



Títol del Treball:

**Fonts de les Guillerries: hidrologia, relació amb recàrrega
subterrània i escenaris de futur**

Estudiant: Adrià Len Leonart

Correu electrònic: adrialenlleonart@gmail.com

Grau en Ciències Ambientals

Tutor: David Soler Hernandez

Correu electrònic: David.soler@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a través de la plataforma de TFG: 04/07/2023

ÍNDEX

RESUM	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
REFLEXIONS SOBRE ÈTICA, SOSTENIBILITAT I PERSPECTIVA DE GÈNERE	6
1. INTRODUCCIÓ	7
2. OBJECTIVES	9
3. METODOLOGIA	10
3.1. La zona d'estudi	10
3.2. Les fonts estudiades	10
3.3. Treball de camp (campanyes de seguiment hidrològic)	13
3.4. Obtenció de dades meteorològiques	13
3.5. Balanç hídric	14
3.6. Escenaris de futur	18
4. RESULTATS I DISCUSSIÓ	20
4.1. Físicoquímica de les aigües	20
4.2. Cabal de les fonts	21
4.3. Balanç hídric mensual de les fonts	24
4.4. Escenaris hidrològics de futur	27
5. CONCLUSIONS	29
6. BIBLIOGRAFIA	30

RESUM

Les fonts són un element del medi amb una importància significativa en molts àmbits del coneixement. Són indicadores de la quantitat i qualitat de l'aigua que hi ha emmagatzemada al subsòl. L'estudi del cabal i els paràmetres fisicoquímics de les fonts permet determinar les característiques de l'aigua subterrània i estudiar-ne l'evolució al llarg d'un període de temps, mitjançant la realització d'un balanç hídric.

El massís de les Guilleries forma part del gran aquífer granític Montseny-Guilleries que compta amb un gran nombre de fonts i amb unes condicions hidrometeorològiques que afavoreixen una elevada recàrrega subterrània. Amb l'escalfament global la precipitació mitjana anual que cau sobre el massís s'està reduint, i la temperatura mitjana està augmentant. Aquestes dues variables juntes porten a una reducció notable de l'aigua que s'infiltra al subsòl i que surt per les fonts.

Per tal de comprendre el funcionament hidrològic de les fonts de les Guilleries i determinar el seu estat actual, s'ha realitzat un balanç hídric conjunt de dotze fonts i les seves respectives conques de drenatge. També s'han estimat diferents escenaris de futur utilitzant les projeccions climàtiques de precipitació i temperatura previstes pel període 2031-2050, i diverses opcions pel que fa als tipus de cobertes del sòl.

Els resultats mostren que la correlació entre els cabals de les fonts i la precipitació és alta, però les temperatures i la distribució de les precipitacions també són factors importants, ja que influeixen en la quantitat d'infiltració que es produeix. Pel que fa als escenaris de futur s'observa un descens clar de l'aigua disponible per al subsòl respecte al període mitjà 1961-1990, sent lleugerament menor augmentant els espais oberts.

Aquests resultats permeten concloure que hi ha una clara relació entre el canvi en el règim hidrometeorològic produït per l'escalfament global i l'estat de les fonts i les masses d'aigua subterrània. Malgrat que aquesta disminució és inevitable sí que es pot mitigar lleugerament reduint les cobertes forestals i augmentant els espais oberts, reduint així l'evapotranspiració i guanyant infiltració.

RESUMEN

Las fuentes son elementos del medio ambiente con una importancia significativa en muchos ámbitos del conocimiento. Son indicadores de la cantidad y calidad del agua almacenada en el subsuelo. El estudio del caudal y los parámetros fisicoquímicos de las fuentes permite determinar las características del agua subterránea y estudiar su evolución a lo largo de un período de tiempo, mediante la realización de un balance hídrico.

El macizo de las Guilleries forma parte del gran acuífero granítico Montseny-Guilleries, que cuenta con un gran número de fuentes y con unas condiciones hidrometeorológicas que favorecen una elevada recarga subterránea. Con el calentamiento global, la precipitación media anual que cae sobre el macizo se está reduciendo, y la temperatura media está aumentando. Estas dos variables juntas llevan a una reducción notable del agua que se infiltra en el subsuelo y que sale por las fuentes.

Con el fin de comprender el funcionamiento hidrológico de las fuentes de las Guilleries y determinar su estado actual, se ha realizado un balance hídrico conjunto de doce fuentes y sus respectivas cuencas de drenaje. También se han estimado diferentes escenarios de futuro utilizando las proyecciones climáticas de precipitación y temperatura previstas para el período 2031-2050, y diversas opciones en cuanto a los tipos de coberturas del suelo.

Los resultados muestran que la correlación entre los caudales de las fuentes y la precipitación es alta, pero las temperaturas y la distribución de las precipitaciones también son factores importantes, ya que influyen en la cantidad de infiltración que se produce. En cuanto a los escenarios de futuro, se observa un descenso claro del agua disponible para el subsuelo en comparación con el período medio 1961-1990, siendo ligeramente menor con el aumento de espacios abiertos.

Estos resultados permiten concluir que existe una clara relación entre el cambio en el régimen hidrometeorológico producido por el calentamiento global y el estado de las fuentes y las masas de agua subterránea. Aunque esta disminución es inevitable, se puede mitigar ligeramente reduciendo las coberturas forestales y aumentando los espacios abiertos, reduciendo así la evapotranspiración y ganando infiltración.

ABSTRACT

Springs are elements of the environment with significant importance in many fields of knowledge. They are indicators of the quantity and quality of the water stored in the subsurface. The study of the flow rate and physicochemical parameters of springs allows for determining the characteristics of groundwater and studying its evolution over a period of time through the calculation of a water balance.

The Guilleries massif is part of the large Montseny-Guilleries granite aquifer, which has a large number of springs and hydro-meteorological conditions that favor high groundwater recharge. With global warming, the average annual precipitation falling on the massif is decreasing, and the average temperature is increasing. These two variables together lead to a significant reduction in the water that infiltrates the subsurface and comes out through the springs.

To understand the hydrological functioning of the Guilleries springs and determine their current state, a combined water balance of twelve springs and their respective drainage basins has been conducted. Different future scenarios have also been estimated using climate projections for precipitation and temperature for the period 2031-2050, along with various options regarding soil cover types.

The results show a high correlation between spring flow rates and precipitation, but temperatures and precipitation distribution are also important factors as they influence the amount of infiltration that occurs. As for the future scenarios, a clear decrease in water available for the subsurface compared to the average period of 1961-1990 is observed, with a slight decrease when open spaces increase.

These results lead to the conclusion that there is a clear relationship between the changes in the hydro-meteorological regime caused by global warming and the state of springs and groundwater bodies. Although this decrease is inevitable, it can be slightly mitigated by reducing forest covers and increasing open spaces, thus reducing evapotranspiration and increasing infiltration.

REFLEXIÓ SOBRE ÈTICA

D'acord amb la normativa marc reguladora del Treball de Fi de Grau (TFG) per als estudiants d'ensenyaments universitaris oficials de la Universitat de Girona aprovat pel Consell de Govern en la sessió 6/2012, de 26 de juliol (eBOU-368), i modificada pel Consell de Govern en la sessió 4/2020, de 18 de maig (eBOU-2018), s'ha citat seguint l'estil APA i en tot moment als autors dels articles científics consultats per la realització de l'estudi en qüestió; també es declara que en cap moment hi ha hagut plagi.

REFLEXIÓ SOBRE SOSTENIBILITAT

Un dels objectius del treball és estimar quin serà el règim hidrometeorològic futur i determinar si aplicant canvis en les cobertes del sòl es pot millorar la situació de pèrdua d'aigua. Aquest objectiu va alineat amb l'objectiu de desenvolupament sostenible (ODS) número 13, que consisteix en adoptar mesures urgents per a combatre el canvi climàtic i els efectes d'aquest, ja que permet actuar de manera preventiva sobre l'entorn recuperant els espais oberts, millorant així les reserves d'aigua a més de l'equilibri entre nínxols ecològics.

REFLEXIÓ SOBRE PERSPECTIVA DE GÈNERE

Pel que fa les qüestions de gènere, la memòria s'ha redactat d'acord amb guia de la Universitat de Girona per a un ús igualitari del llenguatge.

1 INTRODUCCIÓ

Les fonts són un element del medi amb una importància significativa en molts àmbits del coneixement. Formen part del patrimoni natural, ja que, a nivell ecològic, són ecotons, zones de transició entre les aigües superficials i subterrànies, que permeten l'aparició d'hàbitats molt específics (Springer i Stevens, 2009; Cantonati, *et al.* 2022). També són indicadores de la qualitat de l'aigua dels aqüífers que les alimenten, ja que qualsevol alteració en les aigües subterrànies es veu reflectida en el seu cabal o en la seva qualitat hidroquímica (Menció *et al.* 2018).

Durant les últimes dècades amb l'aparició de l'escalfament global les fonts s'estan convertint també en un bon indicador d'aquest canvi ambiental, tant a nivell ecològic com hidrològic (Cantonati *et al.* 2022). Aquest canvi ambiental està afectant el règim hidrometeorològic a molts punts del planeta, inclosa Catalunya, i està fent variar el règim hidrològic de les masses d'aigua subterrània i en conseqüència de les fonts que s'hi relacionen (Langhammer i Bernsteinová, 2020). Mitjançant les projeccions climàtiques elaborades per a les pròximes dècades (Calbó *et al.* 2016) i coneixent el comportament actual dels aqüífers, es pot estimar l'evolució i el comportament que aquests tindran en el futur.

Aquest comportament hidrològic es pot determinar mitjançant el balanç hídric que permet calcular la diferència entre les entrades i sortides d'aigua que es donen en aquell sistema per tal de determinar si hi ha guanys o pèrdues d'aigua. Els factors que intervenen de manera directa són: la precipitació, l'evapotranspiració, l'escolament superficial, i els fluxos d'aigua subterrània. També s'hi pot afegir el cabal que actua com una extracció neta del sistema (Menció *et al.* 2010). Com que l'evapotranspiració depèn de la temperatura, la radiació solar incident i les cobertes del sòl, fa que aquests paràmetres també siguin importants pel que fa a la realització del balanç (Turc, 1961; Zhang *et al.* 2001).

Actualment, en moltes zones del món, entre elles Catalunya, l'augment de temperatura i la disminució de la precipitació, combinades amb els canvis en usos i cobertes del sòl, i amb la creixent pressió deguda a extraccions, fan que el balanç hídric tendeixi a indicar una menor disponibilitat del recurs hídric subterrani. Això provoca una disminució dels fluxos de descàrrega (les fonts), i un empitjorament de la seva qualitat a causa de l'augment de la concentració dels contaminants (Menció *et al.* 2010; Stigter *et al.* 2022).

En aquesta situació determinar l'estat actual de l'aigua subterrània mitjançant l'anàlisi de diverses fonts i poder dur a terme una estimació de com evolucionaran les reserves d'aigua durant les pròximes dècades pot ajudar a fer canvis per preservar i utilitzar millor els recursos subterranis (Stigter *et al.* 2022).

El massís de les Guilleries presenta un clima humit amb precipitacions abundants i ben repartides al llarg de l'any amb màxims equinoccials (Martín-Vide *et al.* 2016). Juntament amb el Montseny, les Guilleries formen part de la unitat granítica del Montseny-Guilleries (ACA, 2002). Aquesta massa d'aigua subterrània es pot dividir en tres subunitats:

- Subunitat de sauló: és la més superficial i prové de la meteorització de la granodiorita. És un aqüífer de caràcter lliure.
- Subunitat de granit fissurat: situada per sota de la subunitat del sauló, aquesta no rep l'efecte de la meteorització i està fisurada a conseqüència de la complexitat de l'estructura tectònica. Presenta un caràcter lliure.
- Subunitat de granit fracturat: és la subunitat més profunda. Inclou les principals fractures del massís. Presenta un caràcter lliure a les zones de recàrrega, passant a confinat a les zones més profundes.

Aquestes característiques climatològiques i hidrogeològiques permeten una gran capacitat de recàrrega per part del terreny. L'aigua d'origen pluvial s'infiltra a través de tota la superfície del massís cap a la subunitat del sauló, i acaba sortint per les fonts d'origen més superficial o alimentant la subunitat del granit fissurat, que descarrega cap a l'aqüífer al·luvial quaternari de les rieres (sovint a través de fonts) o acaba alimentant la subunitat del granit fracturat. Aquesta última unitat és la que a través de fluxos profunds acaba alimentant els aqüífers geotermals de les depressions veïnes de la Selva i el Vallès (ACA, 2002; Folch i Mas-Pla, 2008; Vilanova *et al.*, 2008).

S'han identificat tres zones de recàrrega preferents dins l'aqüífer granític Guilleries-Montseny que presenten tres característiques comunes: volums i intensitat de precipitació elevats, gran extensió de la superfície de sauló amb una morfologia suau i un elevat grau d'alteració i de fissuració o fracturació. Aquestes zones són: la capçalera de la riera d'Arbúcies, l'àrea de Matagalls-Viladrau i l'àrea de Sant Hilari Sacalm (ACA, 2002). Les conques de les rieres que estan alimentades per aquestes tres zones de recàrrega són la conca de la riera d'Arbúcies, la conca de la riera Major i la conca de la riera d'Osor. Aquestes presenten una recàrrega mitjana d'entre 70 i 80 mm anuals cadascuna.

Al Montseny-Guilleries es coneixen centenars de fonts relacionades amb el drenatge de la unitat hidrogeològica de tipus granític. Als 18 municipis que s'integren al PN Montseny n'hi ha inventariades 563 (Farrerons i Corella, 2022), a Sant Hilari Sacalm 144 (Soler i Menció, 2018), una quarantena més a Vilanova de Sau i Sant Sadurní d'Osormort (Soler *et al.* 2022), i un nombre encara indeterminat a la resta de municipis del massís (Osor, Santa Coloma de Farners, Espinelves, etc).

Al municipi de Sant Hilari Sacalm la caracterització hidrogeològica separa les fonts en sis categories diferents: fonts en granitoides alterats i fracturats (1a), fonts relacionades amb dics (1c), fonts relacionades amb falles regionals (2), fonts en materials quaternaris (3), fonts derivades de captacions d'aigua superficial (4a) i fonts amb una qualificació hidrogeològica indeterminada (5) (Soler i Menció, 2018). La categoria (1) s'inclou dins el grup de fonts en roques cristal·lines (ígnies i metamòrfiques). La categoria (2) correspon a fonts en roques sedimentàries quaternàries. Finalment, la categoria (3) s'inclou dins el grup de les fonts en sediments quaternaris (Soler *et al.* 2022). (Figura 1).

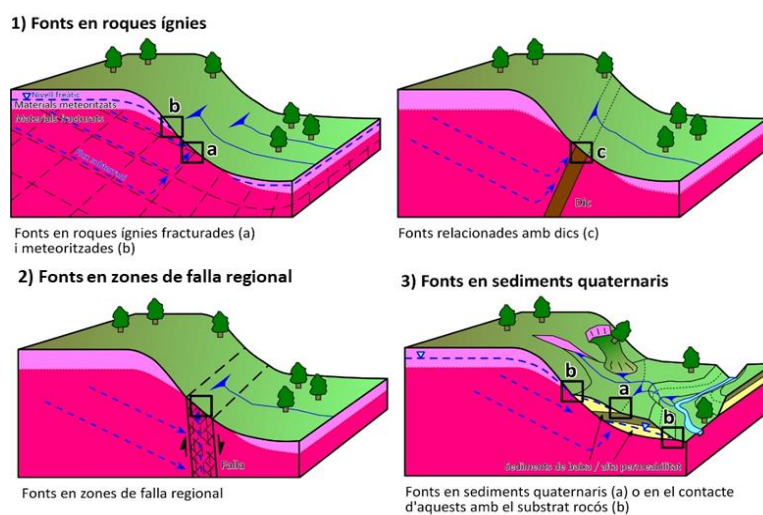


Figura 1. Tipus hidrogeològics de fonts diferenciats en aquest treball (Soler *et al.* 2022).

OBJECTIVES

The main objectives of this study are to understand the hydrogeological functioning of a representative set of springs in the Guilleries region (in the municipality of Sant Hilari Sacalm), their current relationship with climatology, land cover, and groundwater recharge-discharge, and to estimate how these relationships may evolve in the future in the face of global warming scenarios.

To achieve this objective, the following subdivisions have been made:

- Carry out periodic hydrological monitoring of several natural springs in the municipality.
- Characterize the hydrogeological functioning of the springs and their relationship with the hydro-meteorological regime.
- Delimit the surface and subsurface recharge area of each spring.
- Quantify the monthly water balance of the springs' drainage basin.
- Simulate how future hydro-meteorological regimes and land cover changes will affect the springs and their respective aquifers.

3. METODOLOGIA:

La metodologia que s'ha seguit per a la realització d'aquest treball s'ha estructurat en els diferents apartats:

3.1 La zona d'estudi

El municipi de Sant Hilari Sacalm està situat a la comarca de la Selva dins la província de Girona a l'extrem nord-est de la Serralada Prelitoral dins el massís de les Guilleries. L'orografia del terme és muntanyosa, amb elevacions compreses entre els 350 i els 1200 m. La temperatura mitjana anual és de 12 °C i la precipitació total de 960 mm (període 1961-1990) (ICC, 1996).

Gran part del municipi està cobert per massa forestal, on se'n diferencien dues tipologies de vegetació. A les zones de muntanya baixa i mitjana, i als vessants assolats hi dominen l'alzina, el suro i els pins. A les zones més elevades i a les vessants obagues hi dominen les rouredes, castanyedes i fagedes. Prop de les rieres s'hi pot trobar la típica vegetació de ribera (CCSelva, 2016a i 2016b). Els espais oberts siguin clarianes o zones cultivades són poc abundants, aquestes últimes solen ser de tipus herbaci (CREAF, 2013).

La zona de Sant Hilari s'inclou en el nucli de roques ígnies que conformen la major part del massís. A l'àrea on se situen les fonts, els materials rocosos són diferents tipus de granitoides: granodiorites (a la major part del terme) i monzogranits (nord del terme, a la vall de la riera d'Osor). Aquests estan travessats per un conjunt molt nombrós i dens de dics i petits plutons de composició diversa, on predominen els pòfirs i els leucogranits. Tots aquests materials presenten un elevat grau de meteorització (més intens a les granodiorites), i de fracturació-fissuració (sobretot els monzogranits i els dics) (Culí *et al.* 2020).

3.2 Fonts estudiades

Des del mes de març de 2021, la Càtedra de l'Aigua, Natura i Benestar (UdG i UVic-UCC) porta a terme un seguiment hidrològic de dotze fonts del municipi de Sant Hilari Sacalm, amb una periodicitat mensual (Taula 1). Aquest treball en recull els resultats fins al maig de 2023.

S'han escollit aquestes dotze fonts, ja que provenen de punts de surgència natural (malgrat tenir un cert condicionament artificial que permet recollir la surgència en un punt i que surti a través d'un broc), en la majoria dels casos el seu flux és continuat durant els períodes de sequera a la seva conca d'alimentació i no presenten cap mena de captació d'origen antròpic, sent així fonts amb un baix grau de pertorbació antròpica.

S'han seleccionat aquestes fonts (Taula 1) per tal dur-ne a terme el seu balanç hídric. Per a cada font s'ha delimitat la seva conca de drenatge (Figura 2), que correspon essencialment a

la conca de drenatge superficial situada per sobre del punt de surgència, amb algunes modificacions que tenen en compte les característiques geològiques del terreny que poden condicionar el flux d'aigua subterrània cap a la font (dics i zones de fractura, o dipòsits sedimentaris). A la taula 1 es pot observar la superfície de la zona de recàrrega de cada font.

Taula 1. Coordenades UTM (31N, ETRS89) i altitud sobre el nivell del mar de les dotze fonts estudiades. També s'hi pot veure el seu tipus hidrogeològic i la superfície de la seva conca de drenatge.

Nom de la Font	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitud (m)	Tipus hidrogeològic
Abeuradors	462590	4639212	925	3
Arç	455744	4636122	953	1ab
Brunyoler	459060	4639146	693	3
Ferro	459704	4635988	798	1ab-2
Gavatx	460864	4639440	794	1ab-2
Gurb	456982	4636772	941	1ab
Illes	459522	4640794	653	3
Jové	458897	4636821	814	1ab
Mina de l'Ariet	460403	4635870	794	1ab
Sefa	460552	4636477	721	1ab
Sant Daniel	459786	4640003	662	3
Sant Roc	459636	4639608	682	3

Cada font compta amb un comportament hidrològic particular. Els factors que poden afectar el comportament d'aquesta són: les característiques hidrològiques del subsòl, la mida de la conca de drenatge, les cobertes del sòl que presenta en superfície i el tipus d'instal·lació que presenta cada font. Aquesta heterogeneïtat de factors permet englobar els diferents comportaments que presenta el flux de la font i trobar un punt mitjà que sigui prou representatiu de com actuen aquestes fonts al municipi de Sant Hilari Sacalm.

Pel que fa a la geologia del subsòl les dotze fonts són força similars, ja que comparteixen les característiques comunes que presenta el municipi. Tot i així el seu tipus hidrogeològic és divers (Taula 1).

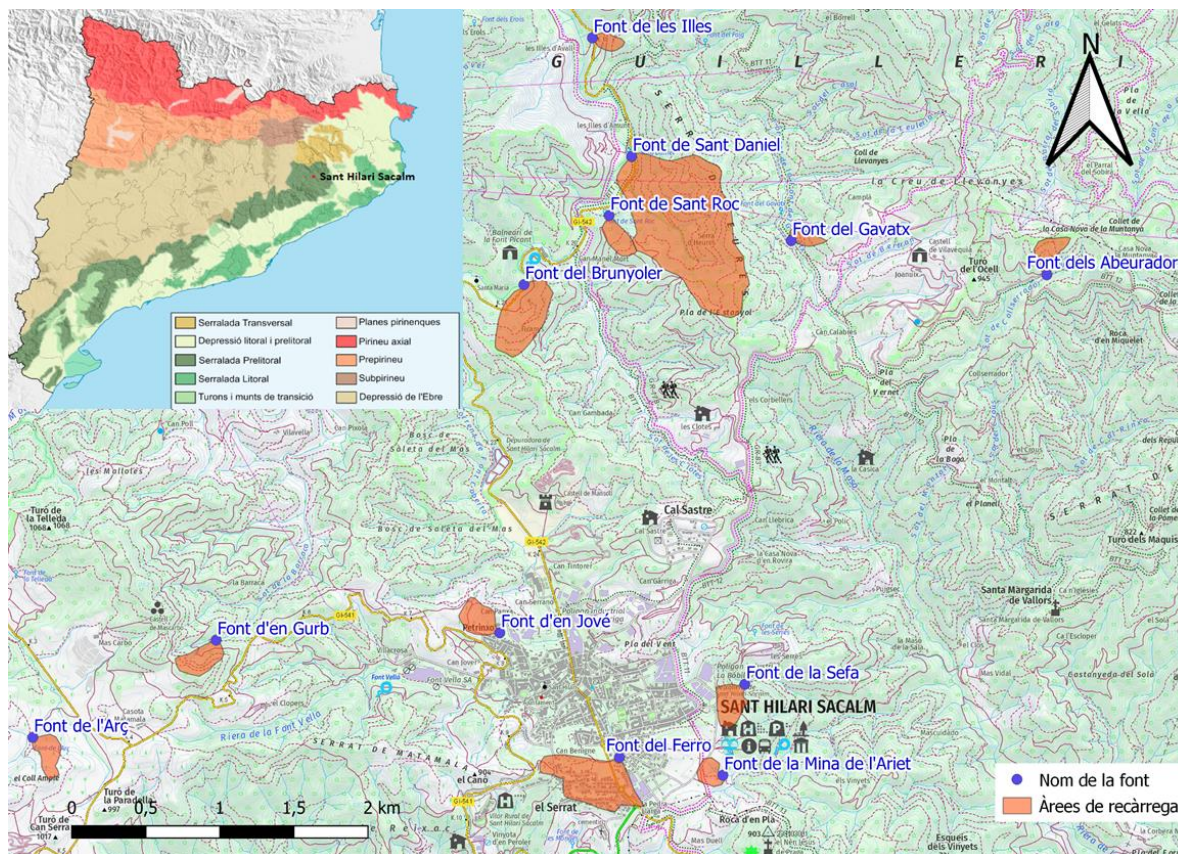


Figura 2. Mapa de Catalunya amb les principals unitats del relleu físic i la ubicació de Sant Hilari Sacalm i mapa amb la ubicació de les dotze fonts seleccionades i les seves conques de drenatge per a la realització del balanç hídric.

La mida de la conca indica el temps de resposta de l'aigua des que entra a l'aquífer fins que aquest respon amb un canvi de cabal a la font i la mida del flux que aquesta tindrà.

Les cobertes del sòl indiquen si hi ha presència o no de vegetació, de quin tipus és aquesta, si hi ha edificacions, etc. Aquest factor és clau a l'hora de determinar l'evapotranspiració, necessària per calcular el percentatge d'aigua que es pot acabar infiltrant cap al subsòl.

Finalment, el tipus d'instal·lació que presenta cada font determina, juntament amb la mida de la conca i les seves característiques hidrològiques, com evolucionarà el cabal de cada font donades unes condicions meteorològiques molt similars en tota la zona d'estudi.

Totes les fonts presenten un dipòsit, la diferència és que alguns dipòsits són molt petits i simplement recullen l'aigua i mitjançant un tub la porten al broc de la font. En aquest cas el flux de la font pràcticament no es veu alterat (per exemple la font de les Illes). En canvi, hi ha fonts que presenten dipòsits més grans que van acumulant l'aigua i fan que el flux d'aquesta sigui molt més constant, ja que el dipòsit actua com a regulador (per exemple la font de la Mina de l'Ariet).

3.3 Treball de camp (campanyes de seguiment hidrològic)

La campanya de camp d'aquest treball de fi de grau s'ha realitzat entre els mesos de novembre del 2022 i maig del 2023. A aquest període cal sumar-li les campanyes realitzades durant les pràctiques d'empresa d'abril a agost de 2022 i les que ha dut a terme la Càtedra de l'Aigua des de març del 2021 a juliol del 2022, a més dels mesos de setembre i octubre del mateix any. Deixant com a resultat un període de seguiment de vint-i-set mesos, de març del 2021 a maig del 2023.

Cada campanya s'ha realitzat un dia a final de mes on s'anava a les dotze fonts en una sola jornada. S'han pres mostres mensuals del cabal, pH, oxigen dissolt, conductivitat i temperatura de les dotze fonts. Per mesurar el cabal (expressat en L/min) s'ha fet ús d'una proveta de 2 L i un cronòmetre, realitzant d'una a cinc rèpliques en funció de la magnitud de cabal de la font mesurada. El valor final correspon amb el valor mitjà de les rèpliques dutes a terme. A les fonts amb dos brocs, el cabal total és la suma del cabal parcial mitjà de cada broc.

Per mesurar la conductivitat elèctrica (CE) (expressada en $\mu\text{S/cm}$) s'ha utilitzat el conductímetre de camp model Crison CM35, pel pH s'ha utilitzat un pH-metre de camp HANNA HI 98190, i per l'oxigen dissolt (OD), en concentració (expressada en mg/L) i en percentatge de saturació s'ha utilitzat l'oxímetre de camp XS Vio 7. Amb les tres sondes s'ha mesurat també la temperatura (T).

3.4 Obtenció de dades meteorològiques

S'han recollit dades de l'estació meteorològica de Sant Hilari Sacalm penjades a la web de Meteoguilleries (www.meteoguilleries.cat) que presenta un recull de les dades diàries, mensuals i anuals.

Les dades recollides han estat la precipitació (mm), la temperatura mitjana ($^{\circ}\text{C}$), i la radiació solar incident (W/m^2). Totes a escala diària, mensual i anual. S'han recollit dades del període comprès entre març del 2021 i maig del 2023.

3.5 Balanç hídric

El balanç hídric s'ha dut a terme per determinar la relació temporal entre la climatologia i el flux de les fonts, i per estimar la magnitud de la recàrrega subterrània.

A l'hora de realitzar el balanç hídric del global de la superfície de les conques de drenatge s'ha utilitzat la següent equació que contempla les entrades i sortides d'aigua al sistema hidrogeològic definit per la conca de drenatge de cada font (eq.1) (Zhang et al 2001):

$$P = ETR + R + D + \Delta S \quad (\text{eq.1})$$

On P és la precipitació, la ETR és l'evapotranspiració real, R és l'escolament superficial, D és el cabal que surt per les fonts i ΔS és el canvi que es produeix en l'emmagatzematge d'aigua al subsòl. Tots els paràmetres de l'equació estan expressats en (m^3/mes), ja que el balanç hídric s'ha realitzat a escala mensual.

El balanç hídric s'ha realitzat considerant les àrees de recàrrega de les dotze fonts com una única àrea de recàrrega sumant les dotze superfícies i respectant el percentatge de superfície que aporta cada font al total. (Taula 2).

Taula 2. Superfície de la conca de drenatge de les dotze fonts expressada en *ha* i en percentatge ocupat respecte el total.

Nom de la Font	Superfície (ha)	Percentatge respecte el total (%)	Nom de la Font	Superfície (ha)	Percentatge respecte el total (%)
Abeuradors	3,42	2,86%	Illes	1,75	1,47%
Arç	3,67	3,07%	Jové	4,50	3,76%
Brunyoler	12,65	10,58%	Mina de l'Ariet	2,45	2,05%
Ferro	16,27	13,61%	Sefa	4,71	3,94%
Gavatx	1,82	1,52%	Sant Daniel	60,35	50,49%
Gurb	4,60	3,85%	Sant Roc	3,35	2,80%
			Total	119,54	100%

També s'assumeix que l'única entrada d'aigua és mitjançant la precipitació sobre cada conca, ja que s'ha fet l'assumpció que no existeixen fluxos subterranis significatius entre una conca i les adjacents. Aquesta assumpció es recolza en l'homogeneïtat de la geologia de la zona i en què el relleu muntanyós condiciona els fluxos descendents en el mateix sentit que la topografia. Aquestes característiques no afavoreixen l'intercanvi lateral de fluxos subterranis entre conques de drenatge. Tot i això, hi ha zones que presenten característiques que poden

indicar algun flux subterrani procedent d'un àmbit més ampli que la pròpia conca de drenatge superficial de la font (per exemple la font de Sant Daniel, amb sediments de terrassa fluvial connectats amb una àrea més extensa), i en aquestes, ja s'ha tingut en compte aquest fet a l'hora de dibuixar les conques de drenatge.

A partir d'aquí s'ha calculat cadascun dels paràmetres de manera individual per finalment arribar a obtenir ΔS . Per fer-ho s'ha seguit la subdivisió següent:

- **Precipitació (P):** s'han utilitzat les dades de l'estació meteorològica de Sant Hilari Sacalm en mm/mes i posteriorment s'ha transformat a m^3/mes .
- **Evapotranspiració real (ETR):** s'ha calculat mitjançant l'equació (eq.2) en mm/mes (Zhang et al 2001) i posteriorment s'ha transformat a m^3/mes .

$$ETR = \frac{1+w\frac{ETP}{P}}{1+w\frac{ETP}{P} + (\frac{ETP}{P})^{-1}} * P \quad (\text{eq.2})$$

La ETR representa l'evapotranspiració real expressada en mm/mes , w és el coeficient d'aigua disponible per a les plantes que varia en funció de la vegetació (Zhang *et al.*, 2001), la P representa la precipitació expressada en mm/mes, i l'ETP representa l'evapotranspiració potencial expressada en mm/mes.

- **Evapotranspiració potencial (ETP):** s'ha calculat mitjançant l'equació de Turc (eq.3) (Turc, 1961; Shahidian et al., 2012) adequada per a humitats relatives superiors al 50%, expressada en mm/mes:

$$ETP = \alpha * ((23,9001Rs) + 50) * \left(\frac{T}{T+15}\right) \quad (\text{eq.3})$$

On α és 0,01333, Rs és la radiació solar mitjana diària expressada en $MJ/m^2 dia$ i T és la temperatura mitjana diària expressada en $^{\circ}C$.

- **Coefficient d'aigua disponible per a les plantes (w):** per calcular-lo s'han sobreposat les conques de drenatge amb el mapa de cobertes del sòl (Figura 3).

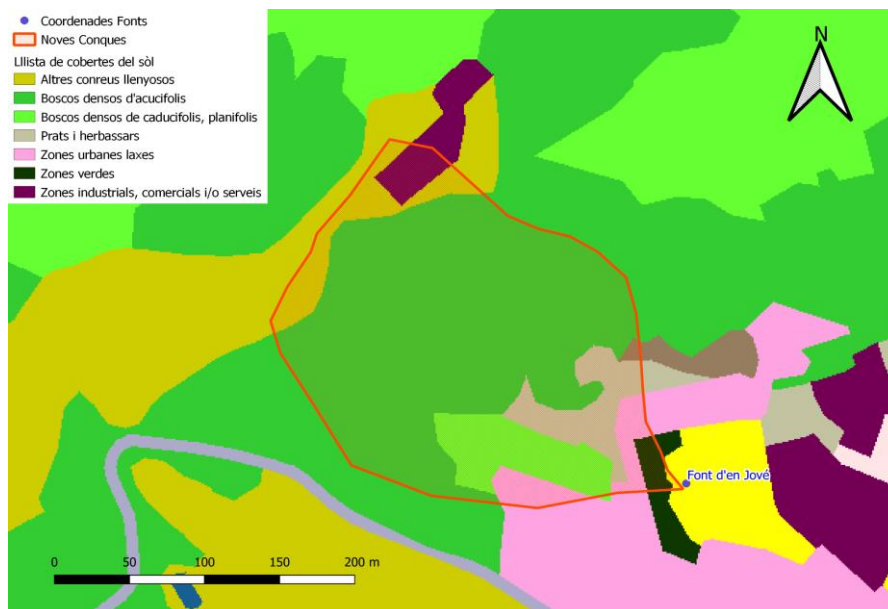


Figura 3. Mapa de la conca de drenatge de la font d'en Jové, amb les cobertes del sòl pertinents.

A cada coberta se li ha assignat un valor w (Taula 3) i s'ha calculat el percentatge de representació de cada coberta respecte a la superfície total de cada conca. D'aquesta manera s'han obtingut els valors w de les dotze conques, per finalment obtenir així un valor w definitiu per a tota l'àrea d'estudi, tenint en compte el percentatge que té cada conca respecte al total (Taula 2). El valor w obtingut és de 1,49.

Taula 3. Valors del coeficient d'aigua disponible per a les plantes (w) representatiu de les cobertes del sòl a Sant Hilari Sacalm (Mas-Pla *et al.* 2016; Soler i Menció, 2018).

Coberta del sòl	Coeficient w
Conreus herbacis, horta, vivers, conreus forçats i conreus llenyosos	1,5
Prats i herbassars	1
Boscós	1,75
Matollars	0,5
Terrenys sense vegetació, zones industrials i xarxa viària	0
Zones urbanes laxes i edificacions aïllades en l'espai rural	0,3

- **Escolament superficial (R):** s'ha calculat aplicant un coeficient d'escolament (CES) determinat a la precipitació. S'ha calculat en mm/mes i posteriorment s'ha transformat a m^3/mes (Merz *et al.* 2006).

Per determinar aquest CES s'han agafat les dades de l'estació d'aforament de la riera d'Osor al municipi d'Anglès (ACA, <https://aplicacions.aca.gencat.cat/sdim21>) corresponents al període d'estudi. S'ha escollit l'estació d'aforament de la riera d'Osor perquè deu de les dotze fonts estudiades estan situades a la seva conca de drenatge. Això fa que el cabal de la riera sigui una bona dada per tal d'observar com afecten aquest cabal les precipitacions caigudes sobre la zona estudiada. La distribució dels pics temporals de cabal a la riera s'ha correlacionat amb els diferents episodis de precipitació. Combinant l'evolució del cabal de la riera juntament amb els dies (sigui un sol dia, o la suma de diversos consecutius) on la precipitació ha estat de 10 o més, s'ha pogut determinar el CES de cada episodi.

Per determinar els episodis de precipitació s'ha pres el mètode descrit a on es marca com a inici de l'episodi el moment on el cabal de la riera és més baix (abans de la precipitació) i es marca com a fi de l'episodi quan el cabal de la riera recupera el cabal basal (encara que sigui lleugerament superior al de l'inici de l'episodi).

El valor de CES que s'ha pres de referència és de $0,42 \pm 0,2$ pels episodis de 10 a 80mm, i de $0,54 \pm 0,16$ pels episodis de més de 80mm (on a menor P més baix és el CES, amb un mínim de 0,22 en un episodi de 10mm). El CES escollit és el de la Regió Alpina del Nord a Àustria, on les característiques de densitat forestal, pendents, i altitud sobre el nivell del mar són similars a les de Sant Hilari Sacalm (Merz et al, 2006). Tenint en compte que per als episodis de menys de 10 mm s'assumeix un CES nul o molt pròxim a zero, els valors obtinguts són coherents amb els valors mitjans anuals de CES proposats per al Montseny-Guilleries, que són de 0,18-0,38 (ACA, 2002).

Una vegada obtinguts els diferents CES s'han calculat els valors R de cada episodi, i en els mesos que ha estat necessari, s'han sumat els valors dels diversos episodis per tal d'obtenir el valor R mensual. (Taula 4).

Taula 4. Exemple dels episodis de precipitació (P) del mes d'agost de 2022 amb els seus respectius coeficients d'escolament (CES) i els valors escolament superficial (R) per a cada episodi i pel total del mes.

Mes	Nombre d'episodi	P episodi (mm)	CES	R episodi (mm/episodi)	R mes (mm/mes)
Agost 2022	Episodi 1 (5-7/08)	13,6	0,23	3,13	16,41
	Episodi 2 (17-19/08)	22,9	0,27	6,18	
	Episodi 3 (25-31/08)	25,6	0,28	7,17	

També cal comentar que quan un episodi s'ha donat entre dos mesos s'han repartit el CES en funció de la pluja que hagi caigut cadascun dels dies.

- **Cabal (D):** és la suma expressada en m^3/mes del cabal mitjà de les dotze fonts estudiades. Per determinar el cabal mitjà de cada font s'ha fet la mitjana del cabal del mes estudiat i l'anterior.
- **Canvi en l'emmagatzematge d'aigua al subsòl (ΔS):** s'ha calculat a partir del balanç hídric, expressat en m^3/mes . ΔS és el paràmetre que permet determinar si les conques de drenatge estan guanyant o perdent aigua subterrània. L'acumulació de ΔS al llarg dels mesos determina com evolucionen les reserves d'aigua de la conca al llarg d'un període.

Cal destacar que en el càlcul del balanç, la resta de $P-ETR-R$ fa referència a la part superficial d'aquest i no pot donar negativa, ja que $ETR+R$ (la sortida d'aigua) no pot ser més gran que P (l'entrada d'aigua). Per tant, la R es veurà limitada a la quantitat d'aigua que queda de la resta $P-ETR$, fent així que el valor més baix que pugui donar sigui zero.

3.6 Escenaris de futur

Un cop realitzat el balanç hídric per les dades del període estudiat (de març de 2021 a maig de 2023), s'ha fet el mateix amb el període de control 1961-1990, per després poder estimar el període 2031-2050 sota quatre escenaris de variació. S'han utilitzat les dades de temperatura, precipitació i radiació solar mitjanes d'aquell moment. (ICC, 1996). El coeficient d'escolament s'ha calculat a escala mensual, en comptes de fer-ho per episodi, a causa de la falta de dades de precipitació diària i de cabal de la riera d'Osor aquest període. Com que tampoc es tenen dades de cabal de les fonts, el valor a calcular és la suma $\Delta S+D$ que permet saber la quantitat mensual d'aigua disponible per a la infiltració i pels cabals, i observar la tendència que presenta al llarg de l'any.

Aquest valor anual de $\Delta S+D$ és comparable tant amb la situació del període estudiat com amb els quatre escenaris futurs que s'expliquen a continuació.

Per estimar el balanç hídric corresponent als escenaris de futur, s'han agafat els valors de temperatura i precipitació mitjana del període 1961-1990 (Taula 5) i se'ls han aplicat les projeccions climàtiques descrites al tercer informe del canvi climàtic pel període 2031-2050 per a la zona del Litoral-Prelitoral de Catalunya (Taula 6) (Calbó *et al.* 2016). Cal destacar que l'informe agafa com a període de referència, el de 1971-2000. Per tant, abans d'aplicar les projeccions s'ha calculat la mitjana d'aquest període utilitzant les dades proporcionades a (Martín-Vide *et al.* 2016). L'altre variable que s'ha modificat és el percentatge de cada tipus de coberta del sòl, suposant un canvi relatiu en la distribució entre masses boscoses i espais

oberts no boscosos, fet que es pot relacionar amb diferents models de gestió forestal aplicats en el futur al territori. Aquest canvi repercuteix directament al paràmetre w.

Taula 5. Exemple de com s'ha calculat la precipitació i la temperatura mitjana del període 1971-2000.

	Període 1961-1990		Variació del període 1961-1970 al 1991-2000		Període 1971-2000	
Mes	P (mm)	T (°C)	ΔP (mm)	ΔT (°C) 61-70	P (mm)	T (°C)
Gener	60	4	-1,9%	0,69	58,86	4,2

Taula 6. Variació de la precipitació i la temperatura per les quatre estacions de l'any: hivern (H), primavera (P), estiu (E) i tardor (T), juntament amb el percentatge de cada coberta del sòl i el seu paràmetre w, per als quatre escenaris de futur estimats.

Període 2031-2050	Variació de precipitació (%)				Variació de temperatura (°C)				Cobertes del sòl (%)			
	H	P	E	T	H	P	E	T	Espais oberts	Espais forestals	Resta	w
Escenari 1	-6,0	-12,0	-11,7	-9,1	1,2	1,2	1,8	1,4	10,0	80,0	10,0	1,49
Escenari 2	-6,0	-12,0	-11,7	-9,1	1,2	1,2	1,8	1,4	5,0	85,0	10,0	1,55
Escenari 3	-6,0	-12,0	-11,7	-9,1	1,2	1,2	1,8	1,4	20,0	70,0	10,0	1,37
Escenari 4	-40,2	-37,5	-33,8	-30,2	1,9	2,2	2,5	2,1	10,0	80,0	10,0	1,49

Als tres primers escenaris s'han utilitzat les mateixes projeccions climàtiques (el valor mitjà del període 2031-2050) i el què varia són les cobertes del sòl. A l'escenari 1, es mantenen els mateixos percentatges d'espais oberts, espais forestals i resta que en l'actualitat. A l'escenari 2 es redueixen els espais oberts a la meitat i al seu lloc augmenten els espais forestals. A l'escenari 3 es doblen els espais oberts en detriment dels espais forestals. Finalment, a l'escenari 4, es mantenen les mateixes cobertes del sòl, i el què canvia són les projeccions climàtiques, escollint el percentil 95, on més augmenta la temperatura i més es redueix la precipitació, simulant així un escenari extrem.

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1 Físicoquímica de les aigües

Les fonts estudiades presenten totes característiques físicoquímiques similars i que varien molt poc al llarg del període observat. A la taula 7 es pot veure com tots els valors de conductivitat estan compresos entre 100 i 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, excepte la de la font d'en Jové que la supera per poc amb 536 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Això indica que són aigües són de baixa mineralització. Aquesta baixa mineralització suggereix temps de trànsit breus i una baixa interacció aigua-roca, típica de les aigües de fluxos superficials i poc profunds de l'aqüífer Montseny-Guilleries (ACA, 2002).

Pel que fa al pH, són aigües circumneutres, amb un pH al voltant de 7, sent més àcides les fonts del Ferro, del Gavatx i de l'Arç, i lleugerament bàsiques les fonts de Sant Daniel, del Brunyoler i de les Illes. La font del Ferro i la font del Gavatx presenten zones de fractura i aquestes aporten gas CO_2 d'origen endogen. Les fonts de Sant Daniel, del Brunyoler i de les Illes es relacionen amb trànsit per sediments al·luvials.

Taula 7. Mitjana i desviació estàndard dels valors de conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH i oxigen dissolt (mg/L) de les dotze fonts mostrejades.

Nom de la Font	Conductivitat (μS)	pH	Oxigen dissolt (mg/L)
Abeuradors	109,6 \pm 6,34	6,9 \pm 0,71	6,0 \pm 1,37
Arç	156,8 \pm 16,34	6,7 \pm 0,65	5,4 \pm 1,46
Brunyoler	180,1 \pm 13,02	7,4 \pm 0,65	6,8 \pm 1,64
Ferro	282,8 \pm 31,77	6,4 \pm 0,57	2,5 \pm 1,56
Gavatx	115,3 \pm 5,76	6,6 \pm 0,51	4,9 \pm 1,64
Gurb	130,1 \pm 6,22	7,0 \pm 0,52	6,4 \pm 1,63
Illes	100,6 \pm 11,06	7,4 \pm 0,87	8,3 \pm 1,42
Jové	536,4 \pm 23,67	6,9 \pm 0,60	4,5 \pm 1,13
Mina de l'Ariet	253,9 \pm 23,30	6,8 \pm 0,81	6,7 \pm 1,79
Sefa	333,4 \pm 28,91	7,3 \pm 0,47	7,2 \pm 1,66
Sant Daniel	224,0 \pm 27,61	7,7 \pm 0,43	8,1 \pm 1,46
Sant Roc	147,8 \pm 23,29	7,2 \pm 0,49	8,1 \pm 1,62

L'oxigen és el paràmetre que mostra més diferències entre fonts (2-8mg/L), i que a la vegada més oscil·la al llarg del temps amb variacions de l'ordre del 20-30%. Cal destacar les fonts del Ferro, del Gavatx i d'en Jové que presenten un valor de menys de 5mg/L, indicant un major període de residència subterrània i menys temps de retenció als dipòsits d'acumulació. Les fonts de les Illes, de Sant Daniel i de Sant Roc tenen un valor de més de 8mg/L, indicant un menor període de residència subterrània i més temps de retenció als dipòsits d'acumulació.

4.2 Cabal de les fonts

Les dotze fonts es poden dividir quatre grups en funció del comportament dels fluxos al llarg del període estudiat.

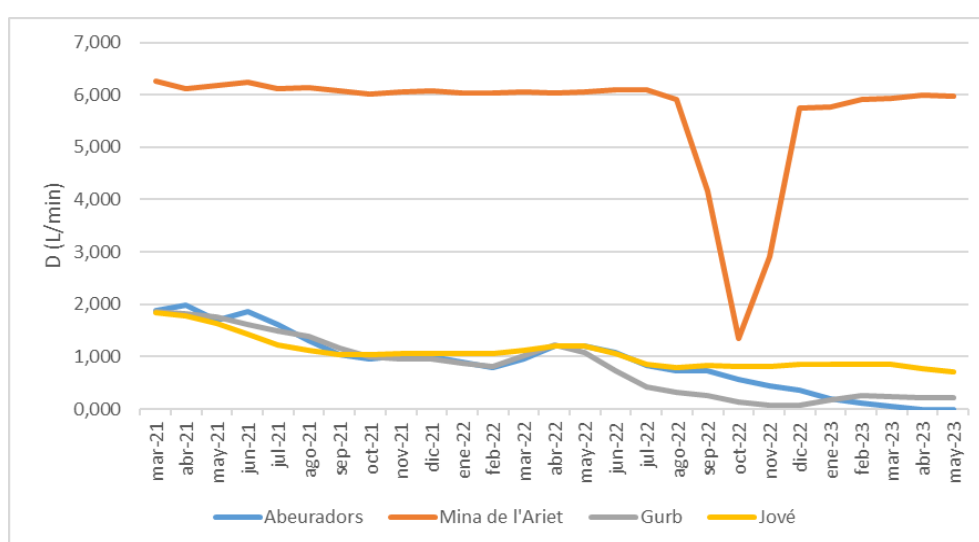


Figura 4. Perfil de l'evolució del cabal (D) expressat en (L/min) al llarg del període estudiat de les fonts incloses al grup 1. Aquestes són: la font dels Abeuradors, la font de la Mina de l'Ariet, la font d'en Gurb i la font d'en Jové.

El grup 1 correspon a les fonts que presenten un cabal amb tendència estable que són la dels Abeuradors, la de la Mina de l'Ariet, la d'en Gurb i la d'en Jové (Figura 4). Tot i això, s'observa un descens progressiu en totes, fins al punt que la font dels Abeuradors ha quedat eixuta. L'única font que es manté estable és la de la mina de l'Ariet. La davallada sobtada d'aquesta font d'agost a desembre de 2022 és provocada per un embossament del tub que connecta el dipòsit amb el broc de la font, ja que a partir del gener del 2023 ha recuperat el seu comportament habitual. Aquesta font és la més estable de totes, ja que el dipòsit que reté l'aigua és prou gran per absorbir les oscil·lacions de la recàrrega subterrània. Les fonts d'aquest grup són un bon indicador de com han evolucionat els cabals a nivell general durant el període estudiat.

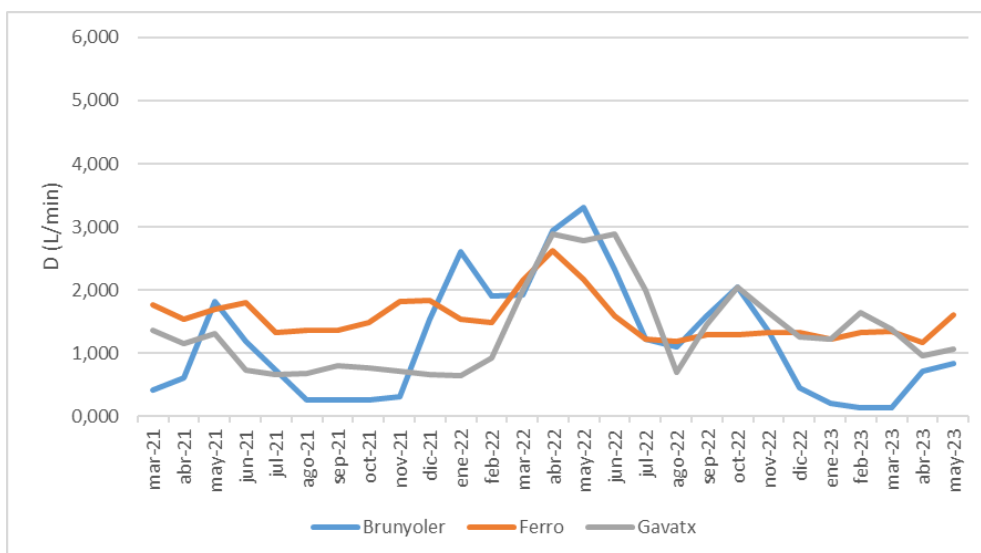


Figura 5. Perfil de l'evolució del cabal (D) expressat en (L/min) al llarg del període estudiat de les fonts incloses al grup 2.

El grup 2 correspon a les fonts que presenten un cabal amb una influència pluvial feble que són la del Brunyoler, la del Ferro i la del Gavatx (Figura 5). La font del Ferro és la que presenta una tendència més estable, però no tant com les del grup 1. La font del Brunyoler és la més influïda per les precipitacions dins d'aquest grup, estant propera a assecat-se en dues ocasions degut a que té un cabal de base més baix. Les tres fonts presenten un cert pic els mesos d'abril i maig de 2022.

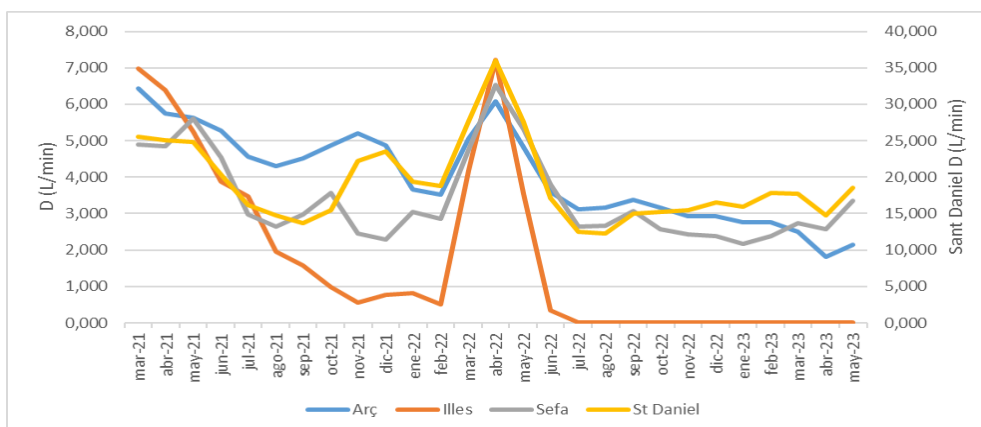


Figura 6. Perfil de l'evolució del cabal (D) expressat en (L/min) al llarg del període estudiat de les fonts incloses al grup 3. Aquestes són: la font de l'Arç, la font de les Illes, la font de la Sefa i la font de Sant Daniel.

El grup 3 correspon a les fonts que presenten un cabal amb una influència pluvial forta que són la de l'Arç, la de les Illes, la de la Sefa i la de Sant Daniel (Figura 7). Les quatre fonts presenten un pic molt significatiu el mes d'abril de 2022, a més d'una tendència de base al descens de cabals durant el període d'estudi. La font de les Illes és eixuta des del juliol del

2022 fins al final del període estudiat (maig de 2023). D'aquest grup la de les Illes és la més vulnerable de totes a la sequera a causa de la reduïda mida que presenta la seva conca (Taula 2).

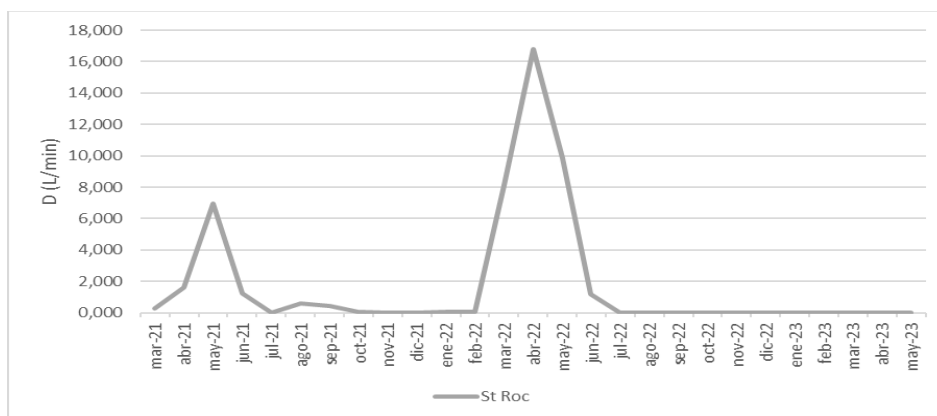


Figura 7. Perfil de l'evolució del cabal (D) expressat en (L/min) al llarg del període estudiat de la font inclosa al grup 4, la font de Sant Roc.

El grup 4 correspon a les fonts que presenten un cabal completament controlat per la pluviometria. L'única font d'aquesta categoria és la font de Sant Roc que està seca durant la majoria dels mesos i presenta un pic molt marcat l'abril del 2022.

La figura 8 mostra la síntesi de cabal conjunt de les dotze fonts en relació amb la pluviometria mensual. Les oscil·lacions de cabal van lligades a la pluviometria, els increments més marcats van lligats a més precipitacions, amb un temps de resposta de les fonts de l'ordre d'un mes.

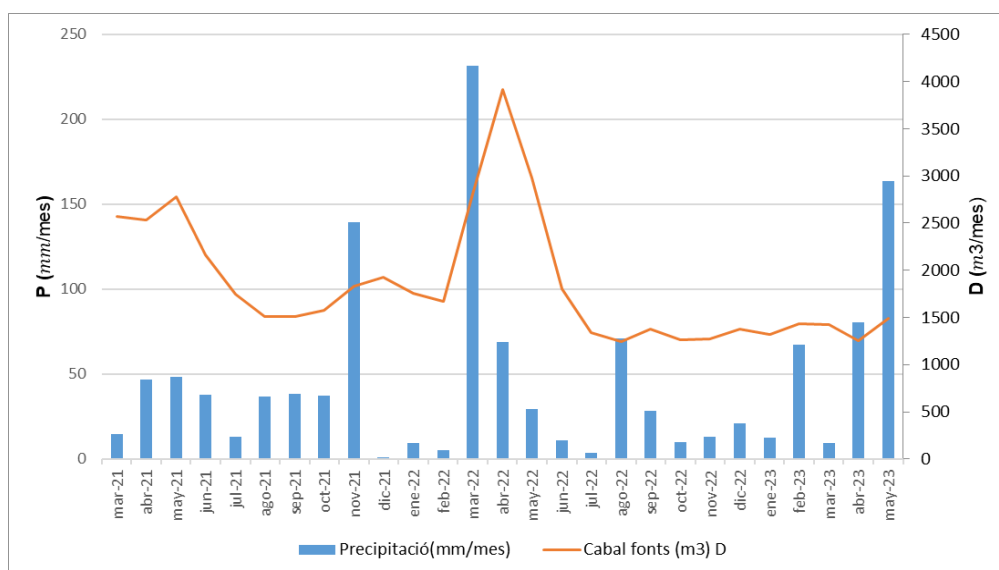


Figura 8. Gràfic que mostra l'evolució del cabal (D) expressat en (m^3/mes) juntament amb la precipitació mensual expressada en (mm/mes).

El pic que s'observa a les figures 5, 6 i 7 coincideix amb un mes de març de 2022 extremadament plujós amb més de 200 mm com es pot observar a la figura 8, evidenciant aquesta relació entre la precipitació i el cabal. Tot i així, es pot veure com mesos amb una alta pluviometria (novembre de 2021 o maig de 2023) no porten associat un pic de cabal tan marcat. Això és així perquè l'evapotranspiració, l'escolament superficial i l'aigua emmagatzemada en el subsòl també afecten aquesta relació entre la precipitació i el cabal com detalla l'equació del balanç hídric.

4.3 Balanç hídric mensual de les fonts

En el càlcul del balanç hídric mensual conjunt per a les 12 fonts s'han tingut en compte les dades mensuals de precipitació, evapotranspiració i T del període estudiat (Figura 9), així com les d'escolament superficial i cabal surgent de les fonts.

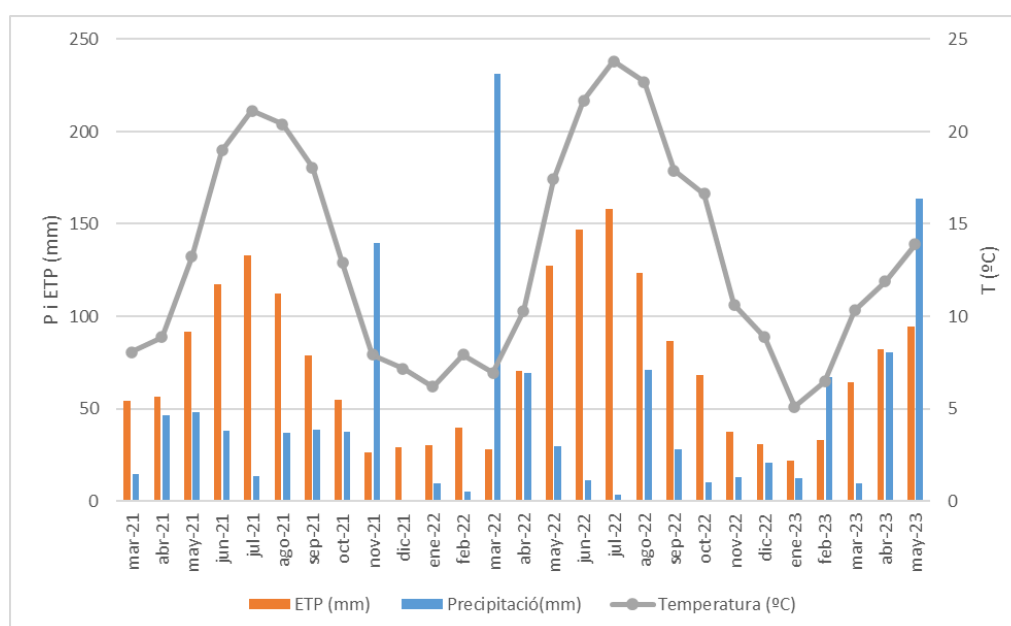


Figura 9. Gràfic que mostra la precipitació (P) i l'evapotranspiració potencial (ETP) mensuals expressades en (mm/mes). També mostra la temperatura (T) mensual expressada en °C.

Les precipitacions són irregulars amb alguns mesos amb valors molt elevats i d'altres amb valors propers a zero. Les temperatures són elevades, cosa que fa augmentar la ETP. Això indica una correlació positiva entre l'ETP i la T, fent que als mesos més càlids sigui necessària més P per superar l'ETP.

L'ETP és més elevada que la P en la majoria dels mesos, fent que pràcticament tota l'aigua sigui consumida per aquesta via. Els mesos en què la P és més elevada que l'ETP seran els que podran presentar infiltració (tot i això també cal tenir en compte R (Taula 8).

Taula 8. Detall dels valors mensuals de precipitació (P), evapotranspiració real (ETR), escolament superficial (R) i cabal (D) que s'han utilitzat per calcular el canvi en l'emmagatzematge d'aigua al subsòl (ΔS) a nivell mensual i l'acumulació d'aquest al llarg del període estudiat.

Mesos	P (m^3/mes)	ETR (m^3/mes)	R (m^3/mes)	D (m^3/mes)	ΔS (m^3/mes)	Acumulació ΔS (m^3/mes)
Març 2021	17.691	17.260	431	2.569	- 2.569	- 2.569
Abril 2021	55.584	46.635	8.950	2.536	- 2.536	- 5.106
Maig 2021	57.736	52.260	5.477	2.779	- 2.779	- 7.885
Juny 2021	45.185	43.109	2.076	2.165	- 2.165	- 10.050
Juliol 2021	15.778	15.696	83	1.743	- 1.743	- 11.792
Agost 2021	44.109	41.987	2.122	1.505	- 1.505	- 13.297
Setembre 2021	45.782	41.647	2.659	1.506	- 29	- 13.327
Octubre 2021	44.467	38.276	6.192	1.573	- 1.573	- 14.900
Novembre 2021	166.874	44.386	106.479	1.833	14.176	- 724
Desembre 2021	956	956	0	1.926	- 1.926	- 2.650
Gener 2022	11.236	10.964	0	1.754	- 1.482	- 4.132
Febrer 2022	5.857	5.826	0	1.673	- 1.642	- 5.774
Març 2022	276.489	48.004	215.570	2.807	10.109	4.335
Abril 2022	82.480	65.062	17418	3.918	- 3.918	418
Maig 2022	35.263	34.389	875	2.976	- 2.976	- 2.559
Juny 2022	13.268	13.228	0	1.804	- 1.762	- 4.321
Juliol 2022	4.064	4.063	0	1.334	- 1.333	- 5.654
Agost 2022	84.871	74.399	10.472	1.248	- 1.248	- 6.903
Setembre 2022	33.590	32.050	1.540	1.374	- 1.374	- 8.276
Octubre 2022	11.834	11.713	0	1.262	- 1.141	- 9.418
Novembre 2022	15.659	14.991	0	1.269	- 601	- 10.019
Desembre 2022	24.983	21.973	3.011	1.379	- 1.379	- 11.397
Gener 2023	14.703	13.896	0	1.318	- 510	- 11.908
Febrer 2023	80.448	47.649	32.800	1.436	- 1.436	- 13.344
Març 2023	11.236	11.143	0	1.421	- 1.328	- 14.672
Abril 2023	95.988	74.645	21.344	1.250	- 1.250	- 15.922
Maig 2023	195.443	111.288	84.155	1.488	- 1.488	- 17.410

Al llarg d'aquest període la zona estudiada ha experimentat dos pics de recàrrega corresponents als mesos de novembre de 2021 i març del 2022, mentre que la resta de mesos hi ha hagut pèrdua d'aigua respecte a la referència inicial de febrer de 2021 (Figura 10). Només hi ha hagut un moment amb més aigua acumulada al subsòl (març i abril del 2022), i al final del període s'ha assolit el valor més baix, amb $17.410m^3$ (maig 23). El cabal també ha disminuït des de l'inici de la sèrie i després del pic de la primavera del 2022 s'ha estabilitzat i ha continuat així fins al final de la sèrie. Aquesta estabilització indica el cabal basal que les fonts poden sostenir donada l'aigua que hi ha disponible al subsòl.

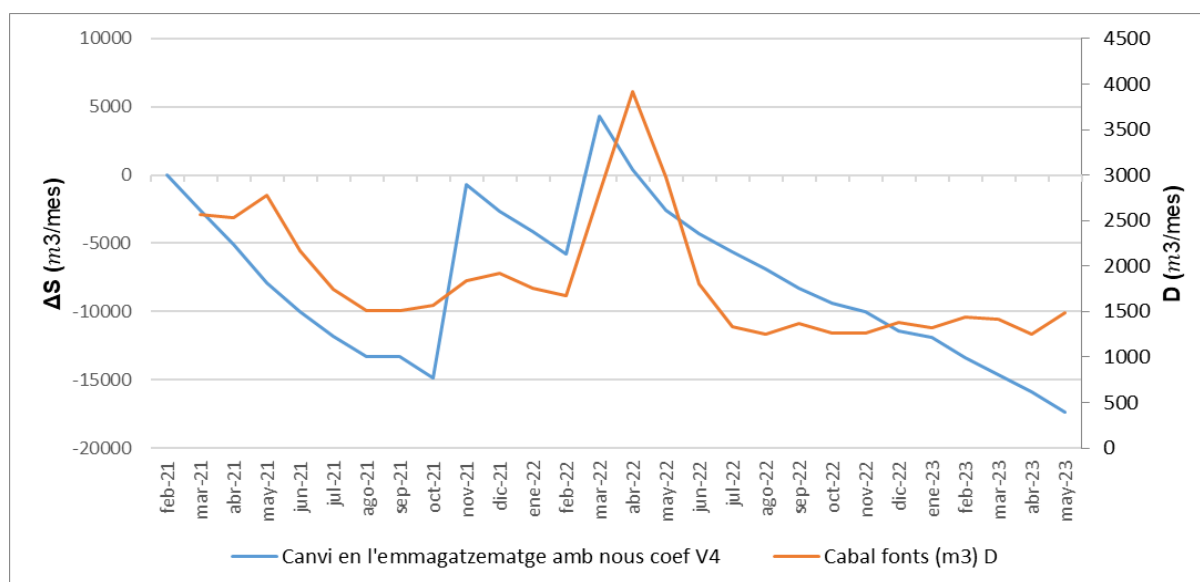


Figura 10. Gràfica del sumatori mensual del canvi en l'emmagatzematge d'aigua al subsòl (ΔS) juntament amb l'evolució del cabal (D) (ambdós expressats en m^3/mes) al llarg del període estudiat.

Les franges temporals en què el cabal total tendeix a disminuir coincideixen amb un descens lineal de ΔS , que mostra un pendent similar en els tres períodes detectats. Això es pot atribuir al fet que la descàrrega subterrània només es produeix a través de les fonts, i que aquestes tendeixen a assolir un valor de base més o menys constant, que es situa al voltant dels $1300m^3/mes$, com a resultat del règim hidrometeorològic actual.

Els motius d'aquesta tendència negativa pel que fa la recàrrega de l'aigua subterrània es poden explicar en gran part pel règim meteorològic que s'ha experimentat durant el període d'estudi. S'ha comparat la situació hidrometeorològica del període estudiat amb el període de referència 1961-1990, per tal de valorar com les anomalies de precipitació i temperatura han influït en els resultats obtinguts. La temperatura mitjana del període 1961-1990 va ser de $12\text{ }^\circ\text{C}$. L'any 2021 hi va haver una desviació positiva de $0,5\text{ }^\circ\text{C}$, l'any 2022, de $2,3\text{ }^\circ\text{C}$ i l'any 2023, fins al mes de maig, la desviació per aquest període també ha estat positiva de $1,6\text{ }^\circ\text{C}$.

La precipitació mitjana del període 1961-1990 és de 960 *mm* , l'any 2021 va ser de 466,2 *mm*, un 52% menor. L'any 2022 va ser de 501,6 *mm*, un 48% menys de l'habitual. El 2023, fins al mes de maig la precipitació està sent també menor, un 17% (ICC, 1996).

Com es pot observar, la temperatura ha estat molt superior i aquest fet ha produït un augment de l'evapotranspiració. Això sumat al gran descens de la precipitació, ha fet que molt pocs mesos hagin aportat aigua al subsòl, i que en conseqüència els cabals s'hagin vist fortament afectats.

A aquesta situació se li suma també el com ha caigut la precipitació, ja que hi ha hagut mesos com el maig del 2023 en què les precipitacions han estat per sobre la mitjana però la recàrrega ha estat negativa. Això ha estat així perquè els 161,1 *mm* caiguts ho han fet en dos episodis, fent que la quantitat d'aigua que marxa per escolament superficial sigui molta.

4.4 Escenaris hidrològics de futur

A partir dels escenaris hidrometeorològics de futur plantejats en aquest estudi, s'ha determinat la quantitat d'aigua disponible per a la recàrrega subterrània i el seu alliberament a través de les fonts a nivell mitjà mensual ($\Delta S+D$) (Taula 9). Aquest paràmetre només té en compte l'aigua procedent de la superfície, resultat de la diferència obtinguda de restar l'ETR i la R a P i, per tant, no pot ser un valor negatiu. L'estimació de la quantitat d'aigua emmagatzemada al subsòl prèviament a cada moment de l'anàlisi (mes) no pot ser determinada, ja que no es coneix l'estat real de ΔS per aquell moment.

Pel que fa als valors anuals de $\Delta S+D$ el període mitjà 1961-1990 presenta el valor més elevat de 63,74 *mm/any*. Els escenaris 1, 2 i 3 tenen valors d'entre 44 i 48 *mm/any*, i l'escenari 4 té un valor de 18,95 *mm/any*. El període mitjà 2021-2023 presenta el valor més baix de tots amb una $\Delta S+D$ de 11,75 *mm/any*.

El percentatge de disminució $\Delta S+D$ (respecte al període mitjà 1961-1990) dels escenaris 1, 2 i 3 són del 29, 30 i 25% respectivament. L'escenari 2, que implica un increment de la superfície forestal, comporta un descens de l'1% de l'aigua disponible per a la infiltració respecte a l'escenari 1. Tenint en compte la gran cobertura forestal de la zona, aquest canvi és poc rellevant. En canvi, l'augment de la superfície ocupada pels espais oberts que proposa l'escenari 3 incrementa en un 5% la disponibilitat d'aigua per a la recàrrega subterrània respecte a l'escenari de no canvi (escenari 1). Això posa de manifest que, encara que les zones obertes només ocupessin un 20% de la superfície del massís, això contribuiria a reduir significativament l'efecte del canvi climàtic respecte a una no acció en gestió forestal.

Taula 9. Quantitat d'aigua disponible per a la recàrrega subterrània i el seu alliberament a través de les fonts ($\Delta S+D$) a nivell mensual i anual per la mitjana del període estudiat 21-23, la mitjana 1961-1990, i els quatre escenaris de futur. $\Delta S+D$ expressat en (m^3/mes).

Mesos	$\Delta S+D$ Mitjana 61-90	$\Delta S+D$ Mitjana 21-23	$\Delta S+D$ Escenari 1	$\Delta S+D$ Escenari 2	$\Delta S+D$ Escenari 3	$\Delta S+D$ Escenari 4
Gener	21.116	540	14.293	14.061	14.787	3.974
Febrer	9.461	16	4.785	4.461	5.483	0
Març	0	4.337	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0
Maig	0	0	0	0	0	0
Juny	0	21	0	0	0	0
Juliol	0	1	0	0	0	0
Agost	0	0	0	0	0	0
Setembre	0	738	0	0	0	0
Octubre	0	61	0	0	0	0
Novembre	16.609	8.338	12.066	11.714	12.812	7.156
Desembre	29.010	0	23.228	23.006	23.696	11.522
Total Anual (m^3/any)	76.196	14.050	54.372	53.242	56.779	22.651
Total Anual (mm/any)	63,74	11,75	45,49	44,54	47,5	18,95
% de variació respecte la mitjana 61-90	-	- 82%	- 29%	- 30%	- 25%	- 70%

D'altra banda, l'escenari 4, que simula un cas extrem d'augment de temperatura i reducció de la precipitació, sense canvis en la coberta forestal, indica una disminució del 70% de l'aigua disponible per a la recàrrega. El més destacable és que el període estudiat (2021-2023) ha resultat en una disminució del 82%, presentant doncs una pèrdua d'aigua que no va al subsòl superior a la projecció més pessimista estimada per al període 2031-2050. Cal remarcar que el període 2021-2023 és de només vint-i-set mesos i que per tant, no és representatiu del comportament mitjà tan del clima com de les fonts. El que sí que mostra és que al llarg de les pròximes dècades poden aparèixer franges de temps concretes on les reserves d'aigua subterrània experimentin un estat crític, i que seran difícilment recuperables només amb els poc freqüents episodis de pluviometria relativament abundant. D'això es desprèn que la gestió de la superfície ocupada per les masses forestals, junt amb la seva tipologia, és un element clau a l'hora d'abordar aquesta disponibilitat d'aigua.

5. CONCLUSIONS

The study of the hydrological monitoring of a sample of twelve springs in the Guilleries region in Sant Hilari Sacalm (La Selva) has provided data on flow rates and physicochemical parameters on a monthly basis from March 2021 to May 2023.

- The physicochemical parameters indicate that the springs have low mineralization and are neutral with low water-rock interaction. Additionally, they exhibit very stable values over time, implying that the system is in equilibrium.
- The behavior of the flow rates for each spring varies and shows different degrees of correlation with precipitation. However, in almost all cases, a tendency of flow loss has been observed, largely due to the scarce rainfall during the study period.
- The high average temperatures during the study period increase evapotranspiration, requiring a greater amount of precipitation to maintain the same degree of infiltration.
- The groundwater accumulation is lower after twenty-seven months of study, mainly due to the scarce precipitation. This has caused a decrease in the base flow compared to the beginning of the period. As the spring flow is the only outlet for groundwater, the discharge relationship is direct, resulting in a balance between the two parameters.
- The distribution of rainfall over several episodes favors groundwater recharge since there is less water loss through surface runoff. Infiltration decreases when precipitation occurs suddenly.
- Future scenarios show a clear decrease in available water for the groundwater compared to the average period, highlighting a clear relationship between the changing hydro-meteorological regime caused by global warming and the quantitative state of the springs and groundwater bodies.
- Increasing open spaces at the expense of forested areas can help mitigate the decrease in water resources to some extent.
- The studied period has less available water than the most pessimistic scenario, indicating that extreme conditions are already occurring in the 2020s. Even though these conditions occur only for a short period of time, it is difficult to recover the previous state once they have occurred. This emphasizes the importance of soil cover management, as even a slight mitigation of the impact of a drought period can significantly increase the resilience of the hydrological system.

6. BIBLIOGRAFIA

Agència Catalana de l'Aigua (ACA, 2002). *Model de gestió del sistema hidrogeològic de naturalesa granítica del Montseny-Guilleries. Informe final.* 426 p.

Calbó, J., Gonçalves, M., Barrera, A., García-Serrano, J., Doblas-Reyes, F., Guemas, V., Cunillera, J., Altava, V. (2016) Projeccions climàtiques i escenaris de futur. *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya.* 113-136.

Cantonati, M., Lichtenwöhler, K., Leonhardt, G., Seifert, L., Mustoni, A., Hotzy, R., Schubert, E., Blattner, L., Bilous, O., Lotz, A., Poschlod, B., Gerecke, R. (2022). Using Springs as Sentinels of Climate Change in Nature Parks North and South of the Alps: A Critical Evaluation of Methodological Aspects and Recommendations for Long-Term Monitoring. *Water*, 14, 2843. <https://doi.org/10.3390/w14182843>

Consell Comarcal de la Selva (2016a). *Pla d'Ordenació Urbana Municipal de Sant Hilari Sacalm. Avanç de Pla. Document inicial estratègic.* Departament de Territori i Sostenibilitat, Consell Comarcal de la Selva i Ajuntament de Sant Hilari Sacalm: 95 p + 10 p annexos.

Consell Comarcal de la Selva (2016b). *Pla d'Ordenació Urbana Municipal de Sant Hilari Sacalm. Avanç de Planejament.* Departament de Territori i Sostenibilitat, Consell Comarcal de la Selva i Ajuntament de Sant Hilari Sacalm: 128 p + 60 p annexos.

CREAF (2013). *Llegenda MCSC-3v2 i MCSC-4/ SIOSE-2. Codificació de les cobertes.* Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Bellaterra (Cerdanyola del Valles): 24 p.

Culí, L., Beni, F., Cirés, J., Carles, R. (2019/2020). *Mapa geològic de Catalunya 1:25 000: Sant Hilari Sacalm (75-26) [Mapa].* 1:25 000. Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Farrerons, O. i Corella, A. (2022). *Projecte Fonts del Montseny.* [Recurs en línia: <https://fontsdelmontseny.wixsite.com/fontsdelmontseny>].

Folch, A. i Mas-Pla, J. (2008). Hydrogeological interactions between fault zones and alluvial aquifers in regional flow Systems. *Hydrological Process.* 22, 3476–3487. <https://doi.org/10.1002/hyp.6956>

ICC (1996). *Atles climàtic de Catalunya: Termopluiometria.* 37p.

Langhammer, J. i Bernsteinová, J. (2020). Which Aspects of Hydrological Regime in Mid-Latitude Montane Basins Are Affected by Climate Change? *Water*, 12, 2279. <https://doi.org/10.3390/w12082279>

Martín-Vide, J., Prohom, M., Busto, M. (2016) Evolució recent de la temperatura, la precipitació i altres variables climàtiques a Catalunya. *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya.* 93-112.

Mas-Pla, J., Batalla, R. J., Cabello, A., Gallart, F., Llorens, P., Pascual, D., Pla, E., Pouget, L., Sánchez, A., Termes, M., Vergonyós, L. (2016). Recursos hidrològics. *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya.* 162-187.

Menció, A., Boy-Roura, M., Mas-Pla, J. (2009). *Estudi dels nivells de base dels nitrats a les aigües subterrànies de la comarca d'Osona a través del seguiment de les fonts naturals.* Àrea de Geodinàmica, Departament de Ciències Ambientals, Grup de Geologia Aplicada i Ambiental, Universitat de Girona [inèdit]: 222 p.

- Menció, A., Folch, A., Mas-Pla, J. (2010). Analyzing hydrological sustainability through water balance. *Environmental Management* 45, 1175–1190.
- Merz, R., Blöschl, G., Parajka, J. (2006). Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. *Journal of Hydrology*. 331, 591– 604
- Stigter, T. Y., Miller, J., Chen, J., Re, V. (2023). Groundwater and climate change: threats and opportunities. *Hydrogeology Journal* 31:7–10. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02554-w>
- Soler, D. i Menció A. (2018). *Catàleg de fonts del terme municipal de Sant Hilari Sacalm, 2018*. Càtedra de l'Aigua, Natura i Benestar (UdG – UVic-UCC), Sant Hilari Sacalm [inèdit]: 130 p.
- Soler, D. (2022). *Les fonts dels municipis de l'espai natural de les Guilleries-Savassona 2021-2022*. Càtedra de l'Aigua, Natura i Benestar (UdG – UVic-UCC), [inèdit]: 332 p.
- Springer, A. E. i Stevens, L. E. (2009). Spheres of discharge of springs. *Hydrogeology Journal*, 17, 83–93.
- Turc, L. (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*, 12(1): 13–49.
- Vilanova, E., Menció, A., Mas-Pla, J. (2008). Determinación de sistemas de flujo regionales y locales en las depresiones tectónicas del Baix Empordà y la Selva (NE de España) en base a datos hidroquímicos e isotópicos. *Boletín Geológico y Minero*, 119(1): 51–62
- Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R. (2001). Response of mean anual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, 37 (3): 701-708.