

Títol del treball:

ESTUDI HIDROGEOLÒGIC DE LES FONTS DE SANT HILARI SACALM COM A BASE PER A LA SEVA VALORACIÓ PATRIMONIAL

Estudiant: Marina Clarà Cornella

Grau en Ciències Ambientals

Correu electrònic: marina6991@hotmail.com

Tutor: Anna Menció Domingo

Empresa/ institució: Àrea de Geodinàmica Externa, Facultat de Ciències de la
Universitat de Girona

Vist-i-plau tutor:

Nom del tutor: Anna Menció Domingo

Empresa/ institució: Àrea de Geodinàmica Externa,
Facultat de Ciències de la Universitat de Girona

Correu electrònic: anna.mencio@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació: 25/05/2018

ESTUDI HIDROGEOLÒGIC DE LES FONTS DE SANT HILARI SACALM COM A BASE PER A LA SEVA VALORACIÓ PATRIMONIAL



Marina Clarà Cornella

Tutora: Anna Menció Domingo

Facultat de Ciències – Universitat de Girona

Curs 2017-2018

Agraïments

Vull expressar el meu més sincer agraïment a totes les persones que, d'una manera o altra, han fet possible aquest treball.

En primer lloc, m'agradaria donar les gràcies a la meva tutora del treball, la Dra. Anna Menció i Domingo, per la confiança que ha dipositat en mi, pel seu suport i dedicació, per orientar-me quan estava perduda i per oferir-me coneixements que m'han enriquit tant en l'àmbit científic com professional.

En segon lloc, donar les gràcies al Sr. David Soler i Hernández, per prestar-me la seva ajuda de forma totalment desinteressada, per ajudar-me a augmentar els meus coneixements sobre la geologia i les Guillaries, per portar-nos a en Joan Zamora i a mi per totes les fonts de Sant Hilari i ajudar-me en la recollida de mostres durant el treball de camp.

Per últim, gràcies a la meva família i amics per tota l'ajuda, pel suport, per la confiança i per l'optimisme a l'hora de fer el treball. Especialment, a la Marga Fàbrega per la seva ajuda en moments de necessitat, a la Maria Ramajo pel seu suport en tot moment per animar-me i a la Sara Traperó per revisar-me el text en anglès, i ajudar-me amb els meus dubtes. I especialment, donar les gràcies als meus pares pel seu suport incondicional, a ells els dedico aquest treball.

Moltes gràcies a tots.

Resum

En el present estudi es realitza una anàlisi de 105 fonts distribuïdes en el municipi de Sant Hilari Sacalm, a la comarca de la Selva. Entre l'1 de febrer i el 2 de maig del 2018 s'han realitzat 16 campanyes de camp per localitzar i mostrejar aquestes fonts. Per analitzar-les primerament es classifiquen en funció del seu origen hidrogeològic, del seu cabal, de la composició química de les seves aigües i dels usos del sòl predominants en les seves conques de drenatge. A partir d'aquestes classificacions, es procedeix a analitzar les relacions existents entre elles. Per fer-ho, cal haver mostrejat prèviament les fonts per a mesurar la seva conductivitat, pH, temperatura, potencial redox i concentració d'oxigen dissolt. També, per analitzar les mostres al laboratori, i així poder determinar les concentracions d'alguns ions i compostos en l'aigua.

A continuació, cal haver determinat les conques de drenatge de les fonts, per a poder analitzar la relació de la seva superfície amb el seu cabal. Posteriorment, es determinen els usos del sòl de cada conca de drenatge, per a calcular el percentatge de cadascuna en el total de superfície de la conca. Per als anàlisis posteriors, s'utilitzen els usos del sòl predominants en la conca de drenatge de cada font, per a poder comprovar els efectes que aquests puguin provocar en la química de l'aigua.

Sant Hilari Sacalm es situa en el massís de les Guílleries, que té una composició geològica, principalment de tipus silícic, que influeix la composició química de les aigües de les fonts a partir de les reaccions que es produeixen entre l'aigua subterrània i les roques per les quals circula. Al ser una zona formada majoritàriament per una geologia poc variada, no es produeixen elevades variacions químiques entre les fonts analitzades, exceptuant les Fonts picants. Aquestes tres fonts tenen unes característiques químiques específiques, que les classifiquen en fonts medicinals. Aquestes propietats medicinals han estat un aspecte important en la història del municipi, sent un atractiu turístic en el segle passat. Actualment, les fonts encara són una part important del municipi, gràcies a les embotelladores, que són un dels sectors econòmics més importants del poble.

Resumen

En el presente estudio se realiza un análisis de 105 fuentes distribuidas en el municipio de Sant Hilari Sacalm, en la comarca de la Selva. Entre el 1 de febrero y el 2 de mayo del 2018 se han realizado 16 campañas de campo para localizar y mostrear estas fuentes. Para analizarlas, primero se clasifican en función de su origen hidrogeológico, de su caudal, de la composición química de sus aguas y de los usos del suelo predominantes en sus cuencas de drenaje. A partir de estas clasificaciones, se procede a analizar las relaciones existentes entre ellas. Para hacerlo, se mostrea previamente las fuentes para medir su conductividad, pH, temperatura, potencial redox y concentración de oxígeno disuelto. También, para analizar las muestras al laboratorio, y así determinar las concentraciones de algunos iones y compuestos en el agua.

A continuación, se tiene que determinar las cuencas de drenaje de las fuentes, para poder analizar la relación de su superficie con su caudal. Posteriormente, se determinan los usos del suelo de cada cuenca de drenaje, para calcular el porcentaje de cada una en el total de superficie de la cuenca. Para los análisis posteriores, se utilizan los usos del suelo predominantes en la cuenca de drenaje de cada fuente, para poder comprobar los efectos que estos puedan provocar en la química del agua.

Sant Hilari Sacalm se sitúa en el macizo de las Guillerries, que tiene una composición geológica, principalmente de tipo silíceo, que influencia la composición química de las aguas de las fuentes a partir de las reacciones que se producen entre el agua subterránea y las rocas por las cuales circula. Al ser una zona formada mayoritariamente por una geología poco variada, no se producen elevadas variaciones químicas entre las fuentes analizadas, exceptuando las Fuentes picantes. Estas tres, tienen unas características químicas específicas, que las clasifican como fuentes medicinales. Estas propiedades medicinales han sido un aspecto importante en la historia del municipio, siendo un atractivo turístico en el siglo pasado. Actualmente, las fuentes todavía son una parte importante del municipio, gracias a las embotelladoras, que son uno de los sectores económicos más importantes del pueblo.

Abstract

In this study, an analysis of 105 sources distributed in the municipality of Sant Hilari Sacalm is carried out, in the region of La Selva. Between February 1 and May 2, 2018, 16 field campaigns have been conducted to locate and sample these springs. In order to analyse them first, they are classified according to their hydrogeological origin, their flow, the chemical composition of their waters and the predominant soil uses in their drainage basins. Based on these classifications, we proceed to analyse the relationships between them. To do this, first the springs must be sampled to measure their conductivity, pH, temperature, redox potential, and dissolved oxygen concentration. Also, to analyse the samples in the laboratory and in this way be able to determine the concentrations of some ions and compounds in the water.

Next, we must have determined the drainage basins of the springs, to be able to analyse the relation of its surface with the discharge of the springs. Subsequently, the uses of the soil in each drainage basin are determined, to calculate the percentage of each in the total surface area of the basin. For later analyses, the uses of the predominant soil in the drainage basin of each source are used, to be able to verify the effects that these can cause in the chemistry of the water.

Sant Hilari Sacalm is located in the massif of the Guillerries, which has a geological composition, mainly of silicic type, that influences the chemical composition of the springs of water from the reactions that occur between groundwater and rocks for which it circulates. Being an area formed mostly by a slightly varied geology, there are not high chemical variations between the springs analysed, except for spicy springs. These three springs have specific chemical characteristics, which classify them in medicinal springs. These medicinal properties have been an important aspect in the history of the township, being a tourist attraction in the last century. At the moment, the springs are still an important part of the township, thanks to the bottlers, which are one of the most important economic sectors of the town.

ÍNDEX

Resum.....	I
Resumen.....	II
Abstract.....	III
1. Introducció	1
1.1. Les fonts	1
1.2. Àrea d'estudi.....	6
1.2.1. Context històric i cultural	7
1.2.2. Context geològic i hidrogeològic.....	8
1.2.3. La flora de les Guillerries	10
1.2.4. Climatologia	10
2. Objectives	12
3. Metodologia	12
3.1. Treball de camp: Mostreig de les fonts	12
3.2. Anàlisi de mostres al laboratori	14
3.3. Classificació hidrogeologia de les fonts	15
3.4. Anàlisi hidroquímic de les fonts	15
3.5. Determinació de les conques de drenatge de les fonts	15
3.6. Ètica i sostenibilitat	15
4. Resultats i Discussió	16
4.1. Classificació hidrogeològica de les fonts.....	16
4.2. Anàlisi dels cabals i la seva relació amb la seva conca de drenatge	18
4.3. Caracterització hidroquímica de les fonts	20
5. Conclusions	27
6. Bibliografia	28

1. Introducció

1.1. Les fonts

Una font és un indret on l'aigua subterrània brolla o surt a la superfície de la terra (Gran enciclopèdia catalana, s.d. b). Tot i això, el mot "font" també es pot atribuir a una construcció feta per l'home proveïda d'un o diversos canals o aixetes per on surt aigua; així com també a les captacions per gravetat, tipus mina, que han acabat donant lloc a una sortida d'aigua on abans no existia (Menció, Boy i Mas-Pla, 2009). Les fonts s'originen quan el mantell impermeable aflora i deixa pas a l'aigua del mantell freàtic sobreposat. Les fonts eren considerades un factor molt favorable al poblament, ja que, en els nivells d'aflorament s'estableixen les edificacions humanes i els nuclis de població. (Gran enciclopèdia catalana, s.d. a). També són importants a nivell ecològic, per la seva funció com a ecotons. Un ecotò és el límit natural entre dos ecosistemes diferents, en aquest cas, seria la zona de transició entre les aigües superficials i subterrànies. En aquests hàbitats viuen espècies úniques i molt especialitzades, que atorguen un gran valor biològic a les fonts (Carcavilla, López i Durá, 2007).

En el seu estudi, són una font d'informació indirecta de les característiques geològiques del terreny, així com dels processos hidrogeològics que s'hi produeixen, a través de la composició hidroquímica de les seves aigües i de les variacions en el seu cabal (Manga, 2001). En aquest sentit, la qualitat i les característiques físico-químiques de l'aigua de les fonts ve determinada per diversos factors. El més important és la litologia de les roques per on circula l'aigua, però també el temps de residència hidràulic, la temperatura, i els factors antròpics com la contaminació, són variables que poden fer modificar aquestes característiques. En aquest sentit, són també bones indicadores de l'estat dels aquífers que les alimenten, ja que qualsevol alteració en la quantitat i qualitat de les masses d'aigua subterrània es reflecteix en el seu cabal o en la seva qualitat hidroquímica (Menció et al. 2009).

En l'estudi de les fonts existeixen diferents maneres per a classificar-les. D'una banda, es poden classificar en funció del seu cabal, a partir de la classificació de Meinzer (1923) (Taula 1), la qual té en compte el cabal mitjà de les fonts (Kresic i Stevanovic, 2010).

Magnitud	Cabal en unitats mètriques	Cabal (mL/s)
Primera	$>10 \text{ m}^3/\text{s}$	>10000
Segona	$1 - 10 \text{ m}^3/\text{s}$	$1000 - 10000$
Tercera	$0,1 - 1 \text{ m}^3/\text{s}$	$100 - 1000$
Quarta	$10 - 100 \text{ L/s}$	$10 - 100$
Cinquena	$1 - 10 \text{ L/s}$	$1 - 10$
Sisena	$0,1 - 1 \text{ L/s}$	$0,1 - 10$
Setena	$10 - 100 \text{ cm}^3/\text{s}$	$0,01 - 0,1$
Vuitena	$< 10 \text{ cm}^3/\text{s}$	$< 0,01$

Taula 1. Classificació de fonts basat en el cabal mitjà. Font: Meinzer, 1923.

En funció del seu origen hidrogeològic, Fetter (1994) classifica les fonts en les tipologies següents (Figura 1):

- A. Fonts en una depressió: Es formen quan el nivell freàtic arriba a la superfície. Per canvis en la topografia del terreny es produeix la intersecció del nivell freàtic amb la superfície.
- B. Fonts de contacte: Es produeix quan hi ha un canvi de permeabilitat a escala geològica en el medi, és a dir, quan hi ha un canvi entre roques més i menys permeables. No és necessari que la capa subjacent sigui impermeable, simplement que la diferència de conductivitat hidràulica sigui prou gran per impedir la transmissió de tota l'aigua que es mou a través de l'horitzó superior.
- C. Font en zona de falla: Les falles també poden crear un control geològic que afavoreixi la formació de la font. Una roca en zona de falla que sigui impermeable pot estar situada adjacent a un aqüífer. Això pot formar un límit regional per al moviment d'aigües subterrànies i forçar que l'aigua de l'aqüífer es descarregui a la font.
- D. Font en una dolina: Algunes de les fonts més grans es troben en zones de roca calcària. En aquestes zones, l'escorriment pot ser transportat parcialment o totalment com a cabal subterrani. Pot ser un flux difús en porus i fractures en la roca o un flux canalitzat en cavernes. L'aigua en aquestes fonts està per sota de la pressió artèsiana i prové de la conca artèsiana.
- E. Font conjunta o Font de fractura: Es pot produir a partir de l'existència de zones de falles articulades o permeables en roques de baixa permeabilitat. El moviment de l'aigua a través d'aquesta roca és principalment a través de fractures, i es poden formar fonts on aquestes fractures tallen la superfície de la terra a baixes elevacions.

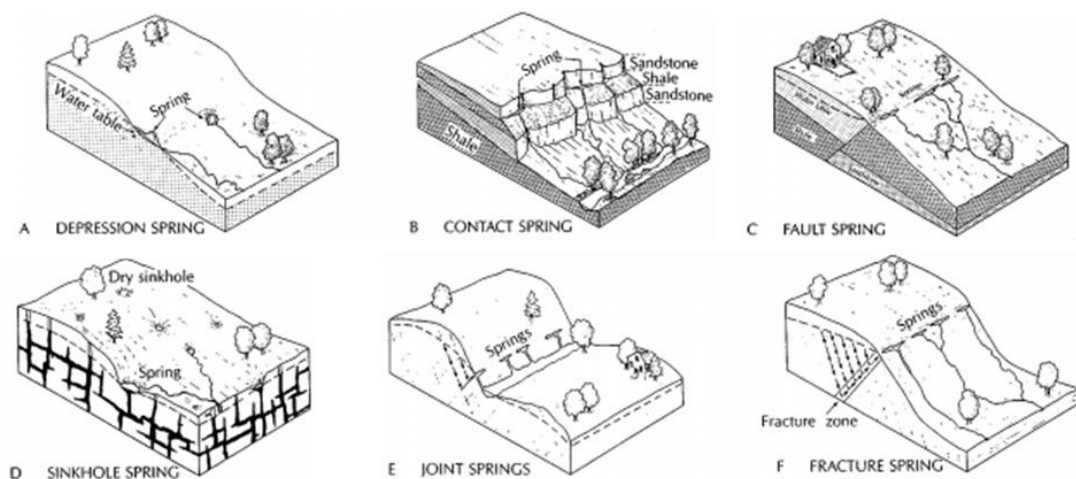


Figura 1. Classificació hidrogeològica de les fonts segons Fetter (1994).

En el cas de les zones de tipus silícic, a causa de les seves característiques geològiques i geomorfològiques, la classificació de fonts es pot realitzar utilitzant la proposada per Menció, *et al.* (2009), que és una adaptació de la classificació que havien fet prèviament Fetter (1994) i Manga (2001). En concret, la classificació de les fonts en ambients silícics segons el seu origen, és la detallada a continuació:

1. Fonts en materials cristal·lins: Aquests materials tenen una porositat de tipus secundari, és a dir, que és resultant de l'acció d'agents geològics, com per exemple la fracturació i la meteorització (Figura 2). D'aquestes, hi ha tres tipologies:
 - a. Fonts en fractures/diàclasis: En aquestes l'aigua circula per les fractures del material fins que arriba a la superfície i el nivell freàtic intersecta la superfície del sòl.
 - b. Fonts en materials alterats: Quan els materials estan molt alterats en superfície, esdevenen sauló i adquireixen una més alta permeabilitat. Si aquests estan en contacte amb materials menys permeables, es pot produir una surgència d'aigua deguda al canvi de permeabilitat.
 - c. Fonts relacionades amb dics: Els dics poden actuar com a discontinuats del terreny, de manera que quan l'aigua subterrània els assoleix, es poden generar surgències degudes als canvis de permeabilitat.

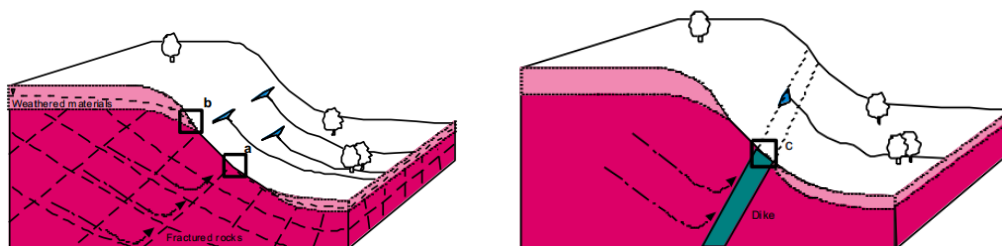


Figura 2. Tipologia de fonts presents a Sant Hilari Sacalm en funció del seu origen. Fonts en materials cristal·lins: Fonts en fractures (a), fonts en materials alterats (b) i fonts relacionades amb dics (c). Font: Rosell, 2017.

2. Fonts en zones de falles regionals: Són zones de flux eficient, que es diferencien de les fonts que apareixen per fracturació dels materials, per la magnitud i importància de les fractures (Figura 3). Les fonts d'aquest grup no presenten zones de recàrrega locals.

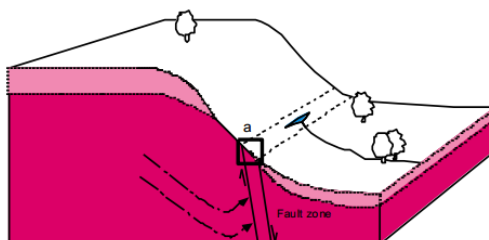


Figura 3. Tipologia de fonts presents a Sant Hilari Sacalm en funció del seu origen. Fonts en zones de falles regionals (a). Font: Rosell, 2017.

3. Fonts en materials sedimentaris quaternaris: Aquest tipus de materials presenten una porositat primària de tipus intergranular. El punt de surgència de la font és aquell on, dins una mateixa formació, es troben materials més permeables amb altres de menys permeables (Figura 4).



Figura 4. Tipologia de fonts presents a Sant Hilari Sacalm en funció del seu origen. Fonts en materials sedimentaris quaternaris (a). Font: Rosell, 2017.

4. Captació artificial: Són aquelles fonts que no s'han produït de manera natural, sinó que han estat fetes per l'home.
 - a. Fonts construïdes per a la captació de l'aigua d'escolament subsuperficial: Es consideren fonts artificials, ja que s'han construït un seguit d'estructures per a

recollir l'aigua de l'escolament subsuperficial i s'ha canalitzat per fer-la brollar (Figura 5).



Figura 5. Tipologia de fonts presents a Sant Hilari Sacalm en funció del seu origen. Fonts construïdes per a la captació de l'aigua d'escolament subsuperficial (a). Font: Rosell, 2017.

- b. Mina: Excavació subterrània feta per captar i conduir aigües a la superfície.
- c. Pou/Xarxa potable: Un pou és una excavació vertical i profunda, practicada en el sòl fins a trobar una capa aquífera, generalment el mantell freàtic més pròxim a la superfície. En aquest grup s'inclouen les fonts que actualment obtenen les seves aigües de la xarxa potable de la vila.

Finalment, les fonts es poden classificar en funció de les seves característiques hidroquímiques, és a dir, en funció dels ions i molècules presents a l'aigua. Les fonts es troben en molts entorns geològics, però la seva química és sorprenentment similar. Els mateixos conjunts de cations i anions es troben en la majoria de les aigües provinents de fonts (Kresic i Stevanovic, 2010). El que distingeix una font d'aigua d'un altre és:

- ♦ Les concentracions relatives dels anions dominants HCO_3^- , SO_4^{2-} i Cl^- .
- ♦ La proporció relativa dels ions alcalins, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} i Mg^{2+} .
- ♦ La concentració total d'espècies dissoltes.
- ♦ La temperatura.
- ♦ La presència de gasos dissolts, H_2S i CO_2 .

En la classificació hidroquímica, Kresic (2010) assenyala alguns grups de fonts molt característiques, com ara:

- Fonts sulfatades: Quan el H_2S des de les profunditats arriba a les aigües meteòriques oxidants properes a la superfície, i l'oxidació produeix àcid sulfúric.
- Fonts d'aigua salada (salmorra) i salobre: Quan una font té concentracions de NaCl comparables a l'aigua de mar (3,5 % o més), es coneix com a salmorra. Les fonts amb

una concentració intermèdia, però amb suficient NaCl com per a produir un sabor salat, són salobres.

- Fonts carbonatades procedents de fonts profundes: Són fonts amb un elevat contingut de bicarbonats, una gran part d'aquests, podria derivar-se de la reacció del CO₂ amb roques de carbonat al llarg del recorregut del flux. Si hi ha una font profunda, la migració d'aigua (o gasos) a la falla ha de ser prou lenta perquè l'aigua entri a l'equilibri tèrmic.

1.2. Àrea d'estudi

Les fonts estudiades es distribueixen pel municipi de Sant Hilari Sacalm. Aquest, forma part de la comarca de la Selva i té una extensió de 83 km² (Figura 6). Se situa al mig del massís de les Guilleries, i limita al Nord-est amb els municipis d'Osor i Susqueda, a l'Est amb Santa Coloma de Farners, al Sud amb Arbúcies, a l'Oest amb Espinelves i Vilanova de Sau i al Nord amb Rupit i Pruit.

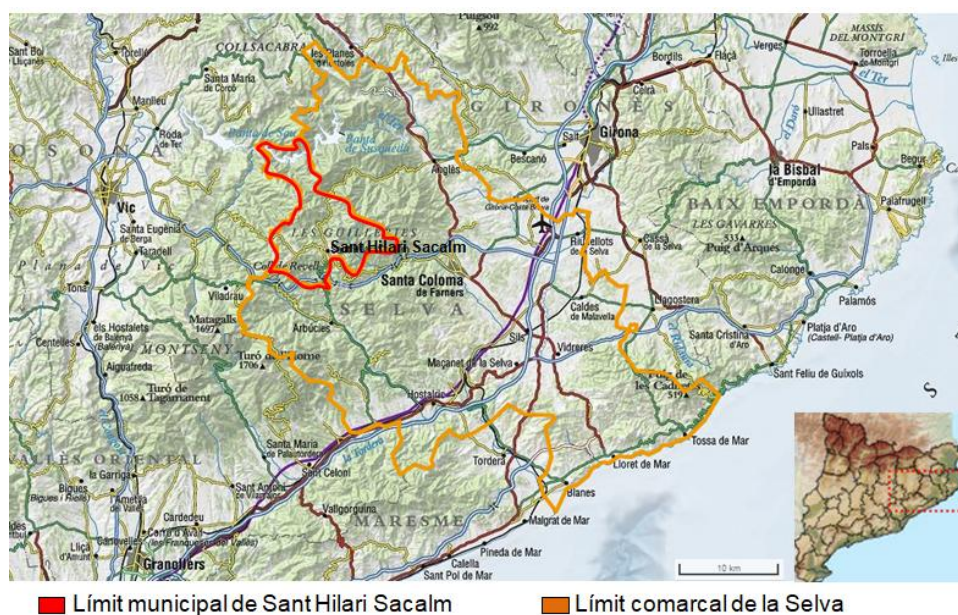


Figura 6. Localització geogràfica de la zona d'estudi. Font: Elaboració pròpia a partir dels mapes de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

El municipi és conegut com “La vila de les cent fonts” gràcies a la gran quantitat de fonts que hi ha repartides per la vila i pels boscos del terme municipal. Les fonts són una part important en la història, economia i patrimoni natural de Sant Hilari. Les seves aigües van ser utilitzades primerament com a punt de subministrament de les cases de pagès i per abastir la set dels

bosquerols i llenyataires que treballaven al bosc. Aquestes necessitats van provocar que es creessin fonts en punts de terra dels quals brollava aigua de manera natural.

1.2.1. Context històric i cultural

Algunes de les fonts del municipi, es van convertir en un reclam turístic al segle XIX i XX, degut al balneari de la Font Picant. Aquesta font, altrament coneguda com a Font de Sant Josep, es coneixia des del segle XVII, però es va donar a conèixer l'any 1779 gràcies al metge del poble, el Dr. Garavalosa. La llegenda diu, que un pastor portava el ramat a pasturar a prop de la font, que estava amagada entre uns arbustos. Una de les vaques tenia una infecció renal i per aquest motiu orinava sang, però a mesura que la vaca bevia aigua de la font l'orina es va anar aclarint, fins a estar totalment recuperada al cap d'unes setmanes. Els pagesos, sorpresos van escampar la notícia fins que el Dr. Garavalosa se'n va assabentar i va comprovar les propietats medicinals de l'aigua amb els seus pacients. La font es va popularitzar per Catalunya, Espanya i fins i tot internacionalment, a partir de la publicació de la memòria del Dr. Gravalosa: "Relación de los efectos y principios constitutivos del agua mineral de San Hilario Sacalm" (1779), on aconsellava beure les aigües del municipi a les persones que patien problemes a la bufeta i al ronyó. Poc després es va iniciar l'embotellament de l'aigua per a transportar-la a altres indrets. Està documentat que el rei Ferran VII d'Espanya rebia i prenia aigua de la Font Picant per curar la gota, al voltant del 1810 (Codina, Rocha i Nunes, 2015).

El 1877 es van descobrir dues fonts medicinals més a la zona, la Font de Santa Escolàstica i la Font de Santa Teresa. Un any més tard es va descobrir la Font de Santa Modesta (extingida actualment), i uns anys més tard la Font de Sant Joan. El 1879 les fonts van ser declarades d'utilitat pública, per reial decret, augmentant així la seva afluència. Per aquest motiu, juntament amb la incomoditat del desplaçament des de la vila a la font, el 1881 els propietaris van construir un balneari al peu de la font. En aquest moment s'inicia l'època de màxima esplendor de les fonts de Sant Hilari, ja que les fonts medicinals i el balneari van atreure persones d'arreu (Figura 7).



Figura 7. Fotografia antiga de la Font de Sant Josep (Font picant). Font: Desconegut.

Els clients del balneari que patien algun problema de salut rebien les seves dosis diàries d'aigua de la font corresponent a la seva malaltia, en funció de la recepta del metge del balneari. Però no tots els clients eren malalts, el balneari era un edifici luxós que freqüentava la burgesia catalana i persones influents de la societat catalana, com el president Francesc Macià, el president Lluís Companys, el poeta Santiago Russiñol... així com personalitats a escala espanyola, com el president de la república Manuel Azaña, i altres visitants d'arreu del món. Després de la Guerra Civil (1936-1939) el balneari no va tornar a obrir les portes al públic, ja que durant la guerra va ser requisat i convertit en Hospital Militar, i durant la retirada els militars van cremar les dependències de l'hotel. Posteriorment, s'ha intentat reobrir en diverses ocasions, però sense èxit. Actualment, la planta baixa de l'hotel s'utilitza per fer festes i càterings, i les fonts estan obertes als visitants (Bosch, s.d.).

L'embotellament de l'aigua de fonts de Sant Hilari és un altre aspecte important d'aquestes al municipi. Ja que és un dels sectors econòmics més importants del poble i que dona feina a molts habitants del poble. Les dues empreses més reconegudes a tot l'Estat Espanyol, i fins i tot a l'estranger, són la Font vella i la Font d'Or. Un altra empresa embotelladora era la Font Selva, però el 2011 es va tancar. Antigament, també s'embotellaven les aigües de la Font del Pic i la Font de l'Arç, i tal com s'ha dit anteriorment també les aigües de les fonts medicinals com la Font Picant. D'aquesta manera s'observa la importància de les fonts al municipi i la seva varietat i abundància.

1.2.2. Context geològic i hidrogeològic

Tal com s'ha dit anteriorment, Sant Hilari Sacalm forma part del massís de les Guilleries, el qual se situa a l'extrem nord de la Serralada Prelitoral i és vorejat pel massís del Montseny al sud-oest. El massís té una superfície de 500 km² i unes altituds que arriben a superar els 1.200 m.

Els principals cursos d'aigua del massís són el Ter i alguns dels seus afluents, com ara les rieres Major, d'Osor, de Rupit, d'Arbúcies i Santa Coloma, que desemboquen a la Tordera (Figura 8). Soler, Pallí i Brusi (2013) descriuen la geologia de les Guilleries com:

Massís de sòcol de l'era Paleozoica, recobert discordantment per una successió sedimentària més jove, de l'era Cenozoica. Els materials del substrat paleozoic, bàsicament roques ígnies i metamòrfiques, afloren íntegrament a les Guilleries, (...) Les Guilleries enllacen, cap al sud i sud-oest amb el massís de roques paleozoiques del Montseny, amb el qual comparteixen nombroses característiques geològiques de tipus petrològic i estructural. Al sud-est i est limiten, respectivament, amb les depressions tectòniques del Vallès i la Selva, reblertes de sediments detrítics continentals del Neogen i del Quaternari. Per l'oest, són vorejades per la cobertura sedimentària paleògena de la Conca de l'Ebre, al sector de la Plana de Vic. El basament paleozoic de les Guilleries és constituït per dos grans grups de materials. Per una banda, circumscrita al quadrant nord-est, hi ha una potent sèrie metamòrfica que deriva de materials originàriament sedimentaris, volcànics i subvolcànics del Paleozoic inferior. (...) Per un altre costat, les tres quartes parts restants del massís les ocupa una gran extensió de roques ígnies plutòniques i hipabissals del Paleozoic superior, formades per diversos tipus de granitoides. Aquestes també presents, en menor proporció, a les àrees on afloren els materials metamòrfics. (p.21-23)

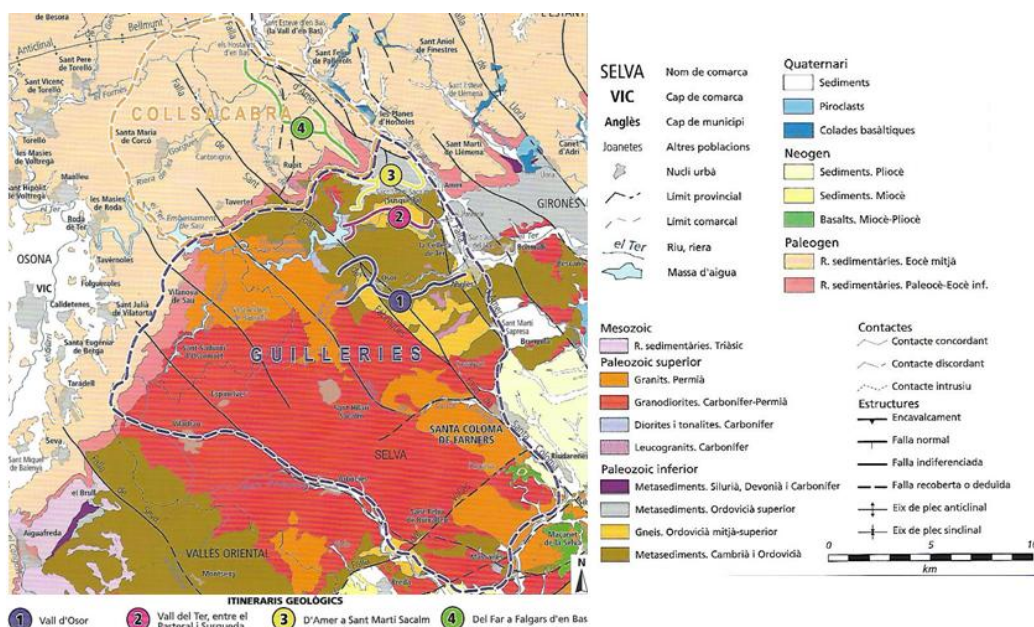


Figura 8. Context geològic de les Guilleries. Font: Soler, *et al.* (2013).

A nivell hidrogeològic, Sant Hilari Sacalm està inclòs, en la seva totalitat, en la massa d'aigua subterrània del Montseny- Guilleries, definida per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA, 2004). Es

considera que aquesta està constituïda pels materials granítics descrits anteriorment, així com els materials sedimentaris de l'al·luvial, en els quals existeix una certa connexió entre ambdues tipologies. L'aqüífer granític és de tipus lliure en superfície i confinat en profunditat; els aqüífers sedimentaris són lliures i estan desconnectats entre ells. La vulnerabilitat intrínseca per a la totalitat de la massa d'aigua subterrània del Montseny- Guillerics és de magnitud baixa (Agència Catalana de l'Aigua, 2004).

1.2.3. La flora de les Guillerics

Al nord-oest del massís de les Guillerics hi ha l'Espai natural de les Guillerics-Savassona, que té una superfície protegida de 8.376 ha. El parc natural comprèn dos espais naturals inclosos en el Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN): les Guillerics i Savassona, que es troben en la zona de transició del sistema transversal i el mediterrani. Concretament, l'àrea de les Guillerics que forma part de l'espai natural és la corresponent als municipis de Vilanova de Sau i de Sant Sadurní d'Osormort (Parcs de Catalunya, s.d. a). Tot i això, la vegetació del parc correspon també a la característica de tot el massís de les Guillerics.

La vegetació del parc natural es caracteritza per seguir la successió vegetal típica de la muntanya mediterrània que arrenca de la base amb la roureda submediterrània a causa de la inversió tèrmica i que a mesura que superem la plana continua amb l'alzinar, el qual dona pas novament a la roureda, atès que les Guillerics rep la influència de la dorsal pluviomètrica, que és la línia de màxims pluviomètrics de Catalunya (Martín i Moreno, s.d.). En les zones obagues i humides s'hi troben freixenedes i fagedes, mentre que en el fons de les valls amb torrents i cursos d'aigua es troben boscos de ribera, com vernedes i omedes. Els boscos de ribera, principalment de vern, són abundants a les Guillerics, ja que en aquesta zona hi ha diverses rieres i torrents que conformen una xarxa hidrogràfica extensa. La silvicultura és un recurs econòmic important a l'àrea, principalment formada per castanyers i diverses espècies de coníferes, com avets i pins (Parcs de Catalunya, s.d. b).

1.2.4. Climatologia

El clima de Sant Hilari Sacalm, està caracteritzat per uns estius curts i calents, i uns hiverns llargs, freds i parcialment ennuvolats. Durant el transcurs de l'any, la temperatura generalment varia de -3 °C a 27 °C, i poques vegades baixa a menys de -7 °C o puja més de 31 °C (Weather Spark, 2016).

Tal com es pot observar en el climograma de Sant Hilari Sacalm (Figura 9), hi ha precipitacions durant tot l'any. La temperatura mitjana és d'11,8 °C i la precipitació mitjana és de 894

mm/any. La classificació del clima de Köppen-Geiger del municipi és Cfb (Climate-Data, s.d.). Aquesta classificació divideix els diferents climes del planeta en funció de la temperatura i la precipitació mitjana mensual i anual. El tipus de clima Cfb està caracteritzat per un estiu temperat amb una temperatura mitjana del mes més càlid inferior a 22 °C i una temperatura mitjana superior a 10 °C en més de 4 mesos de l'any (Meteo Illes Balears, 2015).

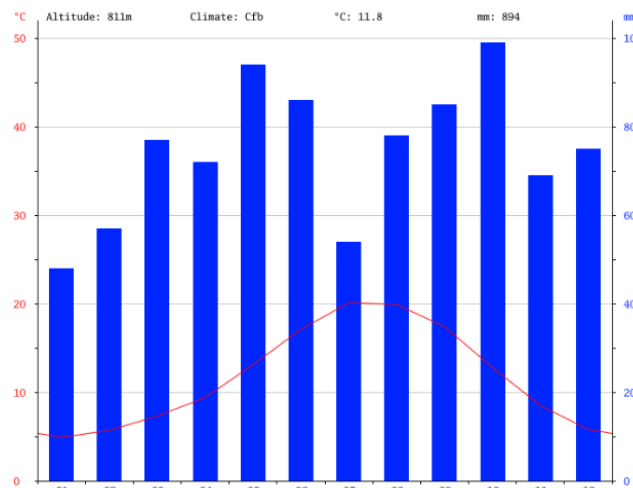


Figura 9. Climograma de Sant Hilari Sacalm. Font: Climate-Data.

A partir de les dades meteorològiques de la Xarxa Meteorològica Guillerries- Savassona (2018), s'ha realitzat un gràfic amb les precipitacions i temperatures de Sant Hilari Sacalm durant els mesos en què s'ha realitzat l'estudi, i els quatre mesos previs (Figura 10).

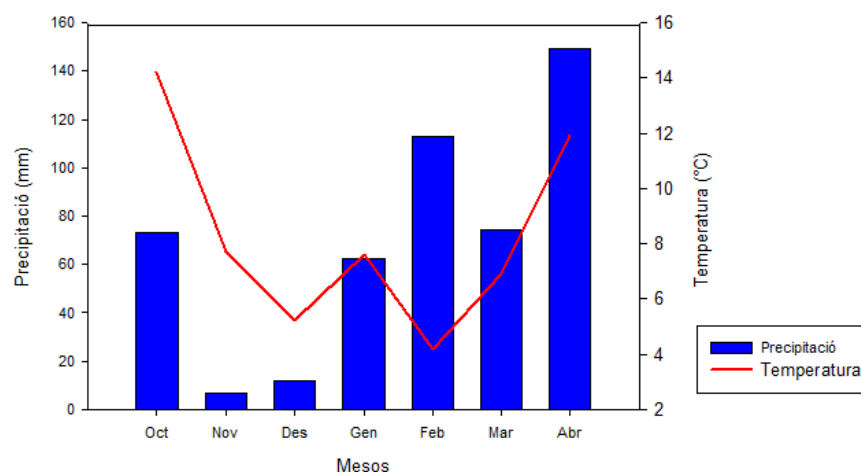


Figura 10. Gràfic de la temperatura i precipitació durant els mesos previs i durant la realització de l'estudi. Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'estació meteorològica de les Guillerries.

En els tres mesos que s'ha dut a terme el treball de camp, s'ha produït una precipitació elevada, i s'ha observat un augment de les temperatures. Durant els mesos previs, hi ha hagut

una precipitació baixa al novembre i al desembre, i una precipitació mitjana a l'octubre i al gener. Pel que fa a les temperatures, durant aquests quatre mesos, s'ha produït una gran disminució en els tres primers mesos, i un posterior augment al gener (Figura 10).

2. Objectives

Sant Hilari Sacalm is a town with a large number of springs, but its number is unknown, especially as a result of the abandonment and loss of some historical springs. According to the Municipal Planning Plan (POUM), the township has 112 springs, but how many are still active is still unknown (Serveis tècnics del Consell Comarcal de la Selva, 2016). For this reason, at the moment, a recognition of the territory is being realized in order to create a catalogue of the springs of the township.

In relation to these aspects, the aim of this project is to characterize the main springs of the township of Sant Hilari Sacalm, at hydraulic, hydrochemical and hydrogeological level, as a basis for their protection and natural heritage assessment. In this sense, are considered as specific objectives:

- 1- The geological and hydrogeological classification of the Sant Hilari Sacalm springs.
- 2- The hydraulic characterization and the determination of its water balance, to define its hydrographic basins.
- 3- The analysis of the hydrochemical characteristics of each spring, and the quality problems according to the uses of its hydrographic basin.

3. Metodologia

3.1. Treball de camp: Mostreig de les fonts

El treball de camp s'ha dut a terme en 16 campanyes de camp compreses entre l'1 de febrer i el 2 de maig del 2018 (Figura 13). Durant el reconeixement que s'ha dut a terme durant la realització d'aquest estudi, s'han identificat i localitzat 105 fonts i s'ha comprovat que 6 fonts històriques ja no existeixen en l'actualitat (Figura 11).

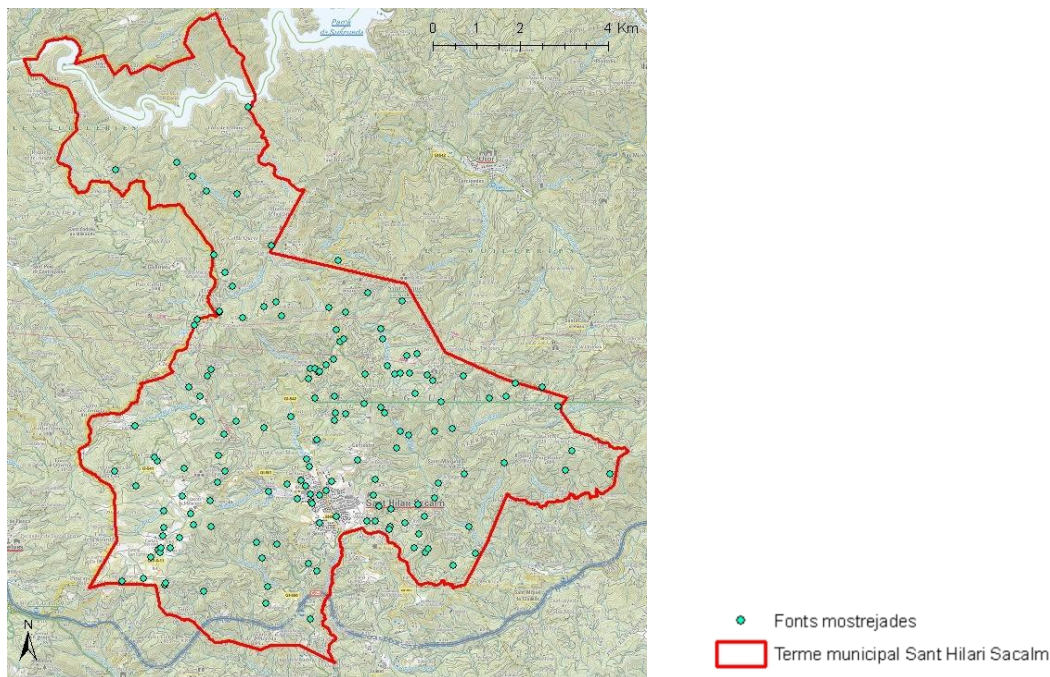


Figura 11. Mapa de la situació geogràfica de les fonts mostrejades a Sant Hilari Sacalm.

D'aquestes 105 fonts trobades, s'ha omplert una fitxa de camp amb informació descriptiva d'aquestes, així com la seva hidrogeologia, hidroquímica, geologia i sobre la vegetació de l'entorn. Aquelles fonts trobades que estaven en funcionament, i que per tant no estaven seques, han estat mostrejades, s'ha mesurat el seu cabal i han estat analitzades hidroquímicament in situ. Se n'ha calculat la temperatura, el pH, la conductivitat, el potencial redox (Eh) i l'oxigen dissolt. Per a mesurar aquests valors, s'ha utilitzat un pH-metre (pH 330i WTW), un conductímetre (Crison CM 35), un mesurador de potencial redox (WTW) i un oxímetre (Crison oxi 45P). Aquests aparells mesuren les propietats de l'aigua que circula per una cel·la de flux, per evitar el contacte d'aquesta amb l'atmosfera, i en aquelles fonts en les quals no és possible instal·lar la cel·la s'utilitza un recipient de plàstic (Figura 12).



Figura 12. Cel·la de flux i aparells utilitzats en el treball de camp. Font: Soler, 2018.

Per a calcular el cabal de les fonts s'ha utilitzat una proveta d'1 L i un cronòmetre. El procediment consisteix a situar la proveta al broc de la font i mesurar el temps que triga a emplenar-se la proveta, com a mínim fins a 700 ml. Aquesta operació es repeteix 5 vegades per tal d'obtenir un resultat més fiable. A continuació, es calcula el cabal de cada mesura, dividint el volum obtingut pel temps transcorregut en omplir-se, i després s'ha calculat la mitjana dels 5 cabals per tal d'obtenir el cabal de la font.

La climatologia durant les campanyes de camp, i durant els dies previs, ha variat molt (Figura 13). Per aquest motiu, cal tenir en compte que les dades recollides durant l'estudi corresponen a unes condicions climàtiques variants i específiques del dia de mostreig.

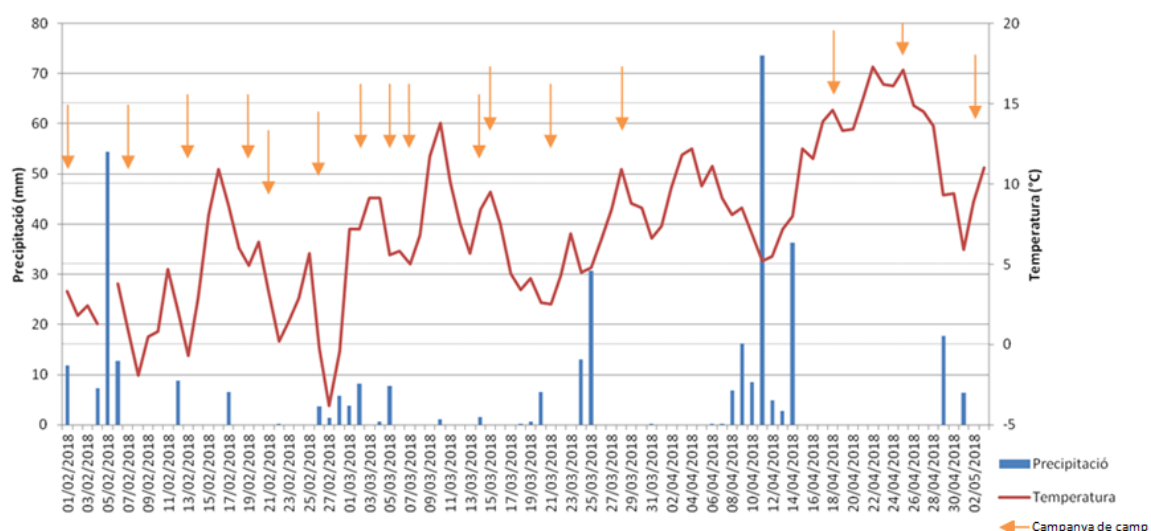


Figura 13. Temperatura i precipitacions en les campanyes de camp.

3.2. Anàlisi de mostres al laboratori

Per tal de realitzar una anàlisi química més exhaustiva de l'aigua, les mostres recollides de 38 fonts s'han enviat al laboratori. Les mostres d'aigua han estat analitzades químicament per l'Institut Català de la Recerca de l'Aigua (ICRA), un laboratori extern situat al Parc Tecnològic de Girona. A partir de la tècnica instrumental de la cromatografia iònica, s'han calculat les concentracions de Br^- , F^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Li^+ , K^+ i NH_4^+ . El Nitrogen Total (TN) i el Carboni Orgànic Total (TOC) s'han determinat per oxidació catalítica. Els NO_2^- , NO_3^- i els PO_4^{2-} s'han determinat per espectrofotometria. Al mateix temps, en els laboratoris de la Universitat de Girona (UdG) s'ha dut a terme l'anàlisi de l'alcalinitat de les mostres. S'ha determinat mitjançant el mètode de Gran amb H_2SO_4 0,01N.

3.3. Classificació hidrogeologia de les fonts

En l'apartat 1.1. d'aquest estudi s'han descrit les diferents tipologies de fonts en funció de la seva hidrogeologia. Al camp, s'observa que les fonts no s'han format únicament a partir d'un dels tipus prèviament descrits, sinó per varis d'aquests, en més o menys mesura. Per aquest motiu, s'han establert per cada font les seves tipologies principals i secundàries, en funció de la classificació adaptada per Menció, *et al.* (2009). Amb els resultats obtinguts al camp, s'ha realitzat una nova classificació, a partir d'agrupar les fonts més semblants pel que fa a les seves tipologies hidrogeològiques.

3.4. Anàlisi hidroquímic de les fonts

Les dades obtingudes en el mostreig de camp i al laboratori s'han analitzat a partir de diferents programaris estadístics, el SigmaPlot i el PHREEQC. Amb aquests programes s'han tractat les dades químiques obtingudes del laboratori, per tal de poder-les analitzar i obtenir les conclusions corresponents. A més a més, els resultats obtinguts permeten classificar les fonts a partir de la seva hidroquímica.

3.5. Determinació de les conques de drenatge de les fonts

Per a determinar les conques de drenatge de les fonts mostrejades, s'ha utilitzat el programa Arcmap10, a partir dels sistemes d'informació geogràfica (GIS). Primerament, durant les campanyes, s'han establert les coordenades precises de les fonts mostrejades. Una vegada situades en el mapa, s'ha procedit a determinar la conca de drenatge de cada font, i s'ha calculat la seva àrea, a partir del model d'elevacions 2x2 i del mapa topogràfic 1:5.000. De les 105 fonts mostrejades, s'ha realitzat la conca de drenatge de 82 fonts. Finalment, s'han determinat els diferents usos del sòl que es produeixen en cadascuna de les conques de drenatge, així com el percentatge de superfície que representa cada ús del sòl respecte del total de la conca. D'aquesta manera, es pot observar l'efecte que produeixen els diferents usos del sòl en l'aigua de les fonts.

3.6. Ètica i sostenibilitat

Durant la realització d'aquest estudi s'han dut a terme algunes accions que han comportat una certa pressió sobre el medi ambient. Primerament, s'ha produït una pressió sobre l'entorn fruit de la utilització de cotxe per als desplaçaments i recerca de fonts pel municipi. En les campanyes de camp, s'ha produït una compactació del sòl en caminar o circular en cotxe pels camins de la muntanya, aquesta compactació provoca una disminució de la retenció de l'aigua,

i per tant, fa que augmenti l'escorrentia superficial i l'erosió. El pas pels camins i pel mig de la muntanya, també malmet la coberta vegetal en trepitjar-la i en compactar el sòl, ja que es dificulta el seu arrelament. Els sorolls realitzats, principalment amb el cotxe, en zones de la muntanya habitualment poc freqüentades, provoca una afectació en la fauna pròxima. Tot i això, es considera que l'impacte realitzat durant aquest estudi és mínim.

En l'anàlisi realitzats al laboratori s'han generat uns residus líquids, que s'han dipositat en els contenidors corresponents, els quals seran portats a gestors de residus autoritzats que s'encarregaran de la seva gestió, reduint o evitant al màxim l'impacte ambiental que aquests residus puguin causar. Els altres residus generats durant el treball de camp o laboratori, també s'han dipositat en els contenidors adequats per a la seva gestió. Amb l'adequada gestió d'aquests residus s'ha evitat un impacte sobre el medi. És important prendre consciència de les pressions que es poden generar en el medi durant l'estudi, per així reduir les afectacions a l'entorn.

4. Resultats i Discussió

4.1. Classificació hidrogeològica de les fonts

Les fonts analitzades s'han classificat en funció del seu origen hidrogeològic i dels usos del sòl que predominen en la seva conca de drenatge. Aquestes classificacions permeten realitzar una diferenciació en les dades químiques obtingudes.

Tal com s'ha explicat anteriorment, al camp s'ha observat que l'origen hidrogeològic de les fonts no segueix de manera precisa la classificació prèviament explicada a l'apartat 1.1. Per aquest motiu, s'han classificat les fonts mostrejades en 9 grups, que són els següents: Materials alterats, Materials alterats amb materials sedimentaris quaternaris, Fractures/diàclasis o relacionades amb dics, Falla regional, Materials sedimentaris quaternaris, Escolament subsuperficial, Mina, Pou o xarxa potable, i finalment, Desconegut, que inclou aquelles fonts en què no s'ha pogut determinar el seu origen. D'aquestes, el grup més comú és el format en materials alterats, i el segon més comú és el format en materials sedimentaris quaternaris.

En les conques de drenatge hi ha molts usos del sòl diferents, per aquest motiu, s'han agrupat els diferents tipus en 5 grups principals (Taula 2).

Usos del sòl	Codi	Superfície de les conques de drenatge(%)
Conreus	G1	4,088
Plantacions i coníferes	G2	23,769
Urbà	G3	3,586
Boscors Naturals	G4	61,863
Altres	G5	6,693

Taula 2. Usos del sòl de les conques de drenatge.

Cada conca té diferents superfícies de cada ús del sòl (Figura 14). Per tal d'analitzar quins són els usos més comuns en les conques de drenatge, s'ha calculat l'àrea que hi ha de cada ús, en totes les conques. A continuació, s'han sumat, per cada ús, les àrees de totes les conques. Finalment, s'ha calculat quin percentatge representa cada ús, en el total de fonts analitzades. D'aquesta manera, s'ha pogut determinar que els usos del sòl més abundants en les conques de drenatge són els boscos naturals, amb un 61,9%, i les plantacions, amb un 23,8% (Taula 2). Dins el grup de les plantacions de vivers s'inclouen les coníferes, perquè es considera que aquests boscos són resultat de la silvicultura, sent aquestes espècies les més utilitzades al municipi. Les gràfiques realitzades en aquest estudi que valoren l'efecte dels usos del sòl, únicament utilitzen l'ús més representatiu de cada font, és a dir, aquell que té un major percentatge d'ocupació de la conca.

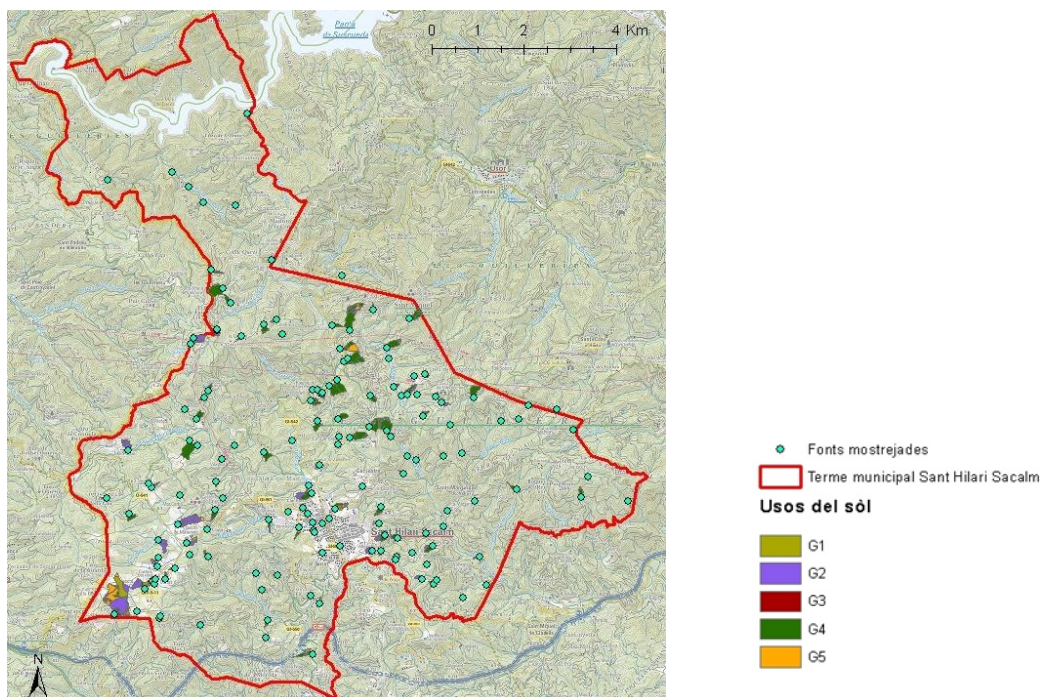


Figura 14. Mapa dels usos del sòl de les conques de drenatge, de les fonts mostrejades a Sant Hilari Sacalm. G1 (Conreus), G2 (Plantacions i coníferes), G3 (Urbà), G4 (Boscors Naturals) i G5 (Altres).

4.2. Anàlisi dels cabals i la seva relació amb la seva conca de drenatge

De les 105 fonts localitzades, només en 58 s'ha pogut calcular el cabal (Figura 15). Les fonts en les quals no s'ha pogut calcular el cabal, ha estat conseqüència d'estar seques, estar regulades per una aixeta o degut a altres dificultats trobades durant el mostreig. Les fonts en les quals sí que s'ha calculat el cabal, s'han distribuït en funció de la classificació de Meinzer (1923), ja explicada en l'apartat 1.1. (Taula 1).

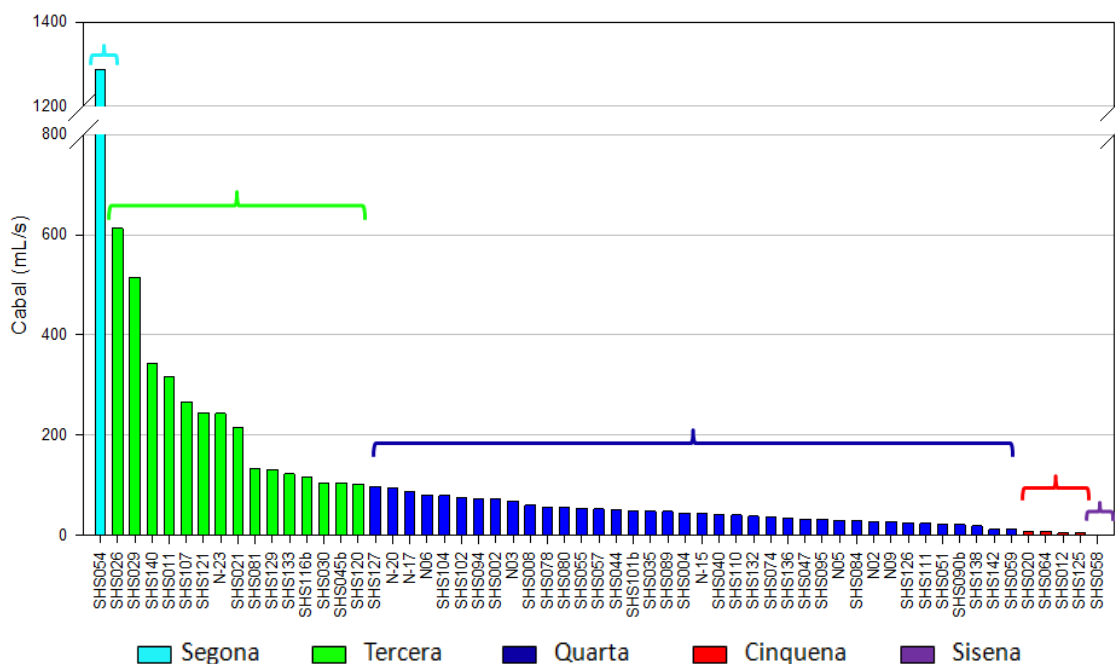


Figura 15. Classificació de les fonts estudiades en funció del seu cabal. Font: Elaboració pròpia.

De les fonts en què s'ha mesurat el cabal, únicament 1 correspon a la segona categoria, amb una representació de l'1,7% del total (Figura 15). Un 25,4% de les fonts, és a dir, 15 fonts, s'inclouen en la tercera categoria. La quarta categoria inclou 38 fonts, sent la que té més representació amb un 64,4%. En la cinquena, s'inclouen 4 fonts, un 6,8%, i en la sisena, només 1. No hi ha cap font amb un cabal superior a 10.000 mL/s ni inferior a 0,1 mL/s, per aquest motiu, no hi ha fonts en la primera, setena i vuitena categories.

Els cabals que s'han calculat en aquest estudi corresponen a una mesura d'un únic dia, i per tant, no s'ha fet un seguiment al llarg del temps de les possibles variacions que aquestes poden tenir. Per aquest motiu, cal tenir present que són valors orientatius i que els cabals no només depenen de la intensitat de la precipitació i del tipus de sistema de flux, sinó també de l'estat hídric del sòl i les propietats de la precipitació (Vilanova, 2004).

Es podria pensar que el tipus d'usos del sòl de la conca de drenatge i/o l'origen hidrogeològic de les fonts influència en el seu cabal, però a partir de les dades recopilades, s'ha observat que no és així (Figura 16). Ja que no es produeix una agrupació dels cabals en funció de les classificacions anteriors. D'aquesta manera s'observa, que fonts d'una mateixa classificació tenen cabals diferents, mentre que fonts de classificacions diferents tenen cabals similars.

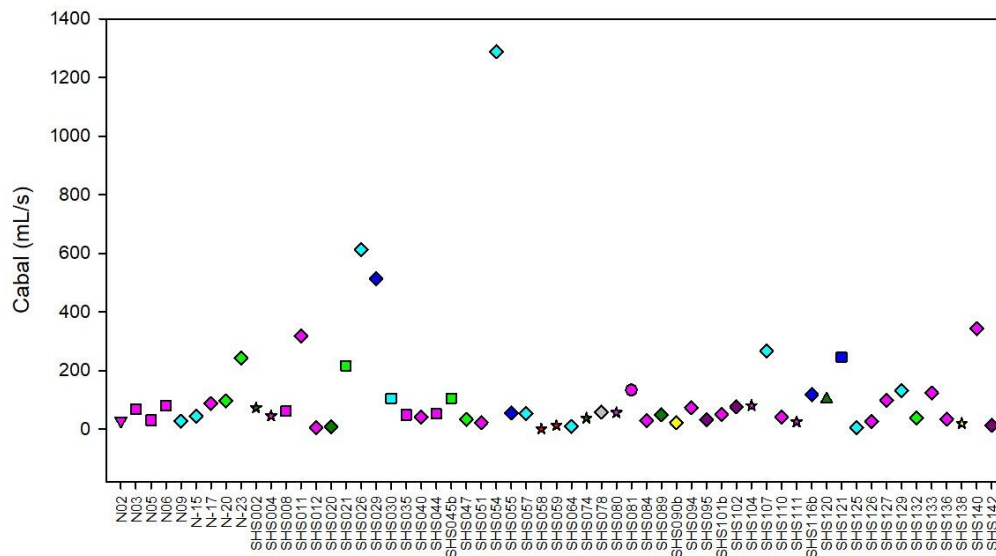


Figura 16. a) Relació entre el cabal i la classificació hidrogeològica i d'usos del sòl . (Veure llegenda en la Figura 18).

Per a determinar la relació que s'estableix entre el cabal i la superfície de la conca de drenatge, també s'ha tingut en compte la precipitació (P) i l'evapotranspiració (ET), determinades a partir de la mitjana de les dades diàries del mes anterior al mostreig. I s'ha calculat la pluja útil, que és la diferència entre la precipitació i l'evapotranspiració (P-ET) (Figura 17). Es defineix evapotranspiració com el volum d'aigua que des de l'estat sòlid o líquid passa a l'atmosfera ha estat vapor, bé per evaporació directa o per la transpiració de les plantes. L'evapotranspiració és un paràmetre difícil d'estimar amb precisió, ja que depèn de factors lligats a la meteorologia (precipitació, radiació solar i humitat de l'aire), de factors lligats a la vegetació (densitat, tipus i grau de desenvolupament) i de factors lligats al sòl (textura i estructura), que condicionen la seva capacitat d'emmagatzematge d'aigua (Martínez, Martínez i Castaño, 2006).

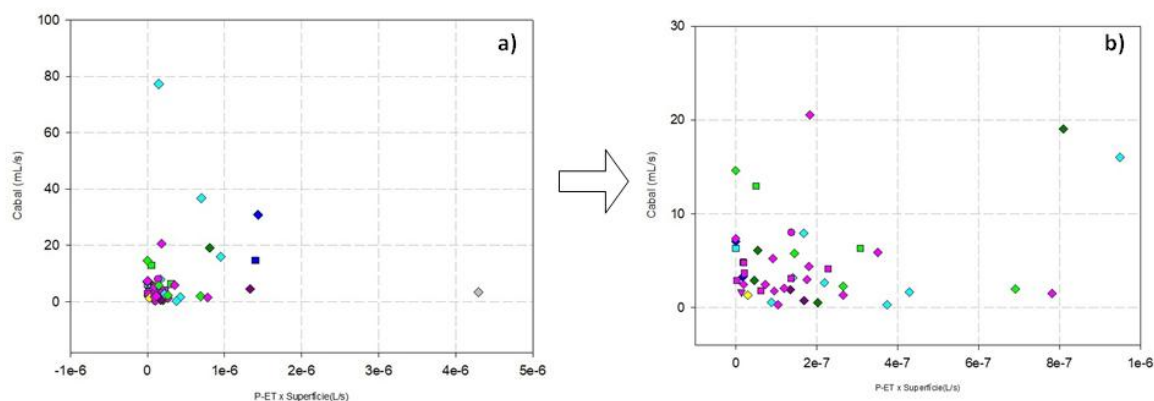


Figura 17. a) Relació de la pluja útil i la superfície de la conca de drenatge amb el cabal de les fonts analitzades. b) Augment del gràfic a) en la zona de major concentració de fonts. (Veure llegendes en la Figura 18).

La major part de les fonts analitzades, tenen un cabal i superfície baix, però tot i això, s'observa que el cabal augmenta en funció de la superfície i la pluja útil (Figura 17a). Encara que hi ha dues excepcions, la primera és la Font de Sant Daniel (SHS054) que té un cabal elevat i una conca petita. Això, és degut al fet que la font obté aigua de la torrentera situada en les proximitats. La segona és la Font del Faig (SHS078), que té un cabal baix i una superfície elevada, possiblement perquè la situació actual de la font no és l'original, i per tant no correspon amb la conca de drenatge calculada. Si s'augmenta la visió de la part del gràfic on es concentren la majoria de les fonts (Figura 17b), s'observa amb més facilitat la posició de les fonts. Observant així, que per un mateix cabal algunes fonts tenen superfícies diferents. Aquest fet, podria ser conseqüència d'un error en el càlcul de la conca de drenatge, de què la font hagi estat desplaçada del seu punt original o que al ser una mesura de cabal d'un únic dia, aquest no s'ajusti a les condicions de cabal habitual. Pel que fa als usos del sòl, no s'observa una clara diferenciació, però si es pot veure que les fonts amb un major cabal i/o superfície es situen en boscos naturals.

4.3. Caracterització hidroquímica de les fonts

Les fonts analitzades es distribueixen pel territori de manera dispersa i independentment del seu origen hidrogeològic (Figura 18). Tot i això, hi ha dues zones on es poden agrupar les fonts en funció de les seves característiques. En la zona nord (cercle cian), es troben fonts en materials sedimentaris quaternaris i en zona de bosc natural, juntament amb les fonts picants, que provenen d'una falla regional. En la zona oest (cercle rosa), hi predominen fonts en materials alterats i situades en plantacions. També s'observa, que les dues fonts corresponents a una hidrogeologia en fractures/diàclasis o relacionades amb dics, estan relacionades

cadascuna amb una de les zones descrites anteriorment. Per aquest motiu, seria adequat englobar aquestes dues fonts en les zones corresponents.

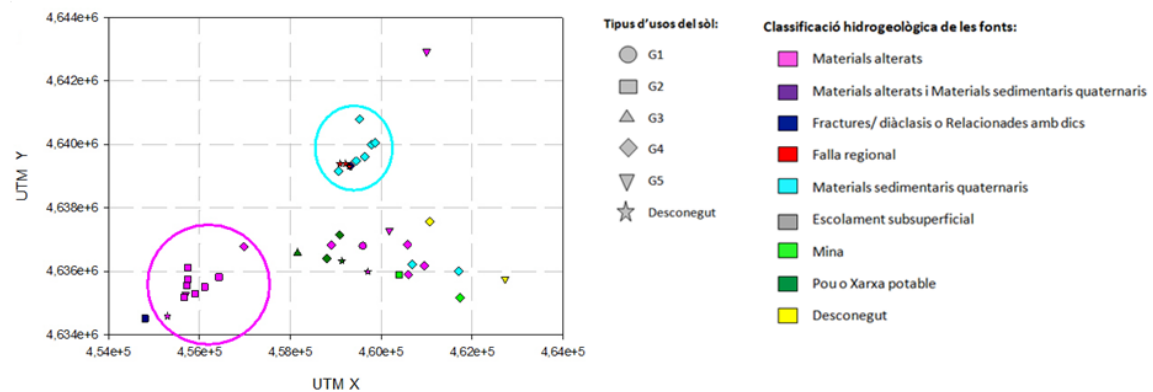


Figura 18. Distribució geogràfica de les fonts analitzades.

En els diagrames ternaris de Piper (1944), cadascun dels vèrtexs d'un triangle equilàter representa el 100% de la concentració en meq/L d'un determinat element i el 0% de l'element situat en el vèrtex següent. En aquest tipus de diagrames, els punts que queden agrupats defineixen famílies d'aigua de característiques químiques semblants respecte al seu contingut iònic (Martínez, *et al.* 2006).

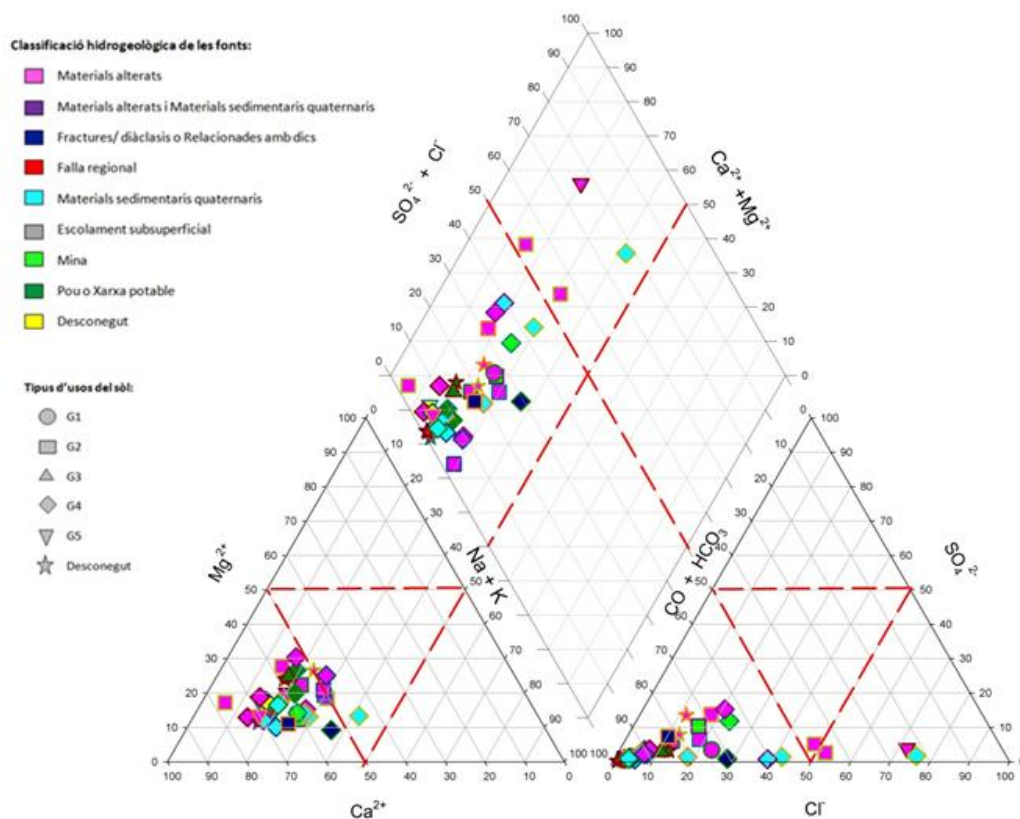


Figura 19. Diagrama de Piper de les fonts analitzades.

A partir del diagrama de Piper (Figura 19), s'observa que les mostres d'aigua analitzades presenten, pel que fa als cations, principalment calci. En referència als anions, les aigües principalment contenen bicarbonats i alguns clorurs. Per tant, les fonts es poden classificar principalment com a bicarbonatades, excepte quatre que serien clorurades. Aquestes fonts clorurades no estan totes agrupades en la mateixa zona, però si s'agrupen en dues zones diferents, amb dues fonts per cadascuna. En el diagrama no s'observa que l'origen hidrogeològic de les fonts i/o els diferents usos del sòl comportin una classificació específica a nivell químic (Figura 19).

El sistema carbonatat és el que defineix els factors que controlen la dissolució de la calcita (CaCO_3) i l'estat en què es troba aquesta en dissolució, en funció del pH. La dissolució de la calcita es pot produir en un sistema obert, en el qual l'aigua està en contacte amb l'atmosfera, o en un sistema tancat, on l'aigua no està en contacte (Figura 20a).

En un sistema obert, a mesura que es va dissolent calcita van augmentant el pH i els bicarbonats. Les línies ascendents del gràfic mostren la relació entre el pH i els bicarbonats per diferents pressions parcials del CO_2 , el valor de pH i la concentració de bicarbonats (Figura 20a). Per tant, com més baixa sigui la pressió parcial del CO_2 , major serà el valor de pH i menor la concentració de bicarbonats. En canvi, en un sistema tancat, com l'aigua no està en contacte amb l'atmosfera, la difusió del CO_2 és més difícil. Per tant, arribarà un punt en el qual la calcita ja no es podrà dissoldre perquè s'haurà consumit tot el CO_2 . La línia descendent indica el límit a partir del qual les mostres es saturen de calcita (per sobre la línia). Les mostres que se situen per sota la línia són aquelles que encara no han arribat l'equilibri de la calcita (Stumm i Morgan, 1996).

De les mostres analitzades, n'hi ha 8 que estan saturades de calcita. Aquestes, es distribueixen per tota la zona d'estudi, però sí que s'observen algunes peculiaritats (Figura 20a). Totes les mostres que provenen d'un pou o de la xarxa potable, estan saturades de calcita, això pot ser causa de què a l'haver estat extretes a través de pous, el temps de trànsit ha estat més gran que en les fonts que solen presentar fluxos més superficials i locals, i han assolit l'equilibri amb la calcita. Les altres fonts no estan saturades, i es distribueixen tant en el sistema obert, com en el tancat. Les fonts picants són les tres estrelles vermelles del gràfic, i degut a les seves propietats químiques es distribueixen allunyades de les altres mostres (Figura 20a). Això és conseqüència de què en tractar-se de fonts picants, reben l'entrada de CO_2 endogen, presentant així pressions parcials del CO_2 molt més altes que la resta de mostres i per tant, continguts més alts de bicarbonats amb pHs més baixos.

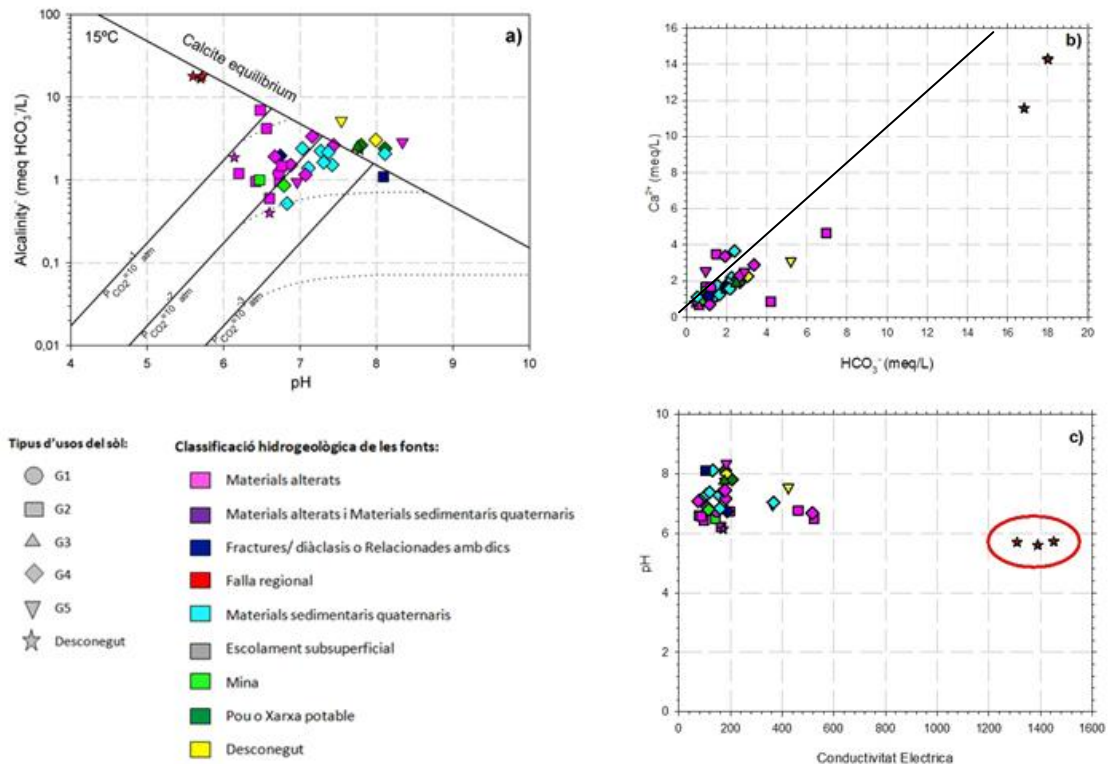
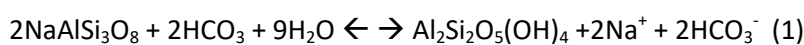


Figura 20. a) Camins de dissolució de la calcita. b) Relació entre el bicarbonat i el calci. c) Relació entre la conductivitat elèctrica i el pH.

La relació entre el calci i el bicarbonat és 1:1 en la majoria de les fonts, exceptuant algunes que tenen valors lleugerament superiors o inferiors a les altres (Figura 20b). Totes les fonts tenen valors de pH entre 6 i 8, exceptuant les fonts picants (cercle vermell). Les fonts picants són àcides a causa de la dissolució del CO_2 , per tant, dissolen els minerals del sòl, i per aquest motiu, tenen uns valors de conductivitat elevats (Figura 20c).

Per analitzar aquestes diferències observades en la relació entre Ca^{2+} i HCO_3^- , s'han realitzat la Figura 21a i la Figura 21b. La majoria de les fonts mostren una equivalència entre $\text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$ i els ions $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, i també entre el Na^+ i Cl^- , perquè se situen a valors pròxims a zero (Figura 20a). Les fonts picants tenen també unes elevades concentracions de sodi. En la Figura 20a s'observa que les fonts picants es desplacen cap al sud-est del gràfic, seguint aproximadament la reacció descrita com a 3 o 4, és a dir, que es produeix un intercanvi catiònic o la dissolució incongruent de l'albita a caolinita (Reacció 1).



En canvi, a la Figura 20b les fonts picants estan desplaçades, aproximadament, uns 2-3 meq/L cap a la dreta de la recta 1:1, és a dir, que contenen entre 2 i 3 meq/L de HCO_3^- més que de

Ca^{2+} , que concretament és la concentració que tenen de sodi. Això vol dir que han augmentat per igual els bicarbonats i el sodi, i que per tant, no hi ha un intercanvi catiònic en les mostres de les fonts picants sinó una dissolució d'albita o d'algun silicat que conté bicarbonats i sodi. (Menció *et al.*, 2013). En canvi, la major part de les fonts tenen baixes concentracions de sodi i unes concentracions variants, però principalment concentrades entre 0,1 i 0,2 mmols/L, de silicats (Figura 21c).

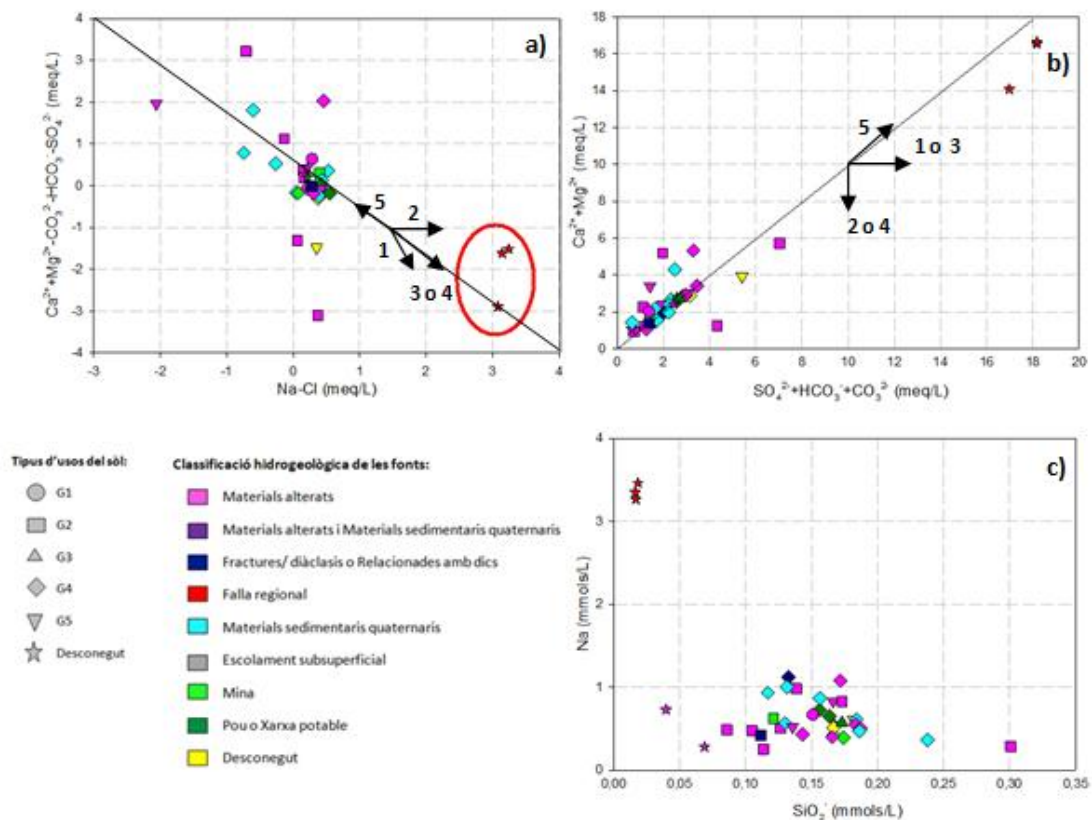


Figura 21. a) Relació entre Na-Cl i $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$. b) Relació entre $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ i $\text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$. c) Relació entre Na i SiO_2 .

Un dels problemes de qualitat que poden presentar les fonts en materials silícics és la concentració de fluor a l'aigua. El fluor dissolt prové principalment de la dissolució de CaF_2 , ja que la fluorita és el mineral menys soluble que conté fluor. La fluorita precipita amb una certa rapidesa quan hi ha calci en dissolució, i sovint es troba fluor a elevades concentracions quan l'aigua presenta fàcies de tipus bicarbonatades sòdiques, a conseqüència d'un intercanvi catiònic o per la dissolució de silicats amb un contingut més elevat de sodi que de calci (Figura 22a). Hi ha fluor en dissolució perquè tot i que hi ha calcita en dissolució, les mostres es troben només una mica per sobre de la sobresaturació i per això no ha precipitat. Per tant, encara que les mostres presenten una fàcies bicarbonatada càlcica s'observa un cert contingut de fluor dissolt (Figura 22b). Les fonts picants superen el límit de qualitat de l'aigua de consum humà,

perquè la concentració màxima de fluor en l'aigua és de 0,08 mmols/L (Agència Catalana de l'Aigua, 2013). Per tant, segons el Real Decret 140/2003 les aigües de les fonts picants no són aptes per al consum humà.

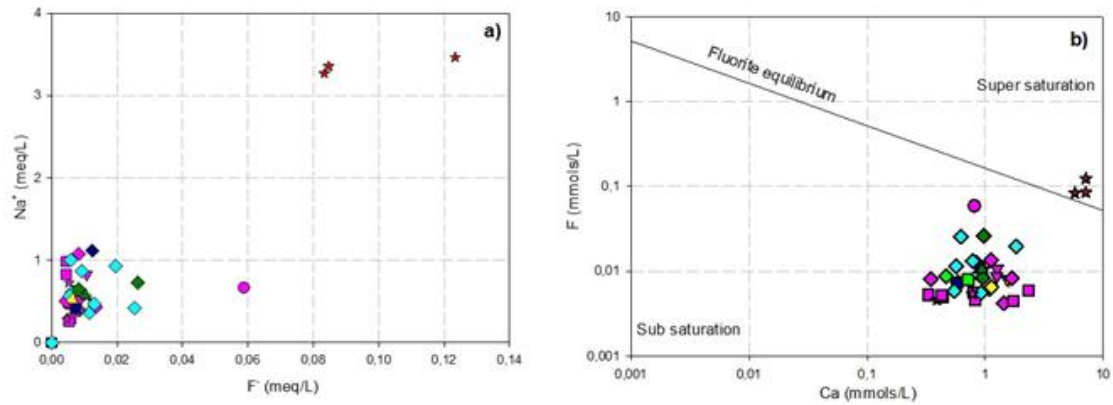


Figura 22. a) Relació entre Na^+ i F^- . b) Relació entre F^- i Ca^{++} . Veure llegenda a la Figura 22.

Els valors obtinguts de la relació $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ són més petits que 1, per tant les mostres d'aigua tenen més calci que sodi (Figura 23a). Pel que fa als carbonats, la majoria de fonts en tenen a concentracions baixes, excepte les fonts picants.

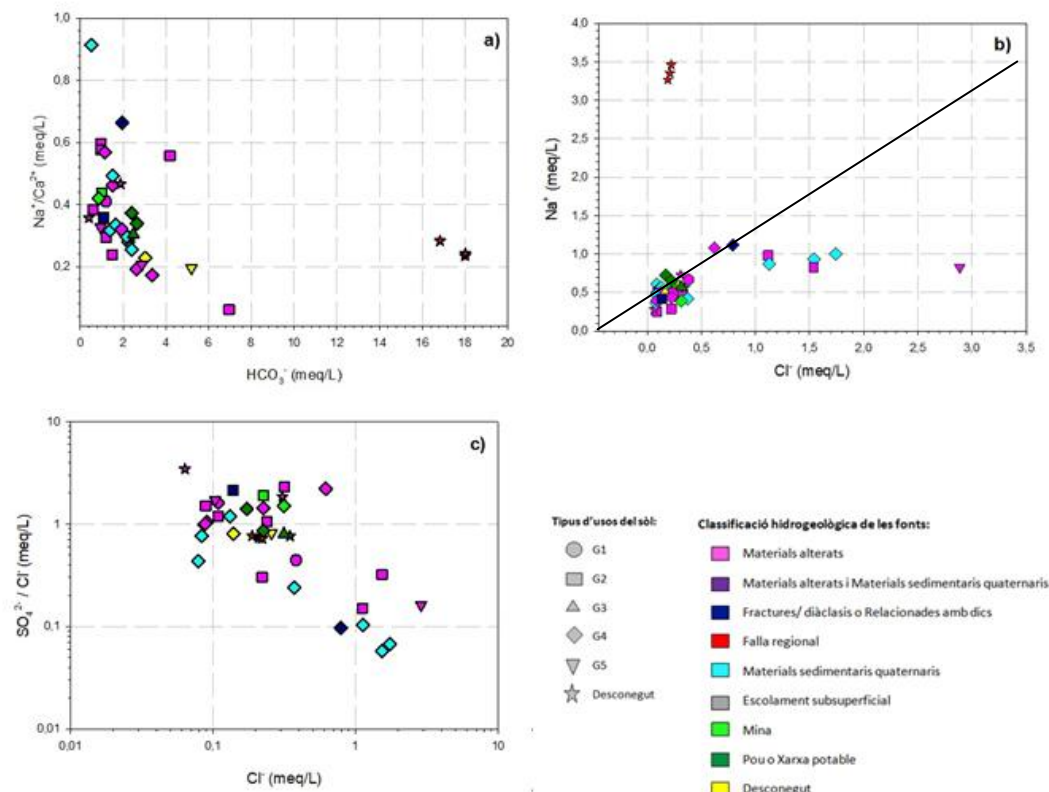


Figura 23. a) Relació entre $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ i HCO_3^- . b) Relació entre Na^+ i Cl^- . c) Relació entre $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ i Cl^- .

La majoria de mostres tenen concentracions baixes de sodi i clorurs, menys les fonts picants que tenen elevades concentracions de sodi, i quatre fonts que tenen concentracions altes de clorurs. Tot i això, hi ha més mostres amb concentracions de sodi, que no de clorurs (Figura 23b). Els clorurs són elements conservatius que poden venir de la dissolució de silicats (Vilanova, 2004). Els valors obtinguts de la relació $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ que són més petits que 1 és perquè tenen més SO_4^{2-} que Cl^- . En canvi, aquelles mostres que tenen valors superiors a 1 tenen més clorurs que sulfats (Figura 23c).

Finalment, s'ha analitzat els efectes dels usos del sòl en les característiques químiques de l'aigua, en concret la concentració de nitrats (Figura 24). Les fonts que tenen dins la seva conca conreus (G1) i plantacions (G2), són les que més concentració de nitrats mostren en les seves aigües. En canvi, les que es situen en boscos naturals (G4) tenen concentracions de nitrats més baixes. Les fonts que figuren com a Desconegut, són aquelles fonts de les quals s'ha analitzat la química, però no s'ha determinat la seva conca de drenatge, i per tant no es coneixen els seus usos del sòl.

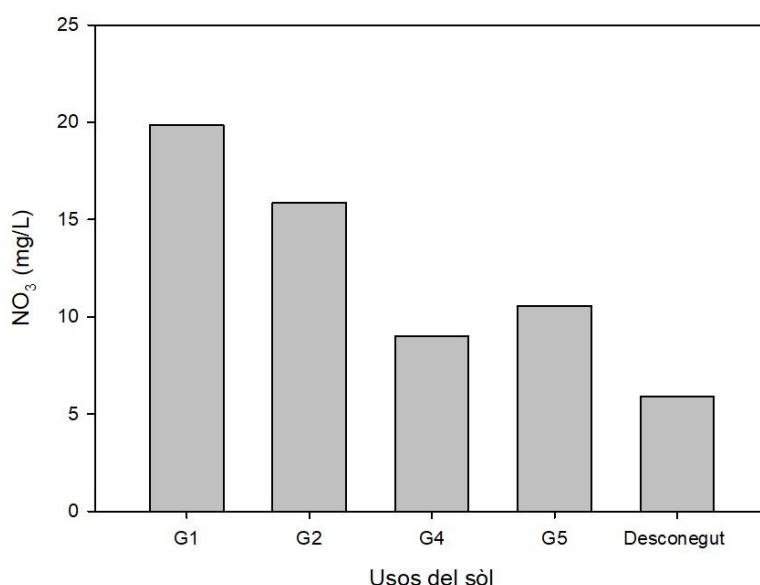


Figura 24. Concentració de nitrats en els diferents usos del sòl. G1 (Conreus), G2 (Plantacions i coníferes), G3 (Urbà), G4 (Boscos Naturals) i G5 (Altres).

Aquestes diferències de concentracions entre usos del sòl, poden ser deguts als químics que s'utilitzen en els conreus i en les plantacions. L'aplicació excessiva o inadequada dels fertilitzants nitrogenats en l'agricultura, i/o la contaminació per nitrats d'origen agrari, provinents dels excrements i residus de bestiar, són les causes de contaminació difusa de les aigües subterrànies més importants a Catalunya. Tot i això, cap font supera el límit de qualitat de l'aigua per a consum humà, que és de 50 mg/L (Menció, *et al.* 2009).

5. Conclusions

The study of the springs allows their classification according to their flow, their hydrogeological origin, the chemistry of their waters and depending on the uses of the soil present in their drainage basin. These classifications have been previously described in other studies, but their use varies depending on the area of study. The sampled springs are divided into 9 typologies, depending on their hydrogeological origin, being the most common group the formed in altered materials and the second most common formed in quaternary sedimentary materials. The flow of the springs analysed is included in five of the pre-established groups, because their values are between 10,000 mL/s and 0.1 mL/s. It has been observed that, mostly, the flow rate increases according to the surface and the P-ET ratio. Also, it has been possible to determine that the different types of hydrogeological origins of the springs and the uses of the ground of the drainage basin do not influence in the flow. There is no grouping between the flows of the samples of the same classification group.

Regarding its classification according to the uses of the soil, of the 5 groups created, the natural forests (G4) and the plantations and the coniferous forests (G2) are those that occupy more surfaces in the drainage basins of the springs. The different uses of the soil can have an effect on the hydrochemistry of the springs, for example with its concentration of nitrates. The springs located in plantations and crops present high concentrations of nitrates, which come from fertilizers and livestock excrements. Hydrochemically, the sampled springs are mainly bicarbonated, with the exception of four that are chlorinated. In general, the springs analysed can be described, excepting spicy springs, with have specific characteristics. These have a high pH, low conductivity, low concentrations of carbonates, chlorine, fluorine and sodium, and high concentrations of calcium and silicates. Instead, spicy springs have a lower pH, high conductivity, high concentrations of carbonates, chlorine, fluorine and sodium, along, with low concentrations of calcium and silicates.

6. Bibliografia

Agència Catalana de l'Aigua (2013). *Criteris de qualitat de l'aigua regenerada segons diferents usos*. Generalitat de Catalunya. Recuperat de: http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/ACA_criteris_reutilitzacio_aigues_regenerate_s_taula.pdf

Agència Catalana de l'Aigua (2004). *Fitxa de caracterització, anàlisi de pressions, impactes i anàlisi del risc d'incompliment*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Recuperat de: https://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/fitxes_masses_aigua_subterrania/mas_13_def.pdf

Bosch, M (s.d.). *La Font Picant: Històries del balneari de Sant Hilari Sacalm*. Recuperat de: http://www3.udg.edu/acces/Premis_Recerca/premis2004/treballs_recerca/comarcal/Meritxel_I_Bosch%20.pdf

Carcavilla, L., López, J., Durá,, J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. (1ª ed.). Madrid.

Climate-Data (s.d.). *Clima: Sant Hilari Sacalm*. Recuperat de: <https://es.climate-data.org/location/324690/>

Codina, E., Rocha, N. i Nunes, L. (2015). *El turisme de l'aigua i el Balneari de la Font Picant del s. XIX-s.XX*. Sant Hilari Sacalm. INS Antoni Busquets i Punset.

FETTER, C. W., (1994). *Applied hydrogeology*. (3a ed.). Nueva Jersey: Prentice Hall.

Gran enciclopèdia catalana (s.d. a). *Sant Hilari Sacalm*. Recuperat de: <https://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0059865.xml>

Gran enciclopèdia catalana (s.d. b). *Font*. Recuperat de: <https://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0109709.xml>

Kresic, N. i Stevanovic, Z. (2010). *Groundwater Hydrology of Springs: Engineering, Theory, Management, and Sustainability*. (1a ed.) Burlington: Elsevier.

Manga, M. (2001) *Using springs to study groundwater flow and active geologic processes*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 29:201-228.

Martín, J. I. Moreno, M. C. (s.d.). *El Montnegre: extrem sud de la dorsal pluviomètrica meridiana de Catalunya*. Universitat de Barcelona. Recuperat de: http://dibapn.orex.es/documents_diba/p05d045.pdf

Martínez, P. E., Martínez, P. i Castaño, S. (2006). *Fundamentos de Hidrología*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Menció, A., Boy, M. i 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*. Universitat de Girona i Consell Comarcal d'Osona.

Menció, A., Mas-Pla, J. Korb, K. i Hose, G. C. (2013). *Hydrochemical processes in the alluvial aquifer of the Gwydir River (northern New South Wales, Australia)*. Girona: Elsevier.

Meteo Illes Balears (2015). *Clasificación de Köppen en territorio español. Caracterización y cambios recientes*. Recuperat de: <http://www.meteoillesbalears.com/?p=272>

Parcs de Catalunya (s.d. a). *Espai Natural de les Guilleries-Savossona: Situació i accessos*. Diputació de Barcelona. Recuperat de: <https://parcs.diba.cat/web/guilleries/situacio-i-accessos>

Parcs de Catalunya (s.d. b). *Espai Natural de les Guilleries-Savossona: Vegetació*. Diputació de Barcelona. Recuperat de: <https://parcs.diba.cat/web/guilleries/flora-i-vegetacio>

Rosell, I (2017). *Estudi de les fonts com a patrimoni natural i cultural: Aplicació a Sant Hilari Sacalm*. Universitat de Girona.

Servei Meteorològic de Catalunya (2018). *Dades agrometeorològiques: Viladrau*. RuralCat. Generalitat de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Recuperat de: http://ruralcat.gencat.cat/web/guest/agrometeo.estacions?p_auth=TJzOUIX3&p_p_id=AgrometeoEstacions_WAR_AgrometeoEstacions100SNAPSHOT&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_AgrometeoEstacions_WAR_AgrometeoEstacions100SNAPSHOT_action=goEstacion

Stumm, W. i Morgan, J. (1996). *Aquatic chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters* (3a ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE núm. 45, de 21 de febrero de 2003

Serveis tècnics del Consell Comarcal de la Selva (2016). *Pla d'Ordenació Urbanística Municipal de Sant Hilari Sacalm*. Avanç de planejament. Recuperat de: http://www.santhilari.cat/files/pdf/poum/avanc_planejament/1012_Pln_DE_firmat.pdf

Soler, D., Pallí, Ll. i Brusi, D. (2013). *Geologia de les Guillerries i el Collsacabra: 4 itineraris pel sector gironí* (1a ed.). Girona: Universitat de Girona i Geodinàmica Externa.

Vilanova, E. (2004). *Anàlisi dels sistemes de flux a l'àrea Gavarres-Selva-Baix Empordà: Proposta de model hidroquímic regional*.

Weather Spark (2016). *El clima promedio en Sant Hilari Sacalm*. Recuperat de: <https://es.weatherspark.com/y/47268/Clima-promedio-en-Sant-Hilari-Sacalm-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Xarxa Meteorològica Guillerries-Savassona (2018). *Dades Meteorològiques*. Recuperat de: http://www.meteoguillerries.cat/dades_resums.php