituds dels HOBOs aeris afectava els resultats d'aquestes restes i divisions, cosa que també generava complicacions.

Per aquests motius, es va decidir descartar l'ús d'aquestes mètriques i es va continuar utilitzant les amplituds tèrmiques. Tot i això, s'ha de tenir en compte que aquesta decisió no significa que sigui un sistema erroni amb el qual seguir treballant. Observant, però, l'exemple de la figura 15 (per veure la resta de gràfics, consultar Annex 2.3 i 2.4), es pot veure que els patrons obtinguts, si ve en general semblen coherents, són més difícils d'interpretar que els de les amplituds tèrmiques del mateix HOBO (figura 13).

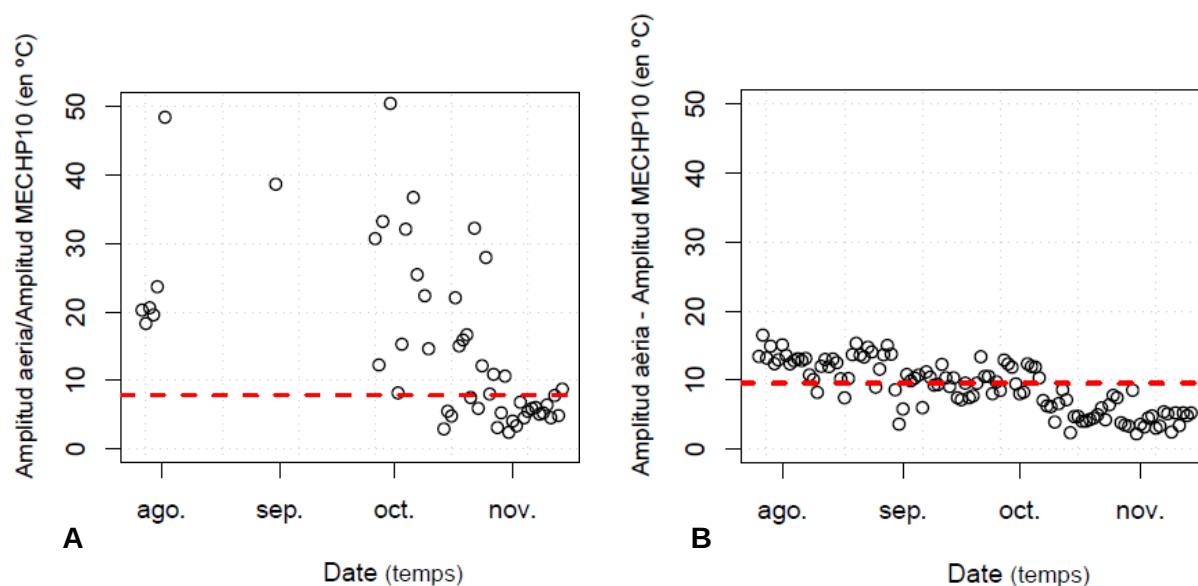


Figura 15 Gràfic A - Representació gràfica de les divisions de les amplituds del HOBO aeri i el HOBO permanent MECHP10 de la riera de Vall d'Horta. Gràfic B - Representació gràfica de les restes de les amplituds de del HOBO aeri i el HOBO perenne MECHP10 de la riera de Vall d'Horta. Les línies vermelles discontinües representen el punt de tall calculat per cada una de les dues mètriques (divisions i restes). (Font: elaboració pròpia).

4.3. Model de classificació: sinusoidal-recta

Utilitzant el *model sinusoidal-recta* per classificar els diferents valors d'amplituds, es van obtenir gràfics per cada HOBO, com el que es pot veure a la figura 16 (per veure la resta de gràfics, consultar Annex 2.5). En vermell es representen els punts que són més propers al patró sec, i per tant es consideren "secs", i en blau els punts més propers al patró amb aigua, i que per tant es consideren "amb aigua".

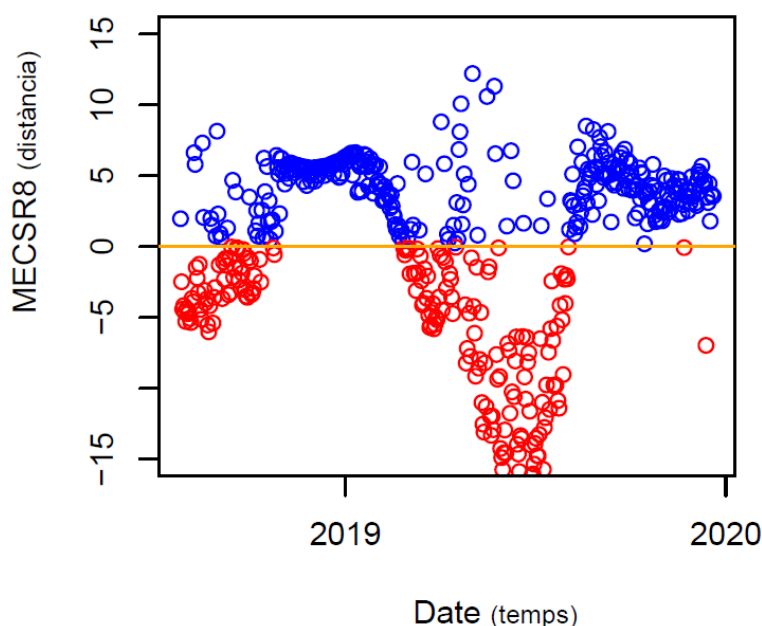


Figura 16. Representació gràfica del model de classificació sinusoidal-recta de les amplituds del HOBO MECSR8. En vermell els punts classificats com a "sec", i en blau els classificats com a "amb aigua". L'eix de les Y representa el valor de la operació $hobo.distance = |valor_{model\ dry} - valor_{punt\ a\ classificar}| - |valor_{punt\ a\ classificar} - valor_{model\ flow}|$ (Font: elaboració pròpia)

Si es compara el gràfic de la figura 16 amb el gràfic C de la figura 14, que pertanyen al mateix HOBO, es pot veure que les amplituds tèrmiques que queden per sota el punt de tall en la figura 14 -per tant, considerades “amb aigua” -, coincideixen temporalment amb els punts que en la figura 16 estan classificats com “amb aigua” (color blau). Així mateix, les amplituds que queden per sobre del punt de tall en la figura 14 també coincideixen amb els períodes a on estan classificats com a “sec” (color vermell) els punts de la figura 16. D'aquesta manera es pot comprovar que, a grans trets, els dos models de classificació donen resultats equiparables.

A més, aquesta inferència també coincideix amb el que s'esperaria climàticament, ja que en els mesos freds és més probable que els rius intermitents portin cabal i en els mesos més secs i calorosos s'esperaria que almenys alguns trams s'assequessin.

4.4. Precisió dels models utilitzats

En la taula 2 es presenten els percentatges de precisió de cada model aplicat als diferents rius estudiats. Com es pot observar, en la majoria d'ells el percentatge de precisió és el mateix pels dos models testats, el de *punt de tall* i el *sinusoïdal-recta*. Només en les rieres de Talamanca i San Ana es veu un augment de la precisió si s'utilitza el *model sinusoïdal-recta* respecte al de *punt de tall* (fent servir el mètode 2, que com s'ha vist en l'apartat 4.2 és el més precís), creixent d'un 60% a un 70% i d'un 82% a un 91% respectivament.

Com es pot veure, el riu que té els percentatges de precisió més baixos, sigui quin sigui el model utilitzat, és la riera de Santes Creus, que dona un percentatge de 33,33% en tots els casos. Això segurament és degut el fet que aquest curs d'aigua és molt irregular i té molta variació durant l'any. A més, era un riu del qual no es disposava de cap HOBO permanent, de manera que per al patró sinusoïdal es va utilitzar un HOBO d'una altra riu, cosa que segurament incrementa l'error de classificació.

En la riera de Rellinars, com que no es disposava de valors d'observacions de camp, no es va poder calcular la precisió dels models.

Per analitzar aquests resultats, cal tenir en compte que, els percentatges representats en color gris a la taula només serveixen per comparar els diferents models dins d'un mateix riu, ja que estan calculats segons el nombre d'observacions de cada riu (vegeu segona columna taula 1). Per mirar quin model en general és el més precís, s'han calculat els percentatges ponderats en relació amb la quantitat de punts de cada riu, que apareixen marcats en color groc.

Riu/Model	Amplituds tèrmiques amb punt de tall		Sinusoïdal - recta
	Punt de tall calculat amb el mètode 1	Punt de tall calculat amb el mètode 2	
Mura	75%	75%	75%
Castelló	80%	80%	80%
Gaià	100%	100%	100%
Santes Creus	33%	33%	33%
Talamanca	50%	60%	70%
Rellinars	--	--	--
Vall d'Horta	100%	100%	100%
San Ana	82%	82%	90,91%
Percentatge ponderat	69%	71%	76%

Taula 2. Percentatges de precisió (accuracy) de classificació dels diferents models utilitzats. En groc, percentatges de cada model ponderats a partir del nombre d'observacions de camp de cada riu, exposats en la taula 1. (Font: elaboració pròpia)

Tot i que s'ha vist que els dos models són efectius a l'hora de classificar les dades, cal tenir en compte que tant un com l'altre presenten alguns punts del seu desenvolupament que comporten possibles errors. En el model amb el punt de tall, a causa de la manca d'observacions es van utilitzar totes les observacions de camp (en total 149 valors) per calcular el punt de tall, tractant-les com si provenguessin d'un únic riu. Aquest procediment feia que s'ometessin les característiques pròpies de cada curs d'aigua i per tant, podia comportar errors. Per altra banda, en el model sinusoïdal-recta, per tres rieres (Rellinars, Santes Creus i Gaià) no es disposava d'un HOBO permanentment submergit, de manera que es va utilitzar com a patró amb aigua els HOBOs permanents d'altres rius de característiques similars i per tant, no eren dades pròpies. En general, es pot veure que ambdós models tenen un percentatge de precisió similar en tots els rius. Tot i això, mirant els percentatges ponderats, es pot afirmar que el *model sinusoïdal-recta* és el més precís en àmbit global, presentant un 76% de precisió respecte al 71% del *model de punt de tall*.

4.5. Matriu de presència i absència d'aigua

De la matriu final obtinguda (amb el *model sinusoïdal-recta*), el que s'ha analitzat dins d'aquest treball és fins a quin punt representa resultats coherents respecte al que s'esperaria climàticament, és a dir, amb valors d'aigua més abundants durant els mesos freds de l'any i valors secs més abundants durant l'estiu. En la figura 17, apareixen representats els valors "sec" i "amb aigua" al llarg del temps de dos HOBOs d'un mateix riu, a tall d'exemple.

El gràfic A representa un HOBO situat en un tram del riu temporal (MECSR8). Es pot veure que en general, la presència d'aigua superficial varia tal com s'esperava: en els mesos de tardor cada vegada hi ha més dies amb flux d'aigua superficial i durant l'hivern es manté la presència d'aigua

superficial. A partir del febrer, en arribar la primavera, comencen a aparèixer més valors secs i finalment en els mesos d'estiu, sobretot juny i juliol, es manté bastant sec. Per tant, basant-se en figura 17 es poden diferenciar clarament els períodes secs dels períodes amb aigua superficial. Malgrat això, es pot veure que durant els períodes secs (per exemple de març a juliol del 2019), apareixen alguns valors amb aigua intermitentment. Aquests punts indicarien canvis d'un estat a l'altre molt ràpids i sobtats, segurament degut a la presència de pluges puntuals durant aquests esdeveniments.

Per altra banda, observant el HOBO MECSP2 (gràfic B figura 17), es pot veure que es tracta d'un sensor col·locat a una bassa perenne, que va mantenir l'aigua superficial durant pràcticament tot el període d'estudi. Per aquest motiu, la dinàmica d'aquest sensor és molt diferent del MECSR8. L'únic valor "sec" del gràfic B figura 17 (aproximadament al desembre 2019), es pot veure que coincideix amb el gràfic A figura 17, i segurament va ser degut al fet que l'hivern del 2019 va ser molt sec. Observar aquest HOBO permet confirmar l'efectivitat del model de classificació utilitzat, ja que com s'espera d'una bassa permanent, el gràfic mostra que les amplituds s'han classificat com a valors d'aigua durant tot el període d'estudi.

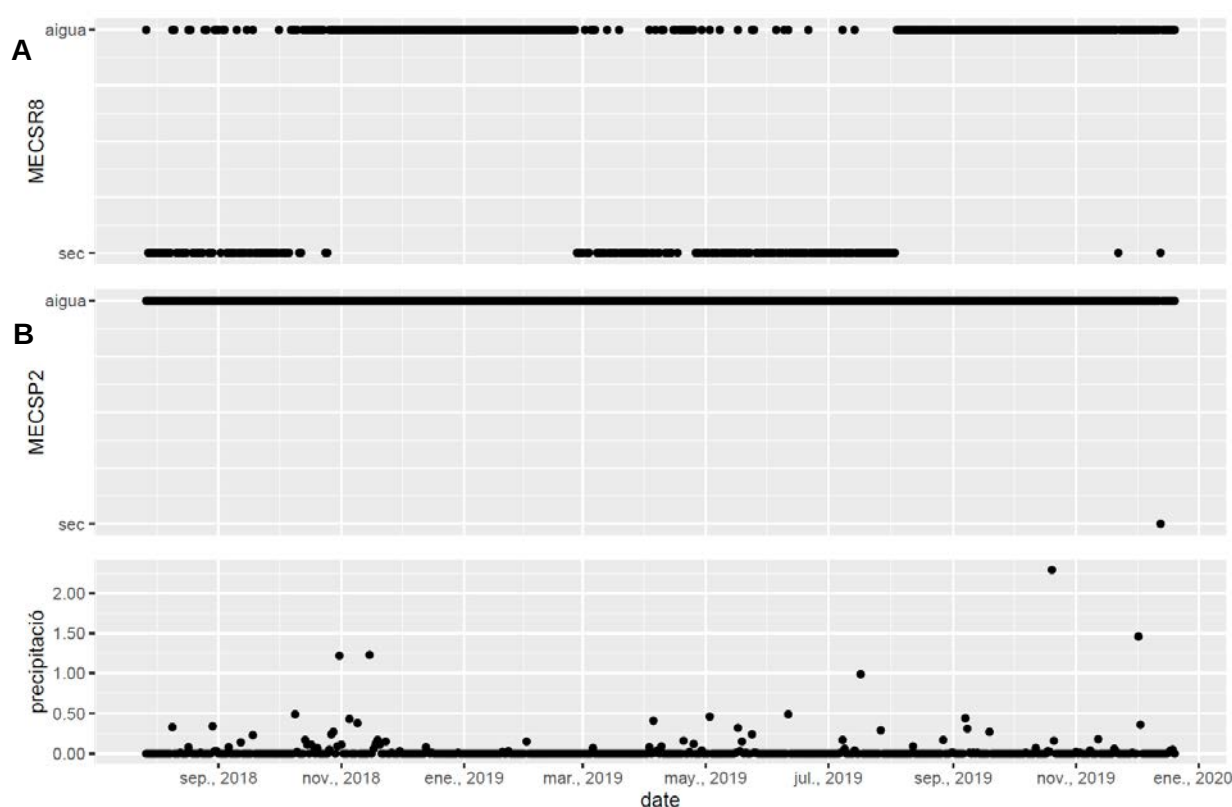


Figura 17. Gràfic A- Representació dels valors sec i amb aigua del HOBO MECSR8 de la matriu realitzada amb el model sinusoidal-recta. Gràfic B- Representació dels valors sec i amb aigua del HOBO MECSP2 (bassa permanent) de la matriu realitzada amb el model sinusoidal-recta. Gràfic C- Representació de la precipitació registrada durant el període d'estudi per l'estació meteorològica de Sant Llorenç Savall, en l/m2 o mm. (Font: elaboració pròpia)

5. Discussió

La gran majoria d'estudis sobre la hidrologia fluvial i la seva anàlisi estan realitzats en rius permanents, i els rius intermitents en queden exclosos degut les dinàmiques espacio-temporals tan complexes que presenten (Datry et al., 2014; Magand et al., 2020). Per aquest motiu, les tècniques utilitzades per la classificació del règim hidrològic dels rius estan basades en l'estudi de rius permanents i no de rius amb intermitència. És per això que, en aplicar-les en rius temporals, presenten mancances que fan que la caracterització de la intermitència sigui complicada (Costigan et al., 2017).

En els últims anys s'han desenvolupat tècniques alternatives per caracteritzar les dinàmiques d'intermitència d'aigua en els rius temporals, com són la teledetecció, el mapatge sec-humit, el modelatge, les mètriques hidrològiques, les dades provinents de ciència ciutadana o, com en el cas d'aquesta recerca, l'ús de sensors (HOBOS) (Datry et al., 2016). Aquest TFG suposa, per tant, una aportació en el desenvolupament de noves tècniques més precises per aquest tipus de cursos.

A través de l'ús de sensors de temperatura, l'estimació de la presència i absència d'aigua es basa en el principi de l'acció termoreguladora de l'aigua. Els resultats obtinguts amb aquesta tècnica demostren que és una eina efectiva per fer aquest tipus d'inferència, ja que s'ha vist que existeix una clara correlació entre la variació de temperatura i la presència o no d'aigua superficial (Kreuzer et al., 2003; Paillex et al., 2020).

Els resultats del treball mostren que els HOBOS situats en trams temporals dels rius estudiats, en general segueixen una dinàmica amb valors associats a presència d'aigua superficial més abundants durant els mesos freds i amb associats a absència d'aigua durant els mesos càlids. Aquests resultats coincideixen amb el comportament intermitent que s'esperaria en rius temporals mediterranis, amb un període sec durant l'estiu i un període amb més cabal durant la tardor i hivern (Bonada & Resh, 2013). Tot i això, trobem alguns sensors que tenen comportaments diferents, ja sigui perquè mantenen l'aigua durant tot l'any o perquè tenen una dinàmica més caòtica. Aquestes dinàmiques es podrien explicar pel fet que la presència i absència d'aigua superficial no només depèn de factors climàtics com la precipitació, sinó que hi intervenen molts altres factors, com la vegetació, la geologia, la situació geogràfica, la ubicació concreta dins del riu, entre d'altres (Bonada et al., 2007). També cal tenir en compte que el Parc Natural de Sant Llorenç de Munt i l'Obac presenta una geologia predominantment càrstica i amb múltiples connexions amb l'aqüífer, de manera que les infiltracions i surgències de l'aigua segueixen patrons difícils de predir (Generalitat de Catalunya, 1972). Així doncs, és habitual trobar zones amb alternança de trams secs i amb aigua en els rius d'aquest parc, cosa que dificulta la caracterització de la seva hidrologia.

Les tècniques i mètodes emprats per generar la matriu de presència i absència d'aigua en aquest

TFG permeten analitzar diverses característiques de gran importància per entendre la intermitència dels rius. En primera instància ens permet detectar, per una mateixa data, quins trams del riu mantenen aigua superficial i quins no, gràcies a la col·locació dels sensors en diferents ubicacions al llarg dels rius estudiats. Aquestes són dades importants, ja que permeten veure temporalment quan es connecten o desconnecten les diferents zones d'un mateix curs d'aigua entre elles, cosa que té una gran rellevància sobre els processos ecològics que hi tenen lloc (Stubbington et al., 2018).

Per altra banda, l'ús d'aquesta tècnica permet la possibilitat de detectar moments concrets en què determinats punts del riu passen ràpidament de sec a aigua i viceversa, que en el cas d'aquest estudi sobretot es veuen en els períodes càlids d'estiu. Per tant, no tan sols s'identifiquen en termes generals els períodes secs i humits, sinó que es poden determinar els moments de canvi més concrets. Poder detectar aquests moments de connexió i desconnexió ràpida pot ser important i interessant en relació amb l'ecologia i biodiversitat d'aquests rius (Larned et al., 2010; Snelder et al., 2013).

El fet d'identificar tots aquests esdeveniments suposa un avantatge respecte a altres tècniques utilitzades, com per exemple les estacions d'aforament, que no permeten captar aquests matisos ecològicament rellevants (Gallart et al., 2012; Paillex et al., 2020).

Tenint en compte els resultats obtinguts, s'ha comprovat que la combinació entre l'ús de sensors de temperatura i els models de classificació desenvolupats en aquest treball són una tècnica efectiva, que podria ser utilitzada en diferents àmbits per a la gestió i conservació dels rius intermitents, que avui en dia continua sent molt escassa en comparació amb els rius permanents (Fritz et al., 2017). Per una banda, es podria aplicar en estudis científics per la conservació d'organismes que habiten en aquests cursos d'aigua, ja que l'estructura i composició de les seves comunitats depenen dels canvis en el temps dels hàbitats fluvials (Gallart et al., 2012). També es podria utilitzar en àmbits com la gestió dels rius per part de l'administració, perquè al fer servir sensors barats, se'n podrien instal·lar diversos per cobrir tota la xarxa hidrogràfica, i així poder generar unes eines i protocols de gestió adequats al règim hidrològic dels rius temporals (Magand et al., 2020).

Una de les limitacions que s'ha constatat durant la realització d'aquest treball, ha sigut la falta d'observacions de camp utilitzades per la validació dels models de classificació desenvolupats. Una possible solució a aquesta manca d'observacions sobre el terreny seria l'ús de dades provinents de projectes de ciència ciutadana, com per exemple, l'avaluació de l'estat d'un tram de riu a Catalunya (RiuNet app³), el registre de canvis en les condicions de flux d'aigua a França⁴

³ Disponible a: <http://riunet.net>

⁴ Disponible a: <https://enquetedeau.eaufrance.fr/accueil>

o l'inventari de barreres en els rius europeus (The Barrier Tracker app⁵). Una altra possible solució seria utilitzar tècniques de teledetecció, és a dir, imatges per satèl·lit o càmeres fixes de la zona d'estudi, que proporcionarien observacions de camp de manera indirecta. La combinació d'aquestes tècniques amb la metodologia utilitzada en aquest treball, constituïrien un mètode més robust i fiable de caracterització de la intermitència dels rius.

Però la limitació més important ha estat el dèficit de dades de temperatura, causada per la pèrdua gran nombre de sensors dels rius durant episodis de fortes pertorbacions meteorològiques (riades). Aquesta falta de dades ha fet més complicada la seva anàlisi i ha provocat que els resultats obtinguts fossin menys fiables que l'esperat si s'hagués disposat de les dades de tots els sensors instal·lats. Aquest tipus d'incidències són comunes quan s'utilitzen sensors dins dels rius (Costigan et al., 2017), i una possible solució seria fer visites més freqüents a l'àrea d'estudi per comprovar l'estat dels sensors i substituir-los en cas de necessitat. Una altra solució per pal·liar aquesta manca de dades, seria l'aplicació de tècniques de *Machine Learning*, que permetessin omplir els buits de dades que falten. Aquesta última opció és la que s'ha escollit aplicar en aquest cas per tal de poder seguir amb el projecte.

Una millora que també es podria implementar, seria combinar la nostra tècnica amb algun altre mètode que permetés discernir entre aigües estancades (basses) i aigües en moviment (ràpids), ja que els sensors de temperatura no permeten fer aquesta diferenciació. El fet de poder discernir entre basses i ràpids seria interessant perquè les comunitats d'organismes que ocupen aquests hàbitats són completament diferents entre elles (Bonada et al., 2006), per tant, aquesta podria ser una possible línia de treball futura.

⁵ Disponible a: <https://portal.amber.international/>

6. Conclusions

En aquest treball s'han pogut determinar criteris amb els quals inferir, a partir de les dades de temperatura, la presència o absència d'aigua superficial en els 8 rius del Parc Natural de Sant Llorenç de Munt i l'Obac.

S'ha pogut veure que les amplituds tèrmiques eren la mètrica que millor explicava la variació de temperatura al llarg del temps, i eren la mesura més clarament interpretable a partir de la qual fer aquesta inferència. Tot i això, també s'ha vist que altres mètriques, com l'ús de divisions o restes entre amplituds, podrien ser una tècnica igualment bona, tot i que més complicada d'interpretar.

Durant el treball s'han desenvolupat i testat principalment dos models de classificació per passar de dades de temperatures a dades de presència o absència d'aigua superficial: el model *sinusoïdal-recta* i el *model de punt de tall*. Comparant aquests dos models, s'ha vist que en la majoria dels casos el percentatge de classificació era alt i bastant similar entre ambdós, però el model que millor discrimina és el *model sinusoïdal-recta*, el qual ha estat emprat per generar la matriu de valors "sec" i "amb aigua".

Finalment, en obtenir aquesta matriu, s'ha pogut comprovar que els resultats coincideixen amb el que s'esperaria climàticament: durant els mesos més freds hi ha més presència d'aigua, i en els mesos més secs d'estiu aquesta aigua superficial es redueix. Per tant, es pot afirmar que és un model de classificació efectiu per realitzar aquest tipus d'estudi.

A més, també s'ha vist la gran potencialitat de treballar amb HOBOS per caracteritzar la connectivitat dels rius temporals, que és un factor clau per poder desenvolupar eines de gestió i conservació dels seus ecosistemes i la seva biodiversitat associada. Utilitzar aquest tipus de mostreig amb sensors de temperatura en combinació les anàlisis proposades en aquest treball, permetrien cobrir una gran quantitat de terreny i poder treballar amb molts rius a la vegada a un preu molt econòmic, cosa que pot facilitar i potenciar la realització de futures investigacions en l'àmbit dels rius intermitents.

Bibliografia

- Acuña, V., Datry, T., Marshall, J., Barceló, D., Dahm, C. N., Ginebreda, A., McGregor, G., Sabater, S., Tockner, K., & Palmer, M. A. (2014). Why should we care about temporary waterways? *Science*, 343(6175), 1080-1081. <https://doi.org/10.1126/science.1246666>
- Bogan, M. T., Boersma, K. S., & Lytle, D. A. (2013). Flow intermittency alters longitudinal patterns of invertebrate diversity and assemblage composition in an arid-land stream network. *Freshwater Biology*, 58(5), 1016–1028. <https://doi.org/10.1111/fwb.12105>
- Bonada, N., & Resh, V. H. (2013). Mediterranean-climate streams and rivers: Geographically separated but ecologically comparable freshwater systems. *Hydrobiologia*, 719(1), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1634-2>
- Bonada, N., Rieradevall, M., & Prat, N. (2007). Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. *Hydrobiologia*, 589(1), 91–106. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0723-5>
- Bonada, N., Rieradevall, M., Prat, N., & Resh, V. H. (2006). Benthic macroinvertebrate assemblages and macrohabitat connectivity in Mediterranean-climate streams of northern California. *Journal of the North American Benthological Society*, 25(1), 32-43 [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2006\)25\[32:BMAAMC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2006)25[32:BMAAMC]2.0.CO;2)
- Chapin, T. P., Todd, A. S., & Zeigler, M. P. (2014). Robust, low-cost data loggers for stream temperature, flow intermittency, and relative conductivity monitoring. *Water Resources Research*, 50 (8), 6542-6548 <https://doi.org/10.1002/2013WR015158>
- Costigan, K. H., Kennard, M. J., Leigh, C., Sauquet, E., Datry, T., & Boulton, A. J. (2017). Flow regimes in intermittent rivers and ephemeral streams. In T. Datry, N. Bonada, & A. Boulton (Eds.), *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams: Ecology and Management* (pp. 1–597).
- Datry, T., Larned, S. T., & Tockner, K. (2014). Intermittent rivers: A challenge for freshwater ecology. *BioScience*, 64(3), 229–235. <https://doi.org/10.1093/biosci/bit027>
- Datry, T., Pella, H., Leigh, C., Bonada, N., & Hugueny, B. (2016). A landscape approach to advance intermittent river ecology. *Freshwater Biology*, 61(8), 1200–1213. <https://doi.org/10.1111/fwb.12645>
- Diputació de Barcelona. (n.d.). *Geografia física - Sant Llorenç-Obac*. Xarxa de Parcs Naturals. Retrieved April 17, 2020, from <https://parcs.diba.cat/web/santllorenc/geografia-fisica>
- Döll, P., & Schmied, H. M. (2012). How is the impact of climate change on river flow regimes related to the impact on mean annual runoff? A global-scale analysis. *Environmental Research Letters*, 7(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/014037>
- Fritz, K., Cid, N., & Autrey, B. (2017). Governance, Legislation, and Protection of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. In T. Datry, N. Bonada, & A. Boulton (Eds.). *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams: Ecology and Management*. Academic Press. (pp. 477-507).

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00019-X>

- Gallart, F., Prat, N., Garca-Roger, E. M., Latron, J., Rieradevall, M., Llorens, P., Barbera, G. G., Brito, D., De Girolamo, A. M., Lo Porto, A., Buffagni, A., Erba, S., Neves, R., Nikolaidis, N. P., Perrin, J. L., Querner, E. P., Quinonero, J. M., Tournoud, M. G., Tzoraki, O., ... Froebrich, J. (2012). A novel approach to analysing the regimes of temporary streams in relation to their controls on the composition and structure of aquatic biota. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3165–3182. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3165-2012>
- Generalitat de Catalunya. (1972). *Generalitat de Catalunya Departament de Medi Ambient i Habitatge Direcció General del Medi Natural GEOZONA 223 SANT LLORENÇ DEL MUNT I L'OBAC*.
- Hadley Wickham and Jennifer Bryan. (2019). *readxl: Read Excel Files* (1.3.1). R package. <https://cran.r-project.org/package=readxl>
- Jensen, C. K., McGuire, K. J., McLaughlin, D. L., & Scott, D. T. (2019). Quantifying spatiotemporal variation in headwater stream length using flow intermittency sensors. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 226. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7373-8>
- Kreuzer, M., Ray, A. M., Inouye, R. S., & Ray, H. L. (2003). THE USE OF DATA LOGGERS TO MONITOR ENVIRONMENTAL STATE CHANGES: SNOW MELT AND LOSS OF SURFACE WATER. *Bulletin of the Ecological Society of America*. [https://doi.org/10.1890/0012-9623\(2003\)84\[27:tuodlt\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/0012-9623(2003)84[27:tuodlt]2.0.co;2)
- Larned, S. T., Datry, T., Arscott, D. B., & Tockner, K. (2010). Emerging concepts in temporary-river ecology. *Freshwater Biology*, 55(4), 717–738. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02322.x>
- Leigh, C., Laporte, B., Bonada, N., Fritz, K., Pella, H., Sauquet, E., Tockner, K., & Datry, T. (2017). IRBAS: An online database to collate, analyze, and synthesize data on the biodiversity and ecology of intermittent rivers worldwide. *Ecology and Evolution*, 7(3), 815–823. <https://doi.org/10.1002/ece3.2679>
- Magand, C., Alves, M. H., Calleja, E., Datry, T., Dörflinger, G., England, J., Gallart, F., Gomez, R., Jorda-Capdevila, D., Marti, E., Munne, A., Pastor, A. V., Stubbington, R., Tziortzis, I., & Von Schiller, D. (2020). *Intermittent rivers and ephemeral streams: what water managers need to know*. Technical report – Cost ACTION CA 15113. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3888474>
- Paillex, A., Siebers, A. R., Ebi, C., Mesman, J., & Robinson, C. T. (2020). High stream intermittency in an alpine fluvial network: Val Roseg, Switzerland. *Limnology and Oceanography*, 65(3), 557–568. <https://doi.org/10.1002/lno.11324>
- Piano, E., Doretto, A., Falasco, E., Fenoglio, S., Gruppuso, L., Nizzoli, D., Viaroli, P., & Bona, F. (2019). If Alpine streams run dry: the drought memory of benthic communities. *Aquatic*

- Sciences*, 81, 32. <https://doi.org/10.1007/s00027-019-0629-0>
- R Development Core Team. (2019). *R version 3.5.2* (3.5.2). R Foundation for Statistical Computing.
- Raschka, S., & Mirjalili, V. (2019). Dar a los ordenadores el poder de aprender de los datos. In *Python Machine Learning* (Segunda, pp. 23–38). Marcombo S.A.
- Snelder, T. H., Datry, T., Lamouroux, N., Larned, S. T., Sauquet, E., Pella, H., & Catalogne, C. (2013). Regionalization of patterns of flow intermittence from gauging station records. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(7), 2685–2699. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2685-2013>
- Stubbington, R., Chadd, R., Cid, N., Csabai, Z., Miliša, M., Morais, M., Munné, A., Pařil, P., Peřić, V., Tziortzis, I., Verdonschot, R. C. M., & Datry, T. (2018). Biomonitoring of intermittent rivers and ephemeral streams in Europe: Current practice and priorities to enhance ecological status assessments. *Science of the Total Environment*, 618, 1096–1113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.137>