

Anàlisi hidroquímica de les fonts del Brugent:

com la geologia determina la composició de les aigües.

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ: antecedents i justificació del treball.....	3
2. CONTEXTUALITZACIÓ	5
2.1. Contextualització geològica: Classificació de les roques.....	5
2.1.1. Roques ígnies o magmàtiques.....	5
2.1.2. Roques sedimentàries.....	6
2.1.3. Roques metamòrfiques.....	9
2.1.4. El cicle de les roques.....	11
2.2. HISTÒRIA GEOLÒGICA DE LES GUILLERIES.....	12
2.3. La falla d'Amer.....	15
2.4. Les fonts.....	17
2.4.1. Situació.....	17
2.4.2. Característiques generals de les fonts.....	19
2.4.3. Talls geològics.....	22
2.4.4. Recorregut de l'aigua.....	26
2.4.5. Roques i substrats en contacte amb l'aigua.....	28
3. MATERIAL I MÈTODES: anàlisi hidroquímica.....	31
3.1. Anàlisi al camp.....	31
3.1.1. Aparells.....	31
3.1.2. Sortida al camp.....	33
3.2. Anàlisi al laboratori.....	34
4. RESULTATS.....	3
5	
4.1. Resultats de camp.....	35

4.2.	Resultats de laboratori.....	37
4.3.	Anàlisi dels resultats.....	39
5.	DISCUSSIÓ: relació entre el substrat de roca i la composició de les aigües.....	42
6.	CONCLUSIONS.....	44
7.	BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA.....	47
8.	AGRAÏMENTS.....	49
9.	ANNEX.....	50

1.- INTRODUCCIÓ: antecedents i justificació del treball

El meu treball de recerca pretén saber per què les aigües de 4 fonts de la zona d'Amer tenen les propietats organolèptiques¹ que tenen. Per tant, entendre la relació entre les propietats fisicoquímiques de l'aigua i la geologia de la zona d'Amer.

La zona de les Guilleries i el Collsacabra són molt riques en fonts naturals. Quan algú pensa en una font natural, la majoria de vegades s'imagina que en raja aigua mineral fresca, però el curiós de la zona d'Amer (i algunes altres zones com Caldes de Malavella i Banyoles) és que degut al terreny, l'aigua que raja té altres propietats. En el cas de les fonts de les que tracta el meu treball de recerca, dues són d'aigua mineral sense cap propietat que surti de l'habitual, però les altres dues tenen característiques bastant especials. Una d'elles, la font Picant, té aigua carbonitzada, i la font Pudosa és una bassa al terra de la qual surten bombolles (que durant el treball sabrem què són aquestes bombolles).

L'objectiu principal del treball és entendre per què, en una zona tan reduïda, hi ha fonts d'aigua tan diferent. Si el que fa que l'aigua tingui unes determinades propietats és només el tipus de roca, el relleu, o els dos a la vegada. A més, vull entendre quina és la influència de la falla d'Amer, si és que en té alguna, en les propietats especials de l'aigua.

La idea del treball sorgeix de la curiositat. Em sembla un tema molt interessant tot el que passa sota els nostres peus sense que ningú ho pugui controlar, el cicle de la naturalesa, la interacció dels elements per transformar-se i esdevenir quelcom

¹ organolèptiques: Caràcter de l'aigua que afecta als òrgans dels sentits (color, olor, tast, textura, aroma).

diferent, com l'aigua que circula per sota terra pugui adquirir propietats de les roques amb les que està en contacte.

Quan vaig tenir la idea del treball em va costar una mica arrencar, i no ha estat un camí planer. A mida que el treball avançava anaven sortint dubtes, preguntes que no sabia com respondre. El primer que vaig a principis d'estiu fer va ser anar al Campus Jove de Recerca de la Universitat de Girona, que em va proporcionar uns recursos que no tinc normalment a l'abast, com per exemple material per l'anàlisi de l'aigua. Fent aquest treball de recerca he après molt, i estic molt contenta amb el tema que vaig escollir, ja que com que m'agrada i m'interessa no ha estat gaire difícil anar avançant.

2. CONTEXTUALITZACIÓ

2.1. CONTEXTUALITZACIÓ GEOLÒGICA: Classificació de les roques

Una roca aquell material de l'escorça terrestre que està compost d'un o varis minerals i en alguns casos també incorporen fòssils. Segons la seva composició distingim dos tipus de roques: les roques homogènies i les roques heterogènies. Aquestes primeres, també anomenades monomineralògiques, són roques constituïdes només per un tipus de mineral, alguns exemples són la calcita i la pirita. Les roques heterogènies o compostes són aquelles que estan formades per dos o més tipus de minerals. Aquest tipus de roques són la majoria i alguns exemples són el quarz, la turmalina, el granit i el basalt.

Les roques es classifiquen també segons la manera com es formen. Seguint aquest criteri distingim tres tipus de roques: les ígnies, les sedimentàries i les metamòrfiques. Les roques ígnies i les metamòrfiques s'engloben en el grup de les roques endògenes, perquè el seu procés de formació té lloc a l'interior de la Terra. Les roques sedimentàries, en canvi, són exògenes perquè s'originen a partir de roques ja existents sobre l'escorça terrestre, per la transformació d'aquestes, ja sigui per processos externs com l'erosió, la sedimentació o el transport.

2.1.1. ROQUES ÍGNIES O MAGMÀTIQUES

Les roques ígnies són les que es formen per solidificació d'un material rocós fos que procedeix de l'interior de la terra, els magmes.

Segons el lloc de la litosfera on s'ha format la roca, distingim dos tipus de roques:

- **Intrusives**: són les roques que es formen quan el magma cristal·litza abans d'arribar a la superfície. Si el magma es refreda lentament en una cambra

magmàtica, la roca resultant s'anomenarà plutònica. Si s'emplacen en conductes tubulars, s'anomenen hipabissals.

- Extrusives: s'originen en la superfície o molt a prop d'aquesta, tan en condicions subaèries com subaquàtiques, per l'expulsió de materials volcànics.

Les roques ígnies estan formades per minerals del grup dels silicats, però la manera com aquests han estat cristal·litzats és diferent, per tant la seva forma és diferent. Les roques plutòniques estan formades per cristalls de mida granular, identificables a ull nu. Les roques volcàniques i les hipabissals tenen cristalls més aviat grans, de textura porfírica, cosa que fa que tinguin una massa petita.

Les roques ígnies també es poden classificar segons el seu grau d'acidesa, que es basa en la quantitat de quars, SiO₂.

Classificació de les roques ígnies segons el seu grau d'acidesa:

	Quantitat de quars	Viscositat	Roques que formen
Àcides	major quantitat de quars	Alta	Granits
Intermediàries	menor quantitat de quars	Intermèdia	Basalts
Bàsiques	no té quars	Baixa	Andesites
Ultrabàsiques	no té quars	Menor a totes les altres	Peridotites

2.1.2 ROQUES SEDIMENTÀRIES

Les roques sedimentàries són les que estan constituïdes per unitats petites anomenades sediments. Els sediments s'acumulen en capes horitzontals: els estrats, tan en condicions subaèries com subaquàtiques. Així, els sediments es compacten i es transformen en roca per cimentació (aquest procés és la litificació). Sovint, els sediments incorporen fòssils.

Segons l'origen o els materials que componen la roca es classifiquen de la següent manera:

- Detrítiques: es formen pel transport, l'acumulació i la litificació de roques preexistents de qualsevol tipus.

	Mida	Descripció i exemples
Lutites	<1/16 mm	Els components d'aquestes roques són el quars, les miques, els carbonats, etc. Les lutites amb gran quantitat de carbonat càlcic s'anomenen margues. Els llims i les argiles formen part d'aquest grup.
Sorres i gresos	1/16-2 mm	Els gresos són les roques cimentades. Hi ha tres tipus de sorres: els grans, la matriu, que omple els espais buits, i el ciment, que uneix els grans. Exemple: gres.
Rudites	>2 mm	Els seus components són: <ul style="list-style-type: none"> - Clast: partícules superiors als 2 mm. Són els còdols (arrodonits) o els cairells(cantelluts). - Matriu: Partícules inferiors als 2 mm que omplen els buits entre els còdols. - Ciments: omple els buits que queden. Podem distingir dos tipus de rudites: els conglomerats, si estan formats per còdols, i les bretxes, quan tenen cairells.

- No detrítiques:

- **Roques carbonatades**: calcàries i dolomies.

Són unes roques compactes i resistents, cosa que fa que tendeixin a formar cingleres.

Les **calcàries** estan constituïdes per carbonat de calci en forma de calcita o aragonita i components detrítics d'origen divers. Per la seva

formació, existeixen molts de tipus de calcàries, però el que totes tenen en comú és la composició, l'origen sedimentari, i el fet que les podem reconèixer amb àcid clorhídric al 10%.

Les **dolomies** tenen un aspecte semblant a les calcàries, i les podem trobar juntes. Estan constituïdes majoritàriament per carbonar de calci i magnesi. Es diferencien de les calcàries per la seva formació granelluda i perquè no reaccionen amb l'àcid clorhídric al 10%.

- **Roques evaporítiques**

Agrupa totes les roques que es formen per la precipitació de sals dissoltes en aigua que s'evapora. Són roques amb un grau elevat de sulfat o de

clorur en la seva composició.

Alguns exemples de roques evaporítiques i la seva composició són:

Guix	sulfat càlcic hidratat	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Halita	clorur sòdic	NaCl
Silvina	clorur potàssic	KCl
Carnal·lita	clorur de potassi i magnesi hidratat	$\text{KMgCl}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

- **Roques organògenes**

Són aquelles roques que s'han creat a partir de restes d'organismes que havien estat vius. Són els combustibles fòssils (carbons i hidrocarburs).

Els **carbons** provenen de la transformació de restes vegetals acumulades en zones pantanoses, sobre les quals actuen

microorganismes en un medi anaeròbic i amb el corresponent procés de descomposició. A aquest procés se l'anomena carbonització. Els carbons estan formats per carboni, oxigen, hidrogen i, en menys proporció, nitrogen i sofre.

Els **hidrocarburs** són substàncies formades per diferents tipus d'hidrocarburs, que són substàncies formades per hidrogen i carboni.

2.1.3. ROQUES METAMÒRFIQUES

Les roques metamòrfiques són aquelles que es formen sota condicions d'extrema temperatura i pressió que provoquen la transformació d'alguna roca. Aquest procés de canvi l'anomenem **metamorfisme**, i succeeix dins l'escorça terrestre.

A vegades, participen en el metamorfisme fases fluides procedents del magma que provoquen intercanvi d'ions. Quan això és així, els canvis químics que es produeixen a la roca s'anomenen **metasomatisme**.

- El metamorfisme

Les principals variables que produeixen aquest fenomen són la composició de la roca, la temperatura i la pressió.

Segons les circumstàncies en què una roca metamòrfica es forma, existeixen dos tipus de metamorfisme: el local i el regional.

En el **metamorfisme regional**, les roques es someten cada cop a pressions més altes que provoquen la seva deformació, i cada cop es fan més grans. Les roques que es formen així són pròpies de les zones amb formació de serralades.

El **metamorfisme local** no afecta a zones gaire grans, i pot ser provocat per diverses causes:

- **Metamorfisme de dislocació** o **cataclàstic**: canvis de pressió deguts a les tensions a la litosfera, com per exemple falles.
- **Metamorfisme de contacte**: increments de temperatura per la proximitat a magmes que ascendeixen a zones més fredes.

- **Metamorfisme hidrotermal:** infiltració d'aigües termals que aporten nous minerals a la roca.
- **Metamorfisme d'impacte:** deformacions a la roca per xoc de meteorits.

Quan el criteri de classificació és el procés que ha dominat la formació de la roca parlem de **metamorfisme tèrmic** quan ha succeït a causa de temperatures elevades, **metamorfisme dinàmic** quan ha estat provocat per altes pressions i quan la formació de la roca és deguda als tant a la pressió com a la temperatura, parlem de **metamorfisme dinamotèrmic**.

Les roques metamòrfiques es classifiquen segons la seva composició i textura. Pel que respecta a la composició de la roca, els minerals formats com a conseqüència del metamorfisme s'associen i formen roques més grans, constituint el que s'entén com a fàcies. Per tant, les fàcies són aquelles associacions de roques que han estat formades en unes condicions de pressió i temperatura determinades, dades que es poden saber a partir dels minerals índex. Aquests minerals són els que apareixen en unes condicions de temperatura i pressió determinades, i que per tant ens poden indicar amb bastanta exactitud quina és l'interval de pressió i temperatura en què s'ha format la roca.

Si ens fixem en la textura, veiem que aquesta només pot ser de dos tipus: foliada, si té bandes perquè els minerals estan alineats paral·lelament, i granoblàstiques si presenten una disposició desordenada dels seus components.

TEXTURA	EXEMPLES
Foliada	<ul style="list-style-type: none"> - Pissarra: procedeix del metamorfisme de les arcilles. - Esquist: s'obté a partir de les pissarres o arenes sotmeses a metamorfismes molt intensos. - Gneis: procedeix de granits i esquists. Té bandes clares i fosques, que es deuen a processos de recristal·lització i grans

	pressions.
Granoblàstica	- Marbre: s'obté per metamorfisme de calcàries i dolomies. - Quarsita: és compacta i dura i està formada a partir d'arenes riques en quars.

2.1.4 EL CICLE DE LES ROQUES

Les roques canvien contínuament. Aquest procés de canvi que sofreixen, però, és molt lent. Durant una vida humana gairebé no es pot apreciar.

Les roques es fonen, es trenquen, es recristal·litzen, es reorganitzen, etc (Figura 1). Tots aquests processos produeixen un canvi, per petit que sigui, a la roca, i tots ells necessiten energia.

Hi ha dos tipus de canvi: els externs i els interns. Els processos interns són els que s'originen a l'interior de la Terra i que per tant, és d'on obtenen l'energia. La seva influència es centra majoritàriament en la formació de roques i relleu.

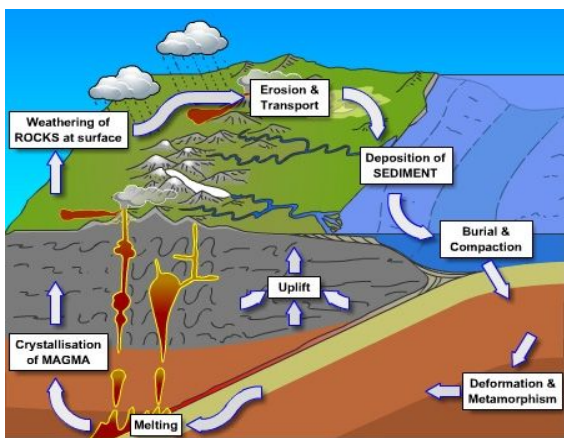
Els canvis externs són els que es produeixen a l'exterior de la Terra, el que fan és desgastar el relleu, originen noves roques i dipositen sediments a les conques sedimentàries. L'energia que es necessita perquè es produeixin canvis externs prové del Sol, perquè aquest activa el cicle hidrogènic i molts fenòmens meteorològics, i també de la gravetat.

En el cicle geològic distingim tres etapes:

- **Orogènesi:** consisteix en la formació de relleu, especialment de serralades.
- **Gliptogènesi:** és la destrucció del relleu per els agents geològics externs.
- **Litogènesi:** la formació de roques noves a partir de materials originats en la gliptogènesi.

El cicle geològic és el cicle constant de creació i destrucció experimentat per la Terra. Es pot descriure de la següent manera:

Els agents geològics externs converteixen les roques que ja existeixen en sediments, que són transportats fins a zones més baixes, les conques sedimentàries i allà es formen les roques sedimentàries. Però el cicle no s'atura aquí, sino que es va repetint incansablement: les roques sedimentàries formades poden convertir-se en sediments i aquests una altra vegada en roques sedimentàries. A més, aquesta roca sedimentària formada pot estar sotmesa a altes pressions i temperatures i esdevenir roca metamòrfica (això passa en zones amb activitat tectònica), o pot també fondre's per formar magma i que es formi una roca ígnia. A més, si aquesta roca ígnia es troba en les condicions de pressió i temperatura adequades, pot transformar-se en roca metamòrfica.



El procés encara pot anar més enllà, ja que les roques poden tornar a aflorar a la superfície per varies raons (el magma ascendeix lentament o hi ha una erupció volcànica). El procés és més lent, però també poden aflorar conjunts rocosos per erosió dels materials que els recobreixen o perquè estan impulsats per les plaques tectòniques.

Llavors el procés pot tornar a començar: les roques es transformen en sediments, aquests baixen a les zones més baixes...

2.2. HISTÒRIA GEOLÒGICA DE LES GUILLERIES²

Amer, i per tant les quatre fonts, està situat en un extrem de les Guilleries, que és una zona que al llarg de milers d'anys ha evolucionat fins ser com la coneixem avui en dia. La raó per la qual ha canviat tant és perquè es troba en una zona amb alta activitat sísmica.

² Aquest capítol del treball pretén ser una síntesi de la informació recollida al treball de Soler, D., Pallí, L., Brusi, D. (2013).

A finals de l'Era Primària, fa uns 290 milions d'anys, quan existia el continent Pangea, es va formar el Massís Paleozoic català. Els materials dels que estava format eren pissares i granits.

El territori va seguir evolucionant, i a la Era Terciària o Cenozoic, fa uns 66 milions d'anys, quan es van formar els Pirineus i els Alps, l'antic Massís Paleozoic Català es va fragmentar en varis blocs, que es van orientar segons els dos sistemes principals: un paral·lel a la costa, de nord-est a sud-est, i l'altre normal a aquest. Aquestes fractures van originar molt del relleu que avui en dia encara podem identificar. Una de les fractures més importants va formar la depressió de l'Empordà. Normal a la falla de l'Empordà, les fractures dirigides de nord-est al sud-oest, van enfonsar el que ara coneixem com la depressió de la Selva, que es va quedar enmig de dos blocs resistents: les Guilleries i les Gavarres.

En resum, després dels paroxismes alpins que van trencar el Massís Català, van quedar 241 blocs desnivellats, alguns emergint, com les Guilleries o les Gavarres, i d'altres enfonsats, com la Selva o l'Empordà.

Els materials més antics que trobem a totes les Guilleries són les roques sedimentàries amb algunes roques ígnies que daten del Paleozoic inferior, i aquestes roques ocupen uns 2000 metres de gruix. Amb el pas dels anys, aquestes roques han anat modificant-se degut a la tectònica, el metamorfisme i el magmatisme. Encara que l'estructura és bastant complexa, amb l'estudi dels materials s'ha pogut fer una divisió en tres nivells: les sèries d'Osor, Susqueda i Sant Martí Sacalm (**Figura 2**).

La **sèrie d'Osor** és la que es troba més avall, per tant és on podem trobar els materials més antics i més transformats. Aquesta formació fa més de 1000 metres. Les roques que hi podem trobar amb abundància són els micasquists d'alt grau metamòrfic, que els podem identificar perquè tenen un aspecte bandat amb nivells més clars i més foscos, i intercalats amb aquests, amfibolites, quarzites, marbres i nivells calcosilicatats. Les amfibolites poden incloure localment sulfurs metàlics en forma de gra fi. Els altres tres tipus de roca mencionats, es troben en nivells de poc gruix i provenen del metamorfisme de capes de gresos, calcàries i margues.

La **sèrie de Susqueda**, té un gruix aproximat de 1000 metres. Limita per baix amb la sèrie de les Guilleries (que està entre les sèries d'Osor i Susqueda, però és una intrusió cronològicament posterior) i per dalt amb la sèrie de Sant Martí Sacalm. Les roques que podem trobar-hi abundantment són els esquists, però també hi ha

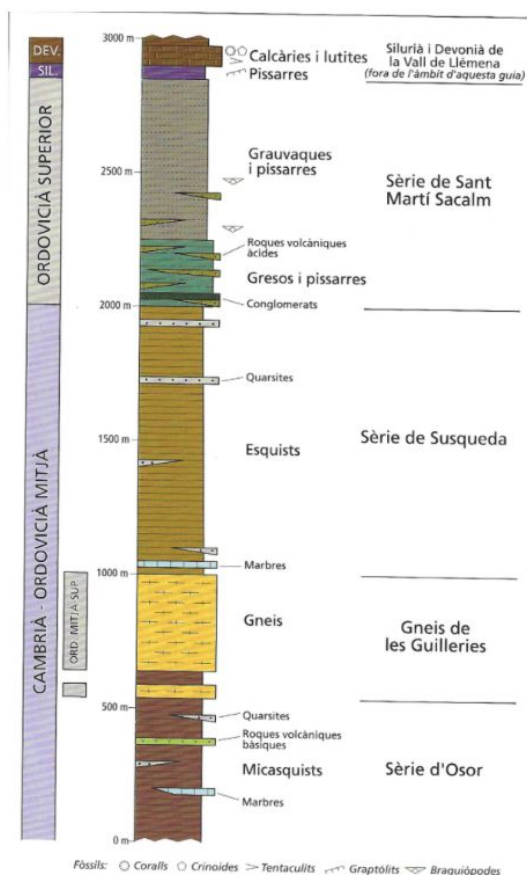


Figura 2: columna sintètica de les Guilleries
 Reproduït de Soler; Pallí,
 L; Brusi, D. (2013)

intercalacions de calcàries, gresos i quarzites. A la part més baixa d'aquesta sèrie, molt a prop del gneis de les Guilleries, hi trobem els marbres del Pasteral, que tenen una vintena de metres de gruix. A la part més alta, el metamorfisme és menys intens, hi apareixen intercalacions de pissarres, gresos i quarzites.

Les sèries de Susqueda i d'Osor estan datades del Cambrià a l'Ordovicià mitjà.

La **sèrie de Sant Martí Sacalm** la podem trobar per sobre la sèrie de Susqueda. Aquesta sèrie també mesura uns 1000 metres de gruix i les roques que la formen són d'origen volcànic o volcanosedimentari. En la part que està en

contacte amb la sèrie de Susqueda hi podem trobar gresos i pissarres alternades amb capes de conglomerats i roques volcàniques àcides. A mesura que s'arriba a la part superior de la sèrie deixen d'haver-hi roques d'origen volcànic, que són substituïdes per gresos i pissarres. Aquesta formació és de l'Ordovicià superior (Caradocià).

Aquestes roques paleozoiques van patir uns canvis importants degut a transformacions metamòrfiques i deformacions a causa de l'episodi orogènic hercinià. Aquestes deformacions tingueren lloc en dues etapes successives en el

temps, una de tipus compressiu i l'altra de tipus extensional. Les estructures que en van resultar eren una de tipus dúctil i l'altra fràgil. El metamorfisme es va donar també en dues modalitats, la primera regional i la segona de contacte. La deformació i el metamorfisme van tenir lloc de manera simultània.

Cal destacar que durant l'episodi orogènic hercinià van aflorar moltes roques ígnies.

A banda d'aquests materials del Paleozoic inferior també podem trobar materials del Neogen i del Quaternari. Tant la depressió de la Selva com la vora sud i sud-est de les Guilleries està cobert de sediments neogens, bàsicament graves i sorres. També en aquesta zona hi ha alguns materials volcànics però ja molt erosionats. Els materials Quaternaris que hi podem trobar són sediments fluvio-lacustres i fluvio-al·luvials que omplen la vall del Brugent i les valls d'en Bas. Però estan poc desenvolupats i només es poden trobar als llocs mencionats.

Durant l'època del Neogen i el Quaternari, les estructures a destacar un grup de falles que formen part del sistema de falles d'edat neògena del nord-est de Catalunya.

Els filons hidrotermals són minerals en estat cristallitzat que es formen perquè els minerals que conté l'aigua que flueix enmig de les roques (per sota terra) es dipositen mitjançant precipitació química. A la zona de les Guilleries, i més concretament a Amer, Anglès, Espinelves, Viladrau i Osor és on podem trobar en més quantitat aquests filons. Estan formats principalment de fluorita, baritina, quars i calcita, i a més poden tenir quantitats variables de sulfurs metàl·lics.

2.3. LA FALLA D'AMER

Una falla és una fractura de les roques superficials de l'escorça de la Terra en la que els dos blocs en què la roca afectada queda dividida es desplacen.

En la zona de contacte entre les Guilleries i la Selva el sistema de falles es va desenvolupar molt degut a la proximitat amb la zona volcànica d'Olot. Aquest

desenvolupament el trobem en forma de fractures, i en aquestes fractures hi trobem un grup de fonts carbòniques. Aquestes fonts, per tant, no dubtem en relacionar-les amb les falles de la zona.

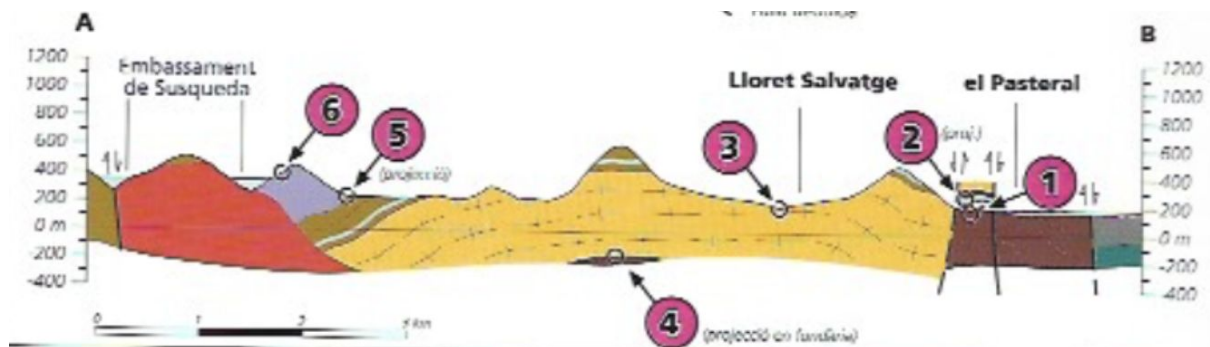


Figura 3: Reproduït de Soler, D; Lluís, P; Brusi, D. (2013): Tall geològic de la vall del Ter.

Troblem un altre grup de “Fonts Picants” al llarg de la vall d’Hostoles (perpendicular al primer grup de fonts que hem anomenat). En aquesta vall, que és per on passa el riu Brugent, hi trobem el bloc de les Guilleries enfonsat fins que troba el bloc de l’Eocè mitjà i superior de la regió de Rocacorba. Aquest salt de falla fa uns 1000 metres d’alçada. La falla que provoca això és la falla d’Amer (Figura 3) que transcorre per la Vall d’en Bas, la vall del Brugent, la Celler de Ter, Anglès i arriba a Santa Coloma de Farners. En aquesta zona hi ha emanacions gasoses (CO₂, radó i toró) que es relacionen amb la falla i que poden servir per determinar-ne el potencial sísmic. Un d’aquests indrets és la Font Pudosa, que és una de les quatre fonts treballades en aquesta recerca, un altre lloc es l’Esquerda de l’Infern. El 1427 hi van haver un seguit de terratrèmols molt forts que van destruir Olot, Amer i Osor. Però a Amer hi va passar una cosa peculiar: sortia fum i llengües de foc de color blau de la muntanya. A més, feia una pudor insuportable de sofre. Avui en dia, científics de la UAB³ han mesurat que avui encara hi ha emanacions de gasos.

D’aquest segon grup de fonts carbòniques, la més important és la Font Picant d’Amer. El manantial brota d’una falla transversal a la del riu Brugent que posa en contacte un bloc del Paleozoic i amb un retall enfonsat de l’Eocè inferior.

3

<http://www.uab.cat/web/noticies/detall-d-una-noticia/la-falla-d-amer-sorpren-als-geolegs-1090226434100.html?noticiaid=1342419458577>

2.4. LES FONTS:

2.4.1. SITUACIÓ



Les quatre fonts es troben a Amer, que és un poble a la comarca de la Selva (imatge), a la província de Girona.

Té uns 2.300 habitants i una superfície de 40.05 km.

El municipi es divideix en tres nuclis de població: la vila d'Amer, Solivent i la Costa de Santa Brígida (de més a menys poblats).

Limita amb els municipis de Sant Julià de Llor i Bonmatí, la Celler de Ter, Susqueda, Sant Martí de Llémena,

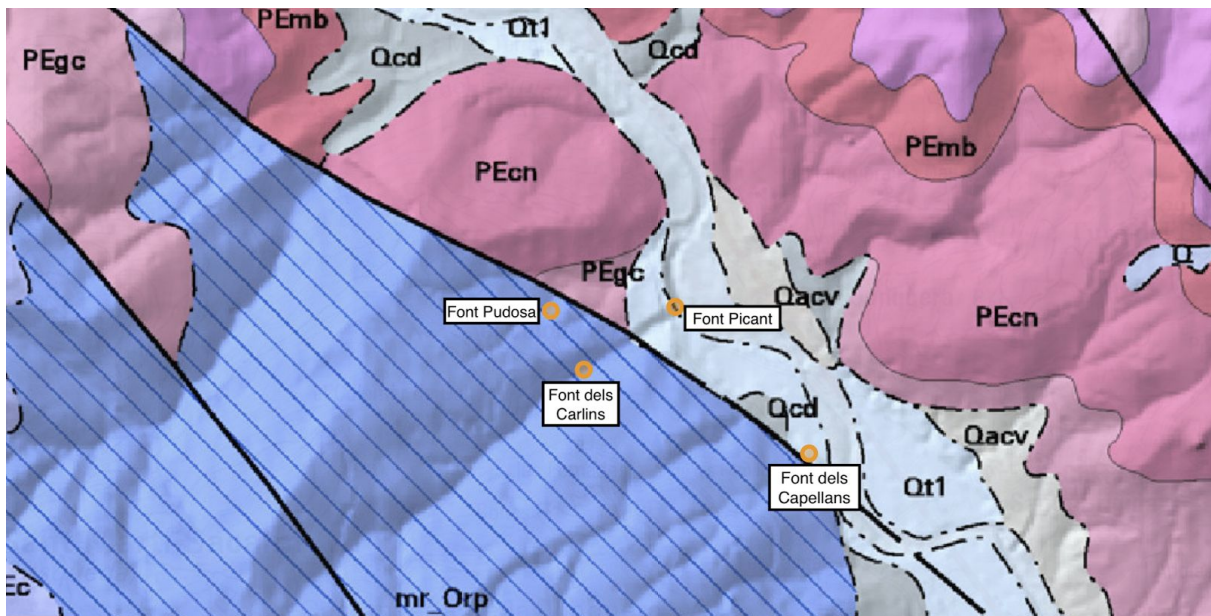
Sant Aniol de Finestres i les Planes d'Hostoles.

Pel poble hi baixa el Brugent, que més avall, al Pasteral, s'uneix al riu Ter. En entrar a la comarca de la Selva per Amer forma la vall d'Amer, on es troba la vila d'Amer. El territori és majoritàriament muntanyós, amb els cingles de Sant Roc i els darrers contraforts de les Guilleries. La vall però, és un territori bastant planer obert vers la depressió gironina. Geològicament, la zona té caràcter volcànic. Les zones muntanyoses estan constituïdes majoritàriament per boscos de castanyers, pins i alzinars. Hi ha moltes fonts d'aigua natural.



Estan totes a la mateixa vessant de la vall del Brugent. I són: **la Font Picant, la Font dels Carlins, la Font Pudosa i la Font dels Capellans.**

Situem les fonts en el mapa geològic de la següent manera:



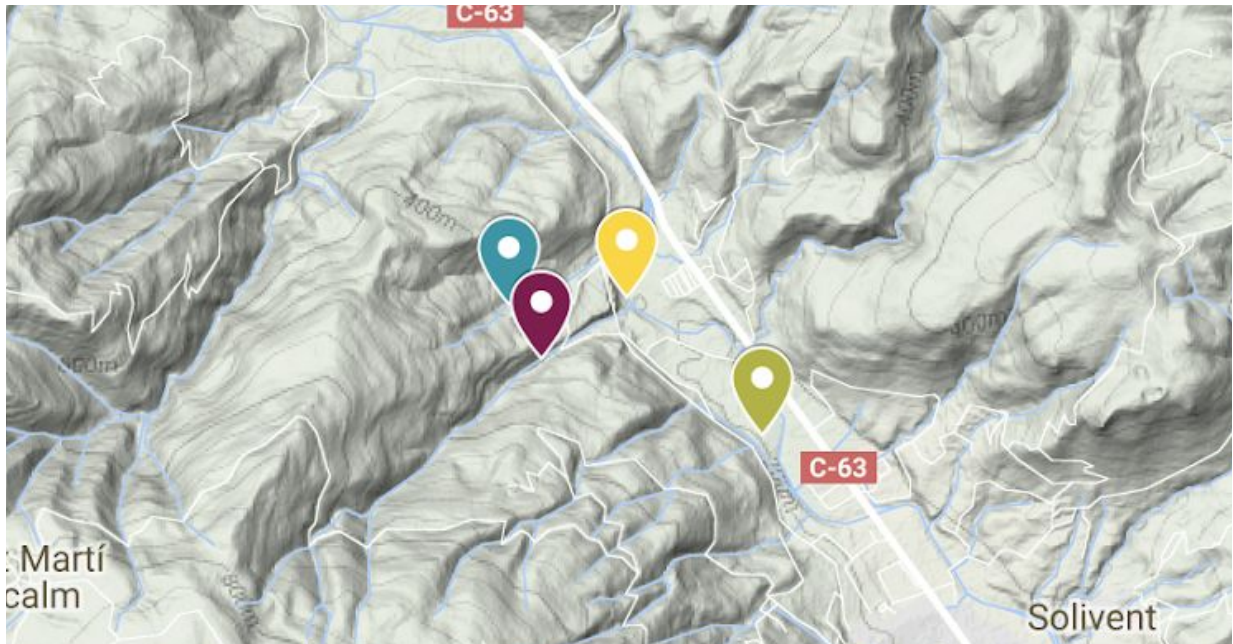
LLEGENDA:

- mr_Orp → Fil·lites i esquists. Materials de la unitat Orq afectats per metamorfisme regional. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.
- Qcd → Cons de dejecció. Graves i sorres. Holocè recent.
- Qt1 → terrasses fluvials.

Com podem veure, el mapa geològic mostra la falla d'Amer, que és la línia nega contínua que passa per el mig de la vall del Brugent.

El mapa ens permet tenir una informació molt general dels tipus de roques que podem trobar a cada lloc.

En aquest mapa cartogràfic podem trobar les fonts organitzades segons l'altitud a la que es troben.



En groc, la font Picant; en verd, la font dels Capellans; en lila, la font dels Carlins; i en blau, la font Pudosa.

2.4.2. CARACTERÍSTIQUES GENERALS DE LES FONTS

Abans d'agafar cap estri de laboratori per determinar les propietats de l'aigua de cada font, sabem com és per un simple anàlisi sensorial.

FONT DELS CAPELLANS

Coordenades	42.020379, 2.590533
Altitud	199,9 m



FONT DELS CARLINS

Coordenades	42.023683, 2.577663
Altitud	296,3 m



*FONT DELS CAPELLANS I FONT DELS CARLINS

Aquestes dues fonts no són gaire deferents l'una de l'altra. Totes dues surten d'una surgència natural, però que ha estat modificada per l'home per tenir fàcil accés a l'aigua. L'aigua que raja de les dues fonts no té cap característica que la faci destacar per sobre les altres, sinó que és el que anomenem "aigua dolça".

FONT PUDOSA

Coordenades	42.026036, 2.575799
Altitud	295,6 m



La font Pudosa és una font una mica peculiar. A simple vista és una bassa d'aigua al mig del bosc amb bombolles que surten del fons d'aquesta. Quan arribem al lloc on es situa la font, notem una olor a "ou podrit", això es deu a que podem trobar sofre en forma d'àcid sulfhídric a l'aigua.

Tant l'aigua com els gasos pugen del subsòl. L'existència d'aquests gasos és deguda a l'activitat volcànica de la zona d'Amer (falla d'Amer).

Per les seves propietats, l'aigua d'aquesta font sempre s'ha dit que va bé per la pell.

FONT PICANT

Coordenades	42.026338, 2.582661
Altitud	224,6 m



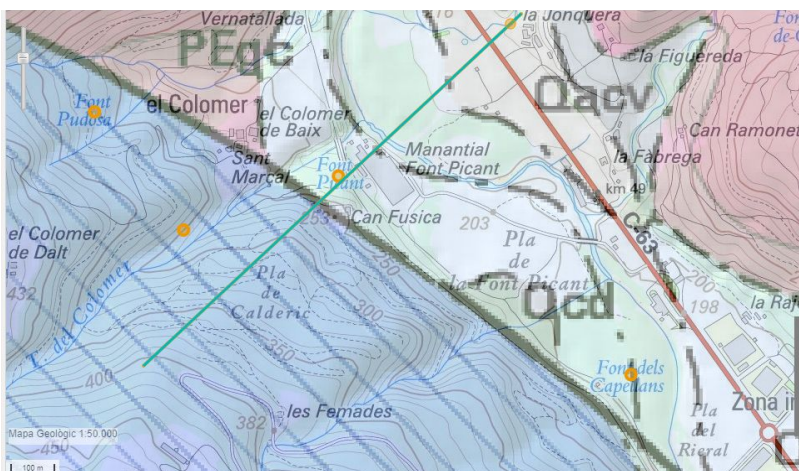
Aquesta font també ha estat construïda per l'home a partir d'una surgència natural. El que podem destacar d'aquesta aigua és que té gas carbònic, i per això l'anomenem "picant", per el gust que el CO₂ li dona. És una aigua més salada que la dolça convencional perquè dissol més sals que aquesta, i aquestes sals minerals li ofereixen propietats medicinals.

2.4.3. TALLS GEOLÒGICS

De cada una de les fonts, he fet, a partir dels mapes geològics i la història geològica de la zona, el tall geològic.

FONT PICANT

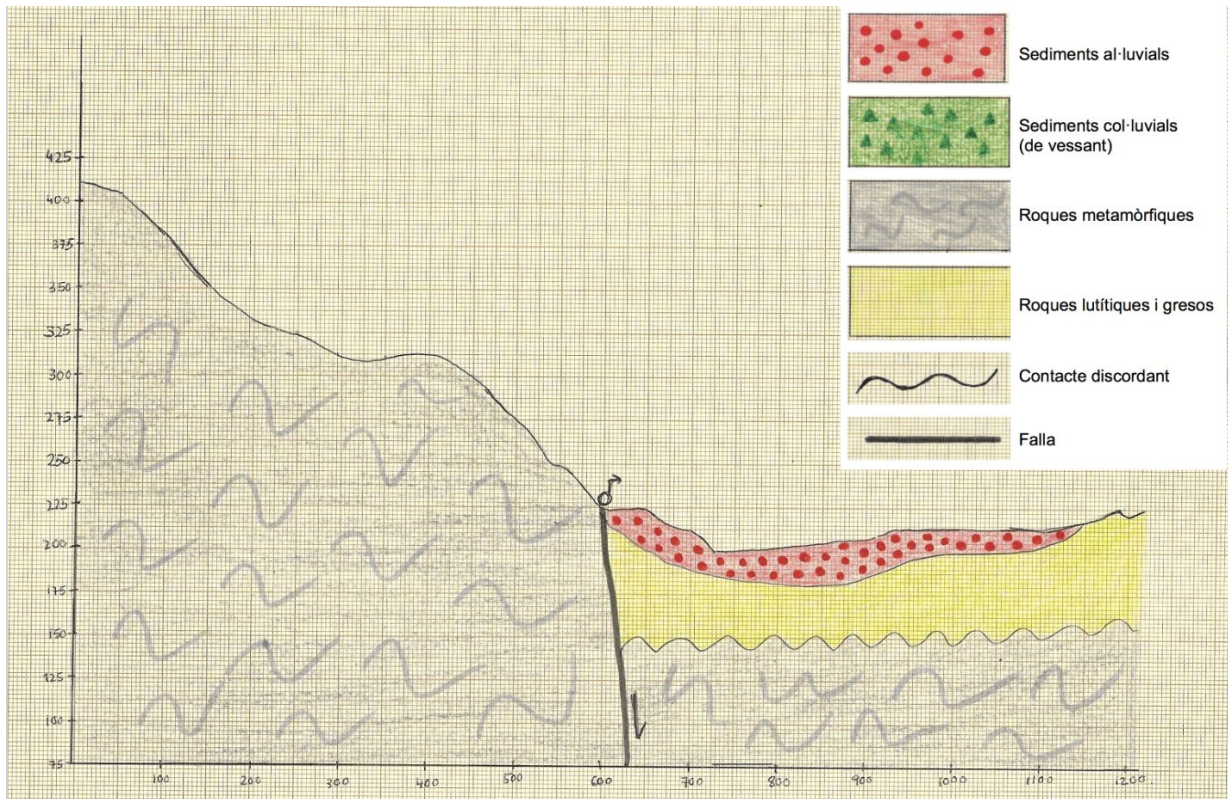
Situació del tall:



Materials implicats en el tall:

- Roques metamòrfiques (pissarres, esquists) de l'Ordovicià Superior (era Primària).
- Roques lutítiques i gresos del Paleocè (era Terciària).
- Sediments al·luvials del Quaternari.

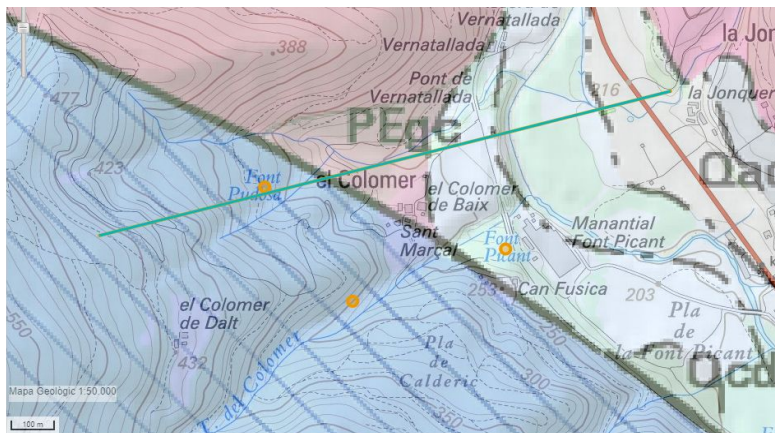
Tall geològic:



Orientació del tall: SO-NE

FONT PUDOSA

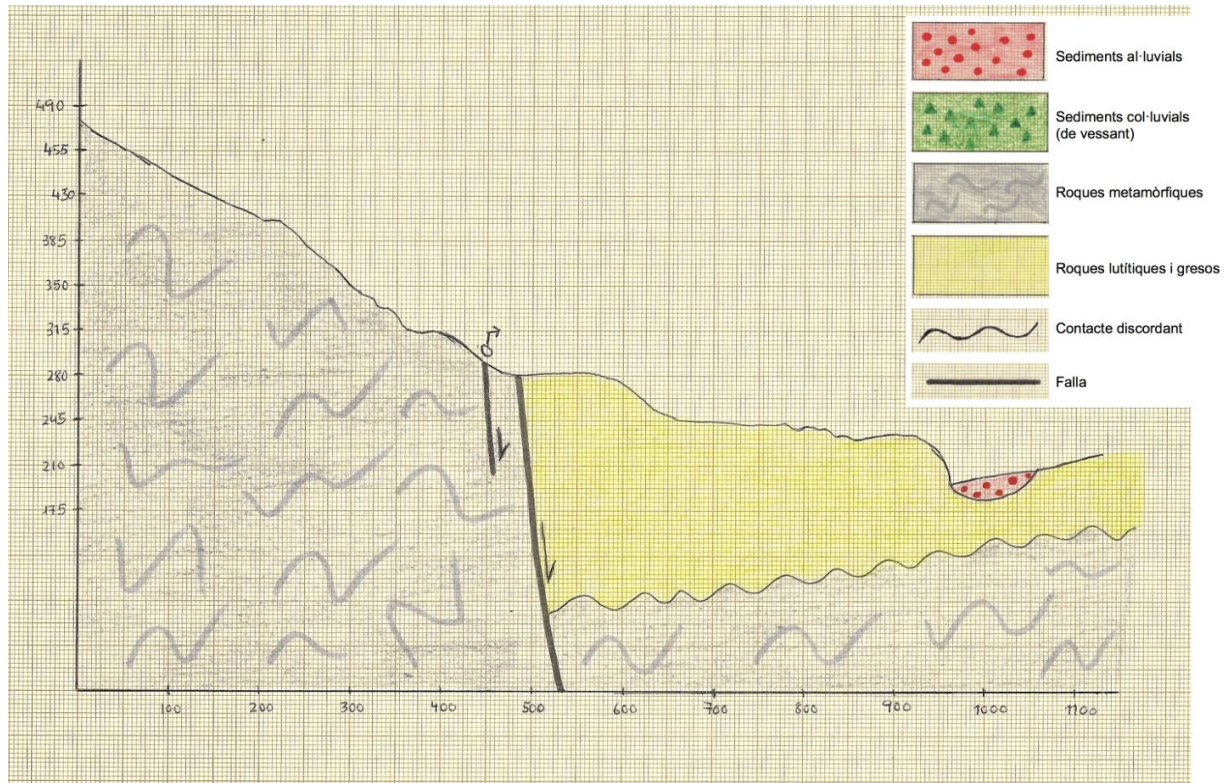
Situació del tall:



Materials implicats en el tall:

- Roques metamòrfiques (pissarres, esquists) de l'Ordovicià Superior (era Primària).
- Roques lutítiques i gresos del Paleocè (era Terciària).
- Sediments al·luvials del Quaternari.

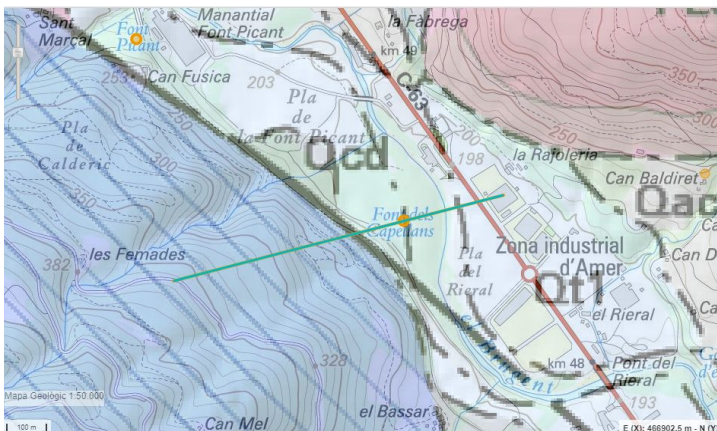
Tall geològic:



Orientació del tall: SO-NE

FONT DELS CAPELLANS

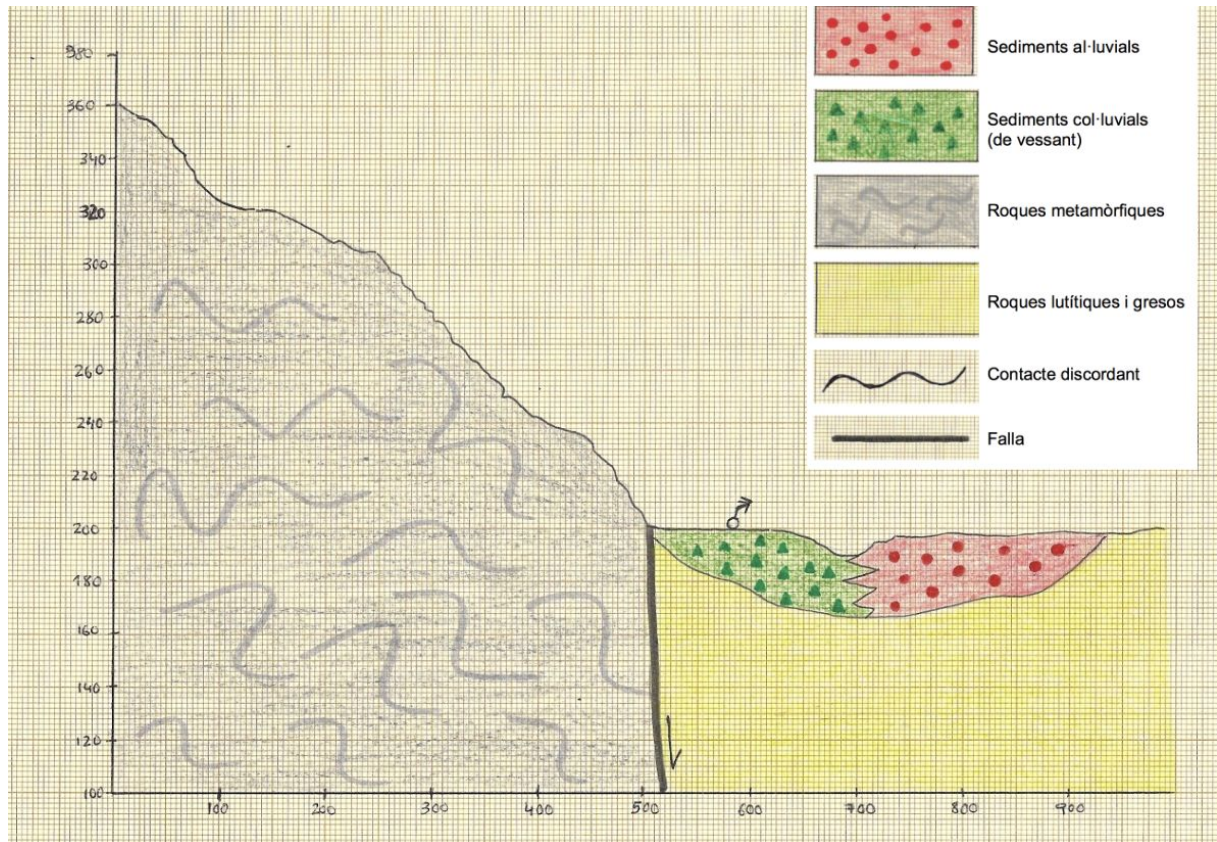
Situació del tall:



Materials implicats en el tall:

- Roques metamòrfiques (pissarres, esquists) de l'Ordovicià Superior (era Primària)
- Roques lutítiques i gresos del Paleocè (era Terciària)
- Sediments col·luvials (o de vessant) del Quaternari
- Sediments al·luvials del Quaternari.

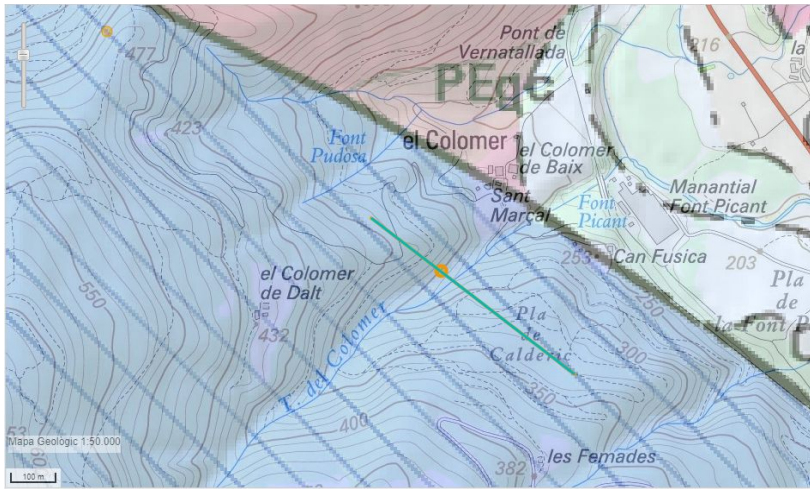
Tall geològic:



Orientació del tall: OSO-ENE

FONT DELS CARLINS

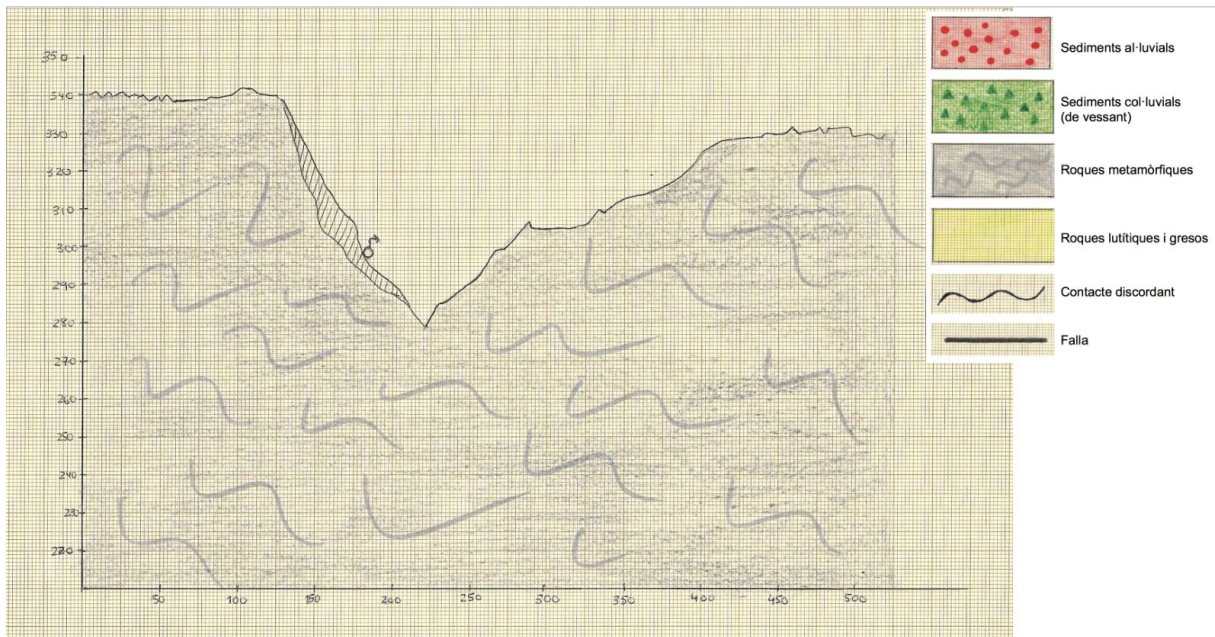
Situació del tall:



Materials implicats en el tall:

- Roques metamòrfiques (pissarres, esquists) de l'Ordovicià Superior (era Primària)

Tall geològic:



Orientació del tall: NO-SE

2.4.4. RECORREGUT DE L'AIGUA

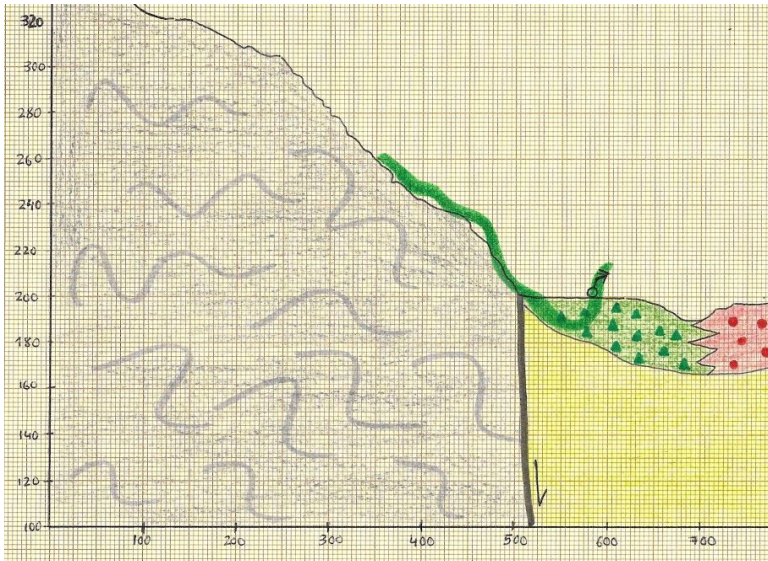
Tota l'aigua que es pot trobar a sota terra és aigua que s'ha filtrat de la superfície.

Quan aquesta aigua surt d'alguna manera a la superfície l'anomenem font.

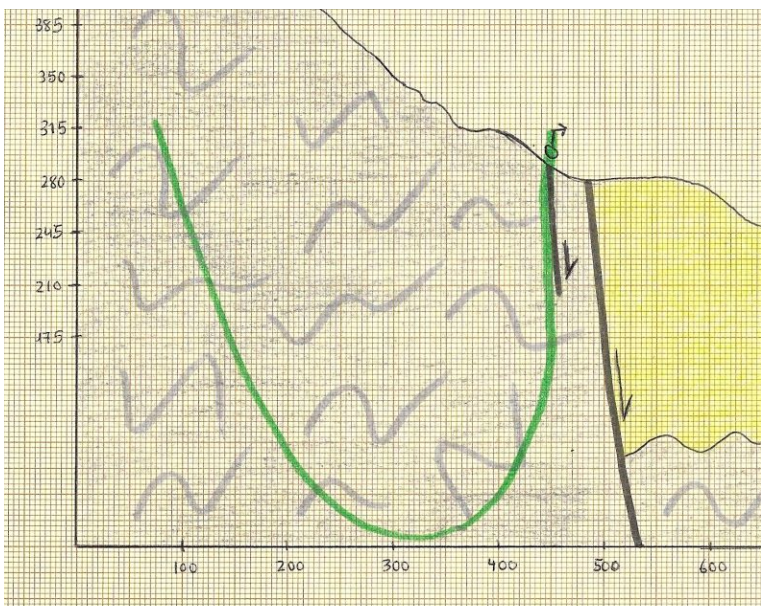
De les fonts treballades hi ha dos tipus de recorregut que l'aigua fa per sota terra

abans d'arribar al lloc per on surt.

L'aigua que surt de la font dels Capellans i la dels Carlins és una aigua que fa un recorregut a prop de la superfície terrestre, i per això és un procés bastant ràpid. Un exemple d'això seria aquest:



En canvi, en la font Picant i la Pudosa, l'aigua que s'ha filtrat en algun moment a través de la superfície, es troba a centenars de metres per sota d'aquesta. Així doncs, l'aigua que fins la superfície empena per gasos. El recorregut que fa l'aigua és semblant a aquest, que és el de la font Pudosa (hem de tenir en compte que la línia negra grossa és la falla i que la línia curta és una fractura secundària):



2.4.5. ROQUES I SUBSTRATS EN CONTACTE AMB L'AIGUA

Les roques per les quals l'aigua passa quan corre per sota terra, en aquest cas són roques de l'era Primària, concretament de l'Ordovicià superior,

PISSARRA

La pissarra és una roca metamòrfica amb estructura foliada. Els minerals que la formen són el quars i la moscovita, i amb menys quantitat contenen també biotita, clorita, hematita i pirita. El color del que és la pissarra mostra el mineral dominant. La pissarra sol ser d'un color negre blavós o negre grisenc, però també n'hi ha de vermelles, verdes, etc. És una roca impermeable, opaca, densa i dura.

- Quars

És l'òxid de silici, SiO_2 .

Hi ha molts tipus de quars, els podem distingir mirant-ne el color.

És un material bastant dur i molt resistent.

El podem trobar sol a la natura, però és un component fonamental a molts tipus de roques.

- Moscovita

La fórmula química de la moscovita és $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. Conté òxid de potassi (K_2O), Alumini (Al) i òxid de silici (SiO_2).

Pertany al grup de les miques aluminoses. Les miques són minerals que es caracteritzen per ser làmines fines, primes, molt brillants i flexibles.

- Biotita

És la més comuna de les miques, pertany al grup dels silicats i la seva fórmula química és $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$. Per tant, conté K, Mg, Fe, Al, Si, O, H i F.

Pot ser d'un color marró fosc, marró verdós o marró negrós.

- Hematita

La major part d'hematita està composta d'òxid ferrós (Fe_2O_3).

És un mineral pesada i bastant dura, i és molt abundant, la podem trobar a la majoria de roques de la terra.

- **Pirita**

Aquest mineral està dins el grup dels sulfats, i la seva fórmula és FeS_2 .

Estèticament s'assembla molt a l'or, perquè és de color daurat, a més és una roca bastant dura.

ESQUISTS

Els esquists són unes roques metamòrfiques compostes per grans minerals que estan alineats en capes.

La majoria d'esquists provenen d'argila o llots que han sofert metamorfisme (a vegades un esquist abans ha estat una pissarra). Hi ha alguns esquists que provenen de roques ígnies com els basalts.

Molts de esquists són de mica, però també en podem trobar de grafit i de clorita, entre d'altres.

Roques de les que prové:

- **Argila**

Està composta bàsicament per silicats d'alumini hidratats: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.

Normalment la trobem en forma de grans molt petits, i entre aquests grans hi acostuma a haver aigua amb ions dissolts.

- **Basalt**

És una roca ígnia amb baix contingut de SiO_2 , però és ric en silicats de magnesi i de ferro. Solen tenir alguns fenocristalls⁴.

Roques de les que està format:

- **Mica**

Les miques són un grup de minerals semblants químicament, perquè tots són silicats. Aquests silicats poden ser d'alumini, de ferro, de calci, de magnesi...

- **Grafit**

És un mineral format bàsicament per carboni, organitzat en capes de grafit superposades.

- **Clorita**

És un grup de silicats hidratats que contenen Mg, Fe i Al. No són uns minerals

⁴ Fenocristalls: cristalls de mida visible per l'ull humà.

gaire durs i són de color verdós.

La classificació que hem fet és bastant general, ja que, a part de totes aquestes roques i minerals que hem mencionat, també en podem trobar molts i moltes altres, com per exemple:

- **Galena:** sulfur de Plom (II) (PbS).
- **Blenda:** sulfur de Zinc (ZnS)
- **Calcopirita:** Sulfur de coure-ferro (CuFeS₂).

De fet, de les mines d'Osor, que estan a uns quilòmetres de les fonts que hem treballat, s'hi extreia blenda i galena.

3. MATERIAL I MÈTODES: anàlisi hidroquímica

En aquesta anàlisi de l'aigua de les 4 fonts s'han mesurat les següents propietats de l'aigua:

- pH
- Temperatura
- Conductivitat elèctrica
- Oxigen dissolt
- HCO₃
- Clor
- SO₄
- NO₃
- Ca
- Mg
- Na
- K

L'anàlisi hidroquímica es divideix en dues parts: la part que es va fer al camp i la part que es va fer al laboratori.

3.1. ANÀLISI AL CAMP

Els paràmetres fisicoquímics: el pH, la conductivitat elèctrica (CE), O₂ (DO) dissolt i la temperatura, es van mesurar in situ.

3.1.1. APARELLS

- pH

El pH determina l'acidesa d'una dissolució. S'expressa com a logaritme negatiu de base 10 en l'activitat d'ions d'hidrogen, per tant, no té unitats.

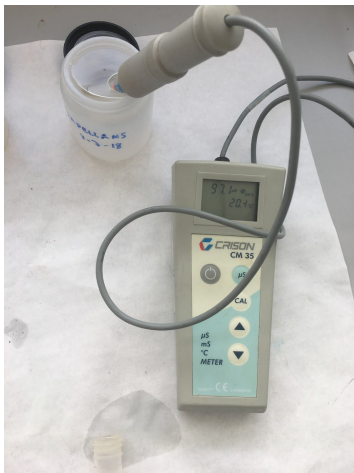
Es pot mesurar de varies maneres, però en aquest experiment s'ha utilitzat un pH-metre.



- Conductivitat elèctrica

És la mesura de la capacitat d'un material, en aquest cas l'aigua, per deixar passar el corrent, és a dir, per deixar circular les càrregues elèctriques de manera lliure. La unitat de mesura de la conductivitat elèctrica en el Sistema Internacional és el siemens (S), però quan els nombres són petits (és el cas de les dades que s'han pres en aquest treball) es treballa amb microsiemens (μS), que equivalen a 10^{-6} siemens.

La conductivitat elèctrica es mesura amb un conductímetre.



- Oxígen dissolt (DO)

L'oxigen dissolt en l'aigua és un factor que varia molt depenent de si l'aigua està estancada, si hi ha matèria orgànica a l'aigua, la temperatura a la que està l'aigua i l'agitació d'aquesta. És per això que s'ha de mesurar *in situ* amb uns aparells anomenats oxímetres. Les mesures es prenen en percentatge de saturació i en mg/L.



- Temperatura

La temperatura determina és la magnitud que mesura el nivell tèrmic d'un cos. Es mesura en graus centígrads ($^{\circ}\text{C}$).

Normalment es mesura amb un termòmetre, però en aquest cas l'oxímetre, el pH-metre i el conductímetre la poden mesurar.

3.1.2. SORTIDA AL CAMP

MATERIAL per la sortida al camp

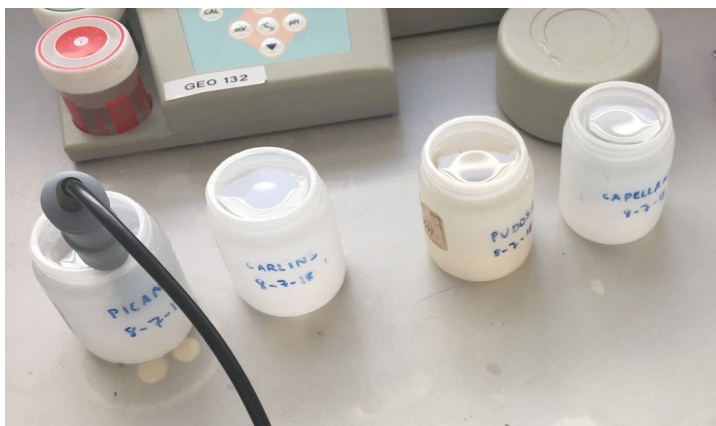
- Tupper
- Conductímetre
- Oxímetre
- pH-metre
- 8 pots hermètics de 250 mL (+1 per si de cas)

PROCEDIMENT

Es va agafar aigua de cada una de les fonts amb el tupper i es va utilitzar el conductímetre, l'oxímetre i el pH-metre. Seguidament, les dades obtingudes es van anotar en un paper.

A més, es van emplenar dos pots d'aigua de cada font per després portar-los al laboratori.





Les mostres d'aigua abans d'analitzar els paràmetres fisicoquímics.

3.2. ANÀLISI AL LABORATORI

Al laboratori es va analitzar l'alcalinitat (HCO_3), el clor (Cl), els sulfats (SO_4), el calci (Ca), el magnesi (Mg), el sodi (Na) i el potassi (K) i els nitrats (NO_3)⁵.

METODOLOGIA: al laboratori, l'alcalinitat (com HCO_3^-) es va determinar usant la titració de Gran utilitzant àcid sulfúric 0.2N i mesurant el pH en increments de 1 ml d'àcid afegit fins assolir pH 4.30. Nitrat (NO_3^- - N); Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ i K^+ es van determinar utilitzant cromatografia iònica en els laboratoris de l'Institut Català de Recerca d'Aigua.

⁵ El nitrat és una sal química derivada del nitrogen que podem trobar de forma natural en quantitats baixes al sòl i a l'aigua.

4. RESULTATS

4.1. RESULTATS DE CAMP

	Temperatur a	Oxigen dissolt	Oxigen dissolt	pH	Conductivitat
	°C	%	mg/L	-	mS/cm
PICANT	13,9	27,8	3,2	5,07	136,4
CARLINS	15,2	79,4	6,47	7,05	142,6
PUDOSA	20,3	39,6	3,52	3,81	148,8
CAPELLANS	14,9	81	7,41	6,78	155

Les aigües de la font dels Carlins i de la font dels Capellans tenen un valor de pH que s'acosta molt a 7, per tant són neutres. La font Picant i la font Pudosa tenen un pH molt baix, i això implica que no siguin potables i que tinguin el carbonat en forma de CO₂ (s'explica més endavant)(**Figura 4**).

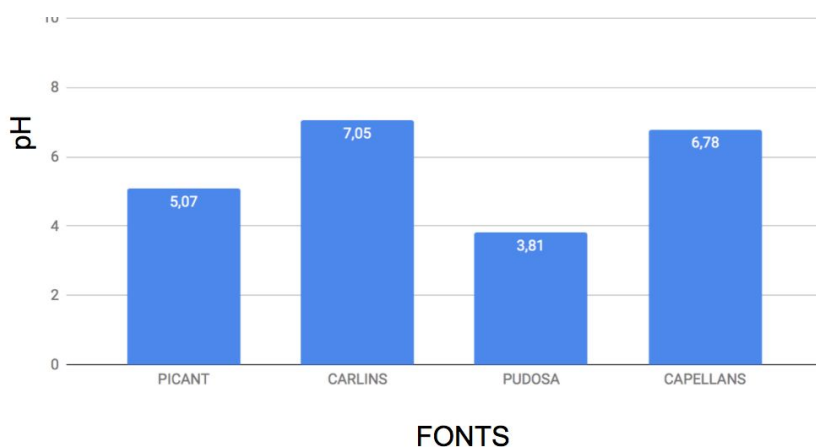


Figura 4: gràfica pH

La temperatura (**Figura 5**) a la que surt l'aigua de les fonts que surt directament de sota terra varia molt poc, però la font Pudosa veiem que té una temperatura més alta que les altre. Això és perquè al ser una bassa l'aigua està a temperatura ambient.

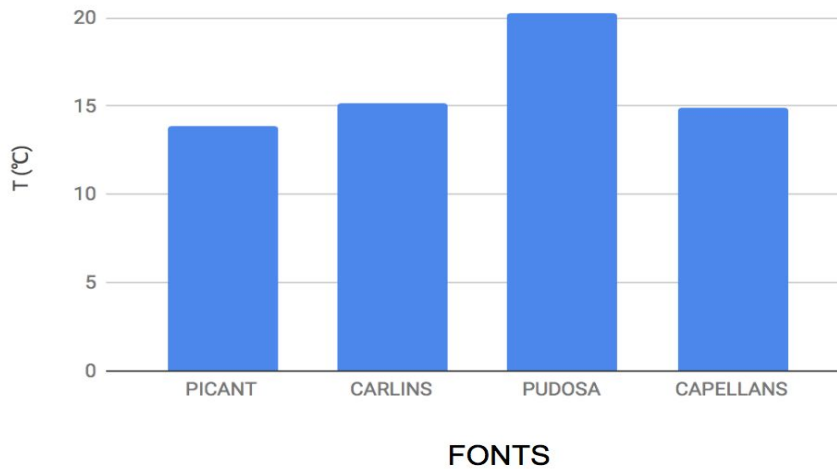


Figura 5: gràfica temperatura

La font dels Capellans és la que presenta més conductivitat elèctrica (**Figura 6**), i la picant és la que menys.

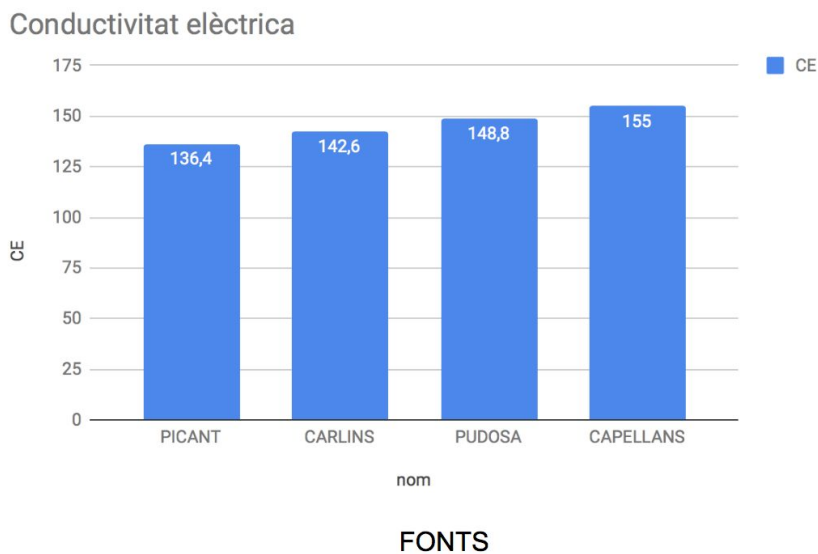


Figura 6: gràfica conductivitat elèctrica

Pel que fa a l'oxigen dissolt (**Figura 7**), on en podem trobar més concentració és a la font dels Capellans i a la dels Carlins, mentre que la font Pudosa i la font Picant en presenten una concentració bastant menor.

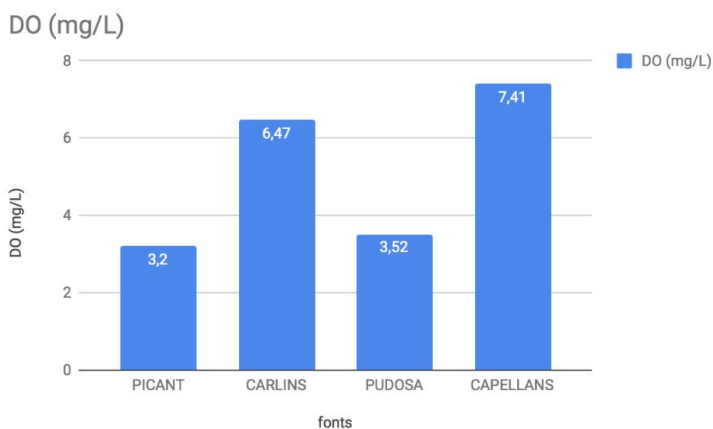


Figura 7: gràfica dissolució d'oxigen

4.2. RESULTATS DE LABORATORI

Els resultats estan expressats en **mg/L**.

	Alcalinitat	HCO ₃ (-)	S-SO ₄	SO ₄ (2-)	Cl(-)	N-NO ₃	NO ₃ (-)	Ca(2+)	Mg(2+)	Na(+)	K(+)
	mg CaCO ₃ /L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Picant	32,42	19,78	4,36	13,34	6,92	1,11	4,90	11,14	4,32	6,89	0,59
Carlins	54,61	33,31	4,20	12,87	5,22	0,23	1,03	13,26	6,58	7,58	0,12
Pudosa*	-*	0,00	40,31	123,44	2,97	<LOQ	< 0.01	17,37	7,69	2,68	3,31
Capellans	40,64	24,79	1,77	5,42	6,21	0,31	1,36	9,02	3,93	6,78	0,42

-* pH <4,5, per la qual cosa, la major part de l'alcalinitat està en forma de gas carbònic (CO₂)

ACLARACIONS:

- Per calcular la concentració de bicarbonat en mg HCO₃/L, s'han transformat les unitats d'alcalinitat (mg CaCO₃) a mg HCO₃/L.
- El sulfat (SO₄) i el nitrat (NO₃), els donaven amb " sofre en forma de sulfat" (S-SO₄) i de "nitrogen en forma de nitrat" (N-NO₃). Per poder-los transformar a SO₄ i a NO₃, s'ha utilitzat la proporció de pesos atòmics/moleculars.

Com podem veure, la font Picant, la dels Carlins i la dels Capellans tenen una alcalinitat superior a la mínima acceptada internacionalment (20 mg de CaCO₃/L), ja

que sinó es tornen molt sensibles a la contaminació. En canvi, la font Pudosa, com que té un pH inferior a 4,5, la major part de l'alcalinitat la trobem en forma de CO₂. La zona on trobem la font Pudosa es caracteritza per una olor a ous podrits, que identifiquem amb el sofre. Les analítiques confirmen que la font Pudosa té una concentració molt elevada de sulfats (per tant, una concentració molt elevada de sofre en forma de sulfat), mentre que les altres tres en tenen nivells molt més baixos. En quant als nitrats, les quatre fonts en presenten concentracions molt baixes, cosa que ens diu que estan molt poc contaminades (el nivell màxim de nitrats a l'aigua perquè sigui potable és de 50 mg/L)

Totes quatre fonts tenen nivells baixos de Clor, essent la font Pudosa la que en té el nivell més baix.

Totes les aigües que tenen menys de 150 mg/L de Calci i menys de 50 mg/L de Magnesi es consideren de mineralització dèbil, per tant totes les nostres aigües es poden considerar-s'ho

També totes quatre aigües són hipo-sòdiques, ja que presenten menys de 20 mg/L de sodi.

En quant al potassi, totes les fonts presenten menys d'1 mg/L de concentració de Potassi, menys la Pudosa, que en té una concentració més elevada.

Concentracions expressades en meq/L (meq/L = mg/L * valència/pes molecular)

Pes molecular	61	98	35	62	40	24	23	39							
	HCO ₃ ⁽⁻⁾	SO ₄ ⁽²⁻⁾	Cl ⁽⁻⁾	NO ₃ ⁽⁻⁾	Ca ⁽²⁺⁾	Mg ⁽²⁺⁾	Na ⁽⁺⁾	K ⁽⁺⁾	Suma anions	Suma cations	Error	HCO ₃	SO ₄ +C	Ca+Mg	Na+K
	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L							
Picant	0,324	0,272	0,198	0,079	0,557	0,360	0,300	0,015	0,873	1,232	17,0%	0,37	0,63	0,74	0,26
Carlins	0,546	0,263	0,149	0,017	0,663	0,548	0,330	0,003	0,975	1,544	22,6%	0,56	0,44	0,78	0,22
Pudosa*	0,000	2,519	0,085		0,869	0,641	0,116	0,085	2,604	1,711	-20,7%	0,00	1,00	0,88	0,12
Capellans	0,406	0,111	0,178	0,022	0,451	0,328	0,295	0,011	0,717	1,084	20,4%	0,57	0,43	0,72	0,28

Per calcular l'error i fer gràfics, **cal fer servir les unitats de meq/L**: mmols*valència, i mmols = mg/pes molecular

4.3. ANÀLISI DELS RESULTATS

Taula general dels resultats.

	Condu ctivitat	pH	O ₂	Alcalini tat	HCO ₃ (-)	S-SO ₄	SO ₄ (2-)	Cl(-)	N-NO ₃	NO ₃ (-)	Ca(2+)	Mg(2+)	Na(+)	K(+)
	$\mu\text{S/cm}$	[-]	mg/L	mg CaCO ₃ /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L
Picant	136,4	5,07	3,2	32,42	19,78	4,36	13,34	6,92	1,11	4,90	11,14	4,32	6,89	0,59
Carlins	142,6	7,05	6,47	54,61	33,31	4,20	12,87	5,22	0,23	1,03	13,26	6,58	7,58	0,12
Pudosa*	148,8	3,81	3,52	-*	0,00	40,31	123,44	2,97	<LOQ	< 0,01	17,37	7,69	2,68	3,31
Capellans	155	6,78	7,41	40,64	24,79	1,77	5,42	6,21	0,31	1,36	9,02	3,93	6,78	0,42

Per determinar els tipus d'aigua segons les qualitats que han estat analitzades al laboratori, hem fet un gràfic (en unitats meq/L) (**Figura 8**) que relaciona la proporció de bicarbonat (HCO₃) i la de calci + magnesi (Ca+Mg).

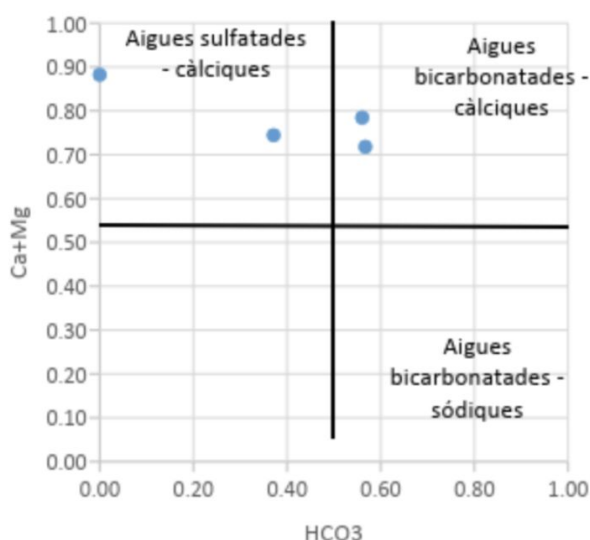


Figura 8: gràfica que relaciona HCO₃ - Ca+Mg

De les 4 fonts, dues són sulfatades-càlciques, la font Picant i la Font Pudosa. En el gràfic són les del quadrant de dalt a l'esquerra. I les altres dues, que com podem veure són bastant semblants entre elles, són la font dels Carlins i la font dels Capellans, que són bicarbonatades-càlciques.

Una de les diferències que tenen és que el carbonat es troba en diferents estats segons el pH de l'aigua. Aquest fet es pot explicar gràcies al **diagrama de Bjerrum (Figura 9)**:

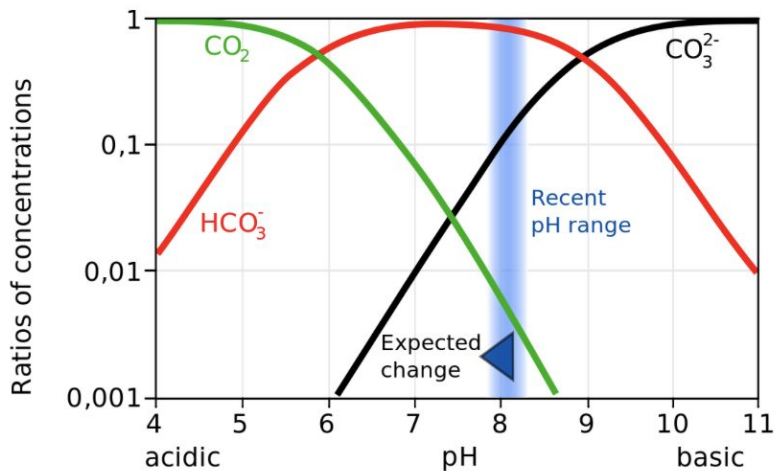


Figura 9: Diagrama de Bjerrum

Aquest diagrama mostra de manera gràfica les formes en les que podem trobar el carbonat en aigua dolça depenent del pH. En condicions àcides, la forma dominant és CO_2 , en condicions bàsiques la forma dominant és CO_3^{2-} , i quan la solució no és ni àcida ni bàsica, la forma dominant és HCO_3^- .

La font picant té un pH de 5,07, per tant, la major part del seu carbonat es troba en forma de CO_2 . Però també té una part molt més petita del carbonat es troba en forma de HCO_3^- . La font Pudosa és una aigua molt àcida, amb un pH de 3,81. Segons el diagrama tot el seu carbonat hauria d'estar en forma de CO_2 , cosa que es corrobora en els resultats, ja que podem veure que la quantitat de HCO_3^- és 0. La conclusió que podem treure d'això és que les fonts sulfatades-càlciques (Picant i Pudosa), s'anomenen bicarbonatades simplement perquè la majoria, o la totalitat del carbonat està en forma de CO_2 , no perquè no tinguin carbonat.

La font dels Capellans, amb un pH de 6,78, i la font dels Carlins, amb un pH de 7,05, tenen la majoria, o la totalitat del seu carbonat en forma de HCO_3^- .

El càlcul de la quantitat de diòxid de carboni (CO_2) en l'aigua és molt difícil de calcular, però podem deduir, amb les dades que tenim, si la quantitat de diòxid de carboni és alta, moderada o absent:

Fonts	CO_2

Picant	alt
Carlins	moderat
Pudosa	alt
Capellans	absent

En les fonts Pudosa i Picant veiem que tenen una concentració de CO₂ “alta”. Això té una explicació i és que a una fondària determinada s’assumeix que hi ha una font de CO₂ (segurament associada a la zona volcànica de la Garroxa). A alta pressió aquest CO₂ es dissol fins al punt que l’aigua té un pH de 2 o 3 . En aquest moment en que l’aigua és tan àcida encara queda CO₂ en forma de gas que no s’ha dissolt del tot. Mentre va pujant l’aigua amb alta concentració de CO₂ i de pH molt baix, va consumint hidrogens de les roques, cosa que fa que el pH pugi fins a 4 o 5. En aquests pHs que resulten de consumir H⁺, segons el diagrama de Bjerrum, encara queda CO₂ en forma de gas, que són les “bombolletes” que podem veure i notar amb el gust.

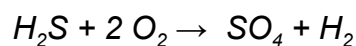
No està documentat que de la fractura per on puja l’aigua de la font Picant en surtin altres gasos en excés. De la font Pudosa, en canvi, sí que en surten altres gasos com el radó o el toró⁶, molt relacionats amb el la falla d’Amer.

⁶ <http://www.elpuntavui.cat/article/-/561823-la-falla-damer-mante-el-seu-potencial-sismic.html>

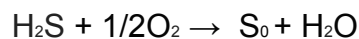
5. DISCUSSIÓ: relació entre el substrat de roca i la composició de les aigües.

Com que no podem saber del cert el recorregut exacte que fa l'aigua de cada font mentre circula per el subsòl, en aquest apartat només es pot fer una aproximació del que pot passar: quins tipus de roques poden afectar l'aigua d'alguna manera perquè acabi tenint les propietats que té.

Un dels elements que destaca més quan veiem la taula dels resultats de l'anàlisi és la quantitat de sofre (S), en forma de sulfat (SO_4^{2-}), que hi ha en l'aigua de la font pudosa. En les altres fonts també hi ha sofre, però no en una proporció tan alta. Això ens indica que en aquesta a la zona de les fonts hi ha com a mínim un mineral que conté sofre, com per exemple la pirita (FeS_2), la galena (PbS), la blenda (ZnS) o la calcopirita ($CuFeS_2$) i que en el recorregut que fa l'aigua de la font pudosa, és clar, hi ha una concentració de minerals sulfurosos important, que influeix molt en la composició de l'aigua. Ateses les condicions de de pH àcid i baix O_2 , els minerals es redueixen, aquesta és la causa més probable per explicar que hi ha H_2S en forma de gas a les aigües de les fonts. Llavors quan aquest H_2S arriba a la superfície, es posa en contacte amb l'oxigen i s'oxida.



També hi poden haver acumulació de precipitats del sofre:



Com que la font pudosa té una composició molt singular, es va plantejar la possibilitat de fer una aproximació experimental indirecta (Columna de Winogradsky) per poder veure, a part de la composició de bacteris dels seus sediments, algunes característiques de l'aigua, com per exemple la relació amb el cicle del sofre (veure annex).

A l'aigua també hi trobem magnesi (Mg), en forma de ió magnesi (Mg^{2+}), que podem relacionar amb minerals com alguns tipus de miques (les que contenen Mg), per exemple la biotita, o altres minerals com la clorita, que és un silicat hidratat que

conté Mg (a més de Fe i Al). També podem relacionar la presència de Mg a l'aigua amb alguns tipus de roques com el basalt, que també és ric en silicats de magnesi.

El potassi de les aigües és degut a minerals com la biotita, però cap de les aigües conté gaire concentració de K, la font Pudosa és la que en té més concentració. També podem trobar calci (Ca) als 4 tipus d'aigua analitzats, cosa que és molt probable que sigui conseqüència del contacte amb alguns tipus de miques.

6. CONCLUSIONS

Al principi del treball em preguntava la relació que tenen les aigües de quatre fonts de la mateixa zona, que estan bastant a prop l'una de l'altra però que són molt diferents.

Per respondre aquesta pregunta, he buscat l'ajuda de professionals, he analitzat l'aigua, he buscat molta bibliografia i al final he arribat a la conclusió sí que podem arribar a saber per què l'aigua cada font té una aigua diferent.

L'aigua de la font dels Capellans és bicarbonatada-càlcica. Aquesta font no està a sobre de la falla d'Amer o sobre cap de les seves fractures secundàries, per tant no en surten gasos. El seu pH es pot considerar neutre, per tant casi tot el carboni està en forma d' HCO_3^- . Té molt poca concentració de sofre comparada amb les altres fonts, per tant durant el seu recorregut no es troba gaires minerals que contenen sofre (per exemple la pirita, la galena, la blenda o la calcopirita). En les anàlisis també podem veure que l'aigua no està contaminada, perquè el nivell de nitrats és baix. La quantitat de calci i la quantitat de magnesi ens diuen que l'aigua ha estat en contacte amb minerals com miques (Ca i Mg) o roques com el basalt (Mg). Té una concentració molt baixa en potassi.

La font dels Carlins és l'altra font amb aigua bicarbonatada-càlcica. L'aigua d'aquesta font circula per el subsol a distància de la superfície. Com la font dels Capellans, no es troba a sobre de la falla d'Amer ni a sobre de cap de les seves fractures secundàries. El pH de la font és neutre, per tant la majoria de carboni el trobem en forma d' HCO_3^- . El nivell de sulfats en l'aigua de la font dels Carlins és baix, cosa que vol dir que no està gaire en contacte amb minerals que contenen sofre. Com que quantitat de nitrats és baixa, l'aigua no està contaminada. Aquesta aigua segur que està en contacte amb minerals com les miques, d'on obté tan calci com magnesi, i amb roques com el basalt, d'on pot obtenir només magnesi. Aquesta font és la que té menys concentració de potassi.

L'aigua de la font Picant és sulfatada-càlcica. En aquest cas, la font es troba a sobre la falla d'Amer, per això a l'aigua hi ha gas carbònic. De fet, l'aigua que surt per el brollador d'aquesta font, ha arribat a la superfície amb el gas des de centenars de metres de fondària. El pH de l'aigua picant és àcid, per això la major part del carbonat es manté en forma de diòxid de carboni. És més salada perquè el CO₂ fa que dissolgui les sals més fàcilment. En quant a les relacions que es poden establir entre l'aigua i la geologia, sabem que durant el recorregut subterrani ha hagut d'estar en contacte amb alguns però pocs, minerals que contenen sofre, amb alguns minerals amb magnesi i alguns altres, però menys, que contenen calci. L'aigua també conté una mica de potassi, per tant en algun moment s'ha hagut de trobar amb algun mineral o alguna roca que li aportí aquest element.

La font Pudosa és la més peculiar de totes. L'aigua que en surt és sulfatada-càlcica. Aquesta font no està a sobre la falla d'Amer, però està molt influenciada per aquesta perquè sí que està a sobre d'una fractura secundària de la falla. Per tant, com passava amb l'aigua de la font Picant, l'aigua de la font Pudosa puja també des de centenars de metres de fondària amb l'ajuda dels gasos que l'impulsen cap amunt. De fet, d'aquesta font no només en surt CO₂, sinó que també s'hi poden trobar altres gasos: el radó i el toró.

L'anàlisi mostra que el pH de la font és molt àcid, per tant, trobem tot el carbonat en forma de CO₂. Una altra cosa peculiar d'aquesta font és que la olor de l'aigua és d'ous podrits, i això passa perquè el seu contingut en sofre és molt alt, per tant durant el seu recorregut subterrani ha entrat en contacte amb gran quantitat de minerals que li aporten aquest element, com la pirita, la galena, la blenda o la calcopirita. També podem veure que el contingut de nitrats en l'aigua és baixíssim, per tant no està gens contaminada. L'aigua d'aquesta font conté una mica més tant de calci com de magnesi que les altres tres, amb això sabem que ha hagut de passar per llocs on les roques i els minerals que tocaven l'aigua en contenien. També passa el mateix amb el potassi, que n'hi ha molta més concentració si ho comparem amb les altres fonts.

Amb la informació a la que he pogut accedir, puc afirmar que he respost la pregunta que em plantejava al principi.

El recorregut que fa l'aigua per el subsòl abans de sortir a la superfície diu molt d'ella. Cada roca i cada mineral amb el que està en contacte li aporta unes propietats molt diferents i fa que sigui única i diferent de totes les altres.

7. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

Bibliografia:

Soler, D., Pallí, L., Brusi, D. (2013). *Geologia de les Guilleries i el Collsacabra: 4 itineraris pel sector gironí* (1a ed.). Girona: Universitat de Girona. Geodinàmica externa - GEOCAMB

Bach, J., Crusells, A., Martínez, A., Tejero, F. (2008). *Ciències de la terra i del medi ambient Ozó 1: Ciències i tecnologia*. (1a ed.). Viladomat, Barcelona: Editorial Teide.

Santillana educación, S. L. (2005). *La enciclopedia del estudiante: 10 ciencias de la Tierra y del Universo* (1a ed.). Torrelaguna: Santillana.

Webgrafia:

<https://www.vilaweb.cat/noticies/fonts-picants-termes-i-brolladors-prendre-les-aigues-a-girona/>

<https://www.naturarespira.com/ca/>

https://ca.wikipedia.org/wiki/Àcid_sulfh%C3%ADdic

<https://ca.wikiloc.com/rutes-senderisme/ruta-fonts-damer-2-14756195>

<http://www.ddgi.cat/municipis/Amer/avanc-pla-memoria.pdf>

<http://www.amer.cat/coneix/coneix/>

<https://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0225336.xml>

<http://www.uab.cat/web/noticies/detall-d-una-noticia/la-falla-d-amer-sorpren-als-geolegs-1090226434100.html?noticiaid=1342419458577>

<https://recercat.cat/handle/2072/14643>

<http://geologiarogerespolet.blogspot.com/2012/12/pissarra.html>

<http://geologiaonline.com/pizarra-composicion-usos-mas/>

<https://www.asturnatura.com/mineral/biotita/3408.html>

<https://www.rocasym minerales.net>

https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c.365,m.108&r=ReP-27969-DETALLE_REPORTAJESABUELO

<https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/mica/>

<https://petroigne.wordpress.com/minerales/minerales-de-alteracion/clorita/>

- Mapes:

<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-geologica-i-geotematica/Cartografia-geologica/GT-I.-Mapa-geologic-1-25.000>

<http://www.icc.cat/vissir/llegendes/mgc50m.pdf>

- Documents

<http://becapallach.udg.edu/geogirona/wp-content/uploads/2013/09/GeoGirona-GeologiadeGirona-GeologiadelaciutatdeGirona.pdf>

<https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/5976/53336.pdf?sequence=1>

<http://premisrecerca.udg.edu/Portals/0/CS/premis2012/93-aigues-mineromedicinals-a-la-selva.pdf>

http://www3.udg.edu/publicacions/vell/electroniques/Tecniques_cientifiques_integrades/documents/CAS%203.pdf

<http://cosmolinux.no-ip.org/temesBG/unitat5.pdf>

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/96425/vmb2de4.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3437/evm3de5.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

<https://www.aguaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html>

8. AGRAÏMENTS

M'agradaria agrair a tothom qui m'ha ajudat en aquest treball en especial a la meva tutora de recerca.

També a la Universitat de Girona, que m'ha resolt tots els dubtes que m'han sorgit i m'ha proporcionat tot el material necessari per les anàlisis.

Al meu tiet, també molt present durant tot el treball.

I per últim, a la meva família, en especial al meu avi, que és qui es coneix la zona d'Amer i totes les fonts que hi ha.

