

ESTUDI PER ANALITZAR LES CAUSES D'OLORS A LA SURGÈNCIA DE LA FALCONERA
ENCAMINAT A MINIMITZAR EL SEU IMPACTE AL POBLE DEL GARRAF

LA QUALITAT DE L'AIGUA DEL SISTEMA HIDROGEOLÒGIC DEL GARRAF I LES SEVES IMPLICACIONS

INFORME FINAL

Juny 2021



Equip de treball

Dr. Antoni Freixes, Director del Projecte la Falconera-Garraf

Joan Solà, Director de Geoservei Projectes i Gestió Ambiental, SL

Pere Pons, Geòleg i hidrogeòleg. Geoservei Projectes i Gestió Ambiental, SL

Juanma López, Ambientòleg i especialista en GIS i modelització. Geoservei Projectes i Gestió Ambiental, SL

Carles Bayés, Climatòleg. Geoservei Projectes i Gestió Ambiental, SL

Arnau Casas, Geòleg. Geoservei Projectes i Gestió Ambiental, SL

Josep M. Cervelló, Geòleg. Carst, sedimentologia del carst i paleocarst

Mercè Aceves, Cap del Servei de Laboratori. Àrea Metropolitana de Barcelona

Dra. Neus Otero, Dr. Albert Soler i Dr. Raúl Carrey. Maima. Isòtops Estables i Mineralogia. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona

Dr. Josep Caixach, Director i **Arantxa Bartolomé**, MSc. Laboratori d'Espectrometria de Masses. Contaminants orgànics. CSIC-IDAEA

Dra. Elisenda Ballesté, Dra. Cristina García-Aljaro, Dr. Francisco Lucena i Dr. Anicet R. Blanch. MARS, Microbiologia d'aigües relacionades amb la salut. Universitat de Barcelona

Dra. Anna Martí, Dra. Pilar Neus Queralt, Dr. Alejandro Marcuello, Dr. Juanjo Ledo. Institut Geomodels. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona

I la col·laboració en l'estudi dels gasos a les cavitats càrstiques de **Lluís Domingo, Lluís Fructuoso, Dr. Àngel Fernández, Ignasi de Yzaguirre, Raúl Cano, Dr. Xavier Font, Dr. José María Calaforra, Dr. Raúl Pérez**. Federació Catalana d'Espeleologia

Agraïments a:

Joan Miquel Trullols, Director de Serveis de Prevenció i Gestió de Residus de l'AMB, el suport en totes les iniciatives i treballs desenvolupats

Sofia Bajo, Cap del Servei de Triatge, Disposició i Deixalleria de l'AMB, el suport en totes les iniciatives i treballs desenvolupats

Pere Rodríguez, tècnic de Servei de Prevenció de Residus de l'AMB, li volem agrair molt especialment la seva dedicació, interès i col·laboració constant

Raúl Valcarce, de TIRSSA, la tramesa d'informació i la col·laboració en el desenvolupament del projecte

Eduard Vall, sots-director general de Mines i Protecció Radiològica, la tramesa d'informació de les explotacions mineres del Garraf

Eduard Terrado, regidor de Medi Ambient de l'Ajuntament de Sitges, la tramesa d'informació i el suport en el desenvolupament del projecte

Dr. Marc Prohom, cap de l'Àrea de Climatologia del Servei Meteorològic de Catalunya per la tramesa d'informació

Joan Ramoneda, l'assessorament i el suport en el tractament de dades

Dr. Josep Saña, l'assessorament en els processos i la gestió d'abocadors

Xavier Obis, de l'Agència Catalana de l'Aigua, la informació sobre les infraestructures de sanejament

Agència de Residus de Catalunya, la tramesa d'informació sobre l'abocador de Garraf

Josep Fraile, hidrogeòleg de l'Agència Catalana de l'Aigua, la col·laboració i tramesa d'informació

Antoni Inglès, treballs de topografia a la Falconera

Santi Llacuna, Director del Parc Natural del Garraf

M. Montserrat Cabré, Oficina tècnica al Parc Natural del Garraf, informació sobre el Parc

Rafael Mateos, del Garraf, les facilitats i suport en la realització del projecte

Mercè Verdejo, alcaldessa d'Olivella, les facilitats en el mostreig del pou Vell

Ramon Salas, Dr. Ciències Geològiques, la documentació facilitada

Dr. Florian Huber, de Submaris, Scientific Diving Operations. Autor fotografia de la portada

Eduard Valera, Enginyer de Telecomunicacions, Intel·ligència artificial (KRAS), assessorament monitoratge

Dr. Josep Ramoneda, Microbiologia ETH (KRAS), l'assessorament en matèria de microbiologia

Manel Monterde, geògraf (GIS) i carstòleg (KRAS), els seus comentaris sobre el carst del Garraf

Jordi Farriol, arquitecte i espeleòleg, el suport en els mostreigs de la Falconera

Dr. Michel Bakalowicz, hidrogeòleg, l'assessorament i la tramesa de bibliografia

Ximo Almela, professor de dibuix i espeleòleg, la informació sobre l'avenc de l'Esquerrà

Carles Fontanillas, les facilitats en el mostreig del pou de Can Fontanillas

Núria Samitier, les facilitats en el mostreig del pou del seu mas

Carles Ventura, les facilitats en el mostreig del pou Eusebi

Joan Pous, les facilitats en el mostreig dels pous de la pedrera de Vallcarca

Eduard Mimoso, de les Botigues de Sitges, les facilitats pel bombament i mostreig del pou Rat Penat

Carme, de can Lluçà, les indicacions sobre el pou de la Mata

Taula de contingut

1. Introducció general	1
2. Metodologia	3
2.1 Introducció.....	3
2.2. Enfocament sistèmic en hidrologia subterrània: la funció d'entrada i la funció de sortida al Garraf.	3
2.3. Monitoratge del sistema de la Falconera.....	6
3. Marc geogràfic	8
3.1 Introducció.....	8
3.1. Activitats i fonts potencials de contaminació	8
4. Geologia	11
5. Clima i precipitació	16
5.1. Context climàtic mediterrani	17
5.2. Característiques generals de la precipitació al massís del Garraf.....	19
5.2.1. El caràcter variable de la precipitació	21
5.2.2. El caràcter extrem de la precipitació.....	23
5.3. El règim pluviomètric estacional.....	27
5.4. Una aproximació a les projeccions d'escenaris de canvi climàtic	28
6. El carst i els aquífers càrstics. Aproximació al carst del Garraf	32
6.1. Morfologia i hidrologia del carst de Garraf.....	37
6.1.1. Hidrologia superficial	37
6.2.2. Morfologia i hidrologia subterrània del Garraf.....	40
6.2. El sistema càrstic de la Falconera i la seva estructura vaclusiana.....	44
6.2.1. Esquema del sistema càrstic.....	45
6.2.2. Un sistema d'estructura vaclusiana	51
6.2.3. Síntesi sobre el funcionament hidrològic de la Falconera	52
7. Hidrologia subterrània: El sistema hidrogeològic del Garraf	54
7.1. Límits del sistema.....	54
7.2. Definició de les unitats hidrogeològiques o subsistemes	56
7.3. Piezometria	59
7.4. Balanç hídric: càlcul de la descarregà al mar i a la Depressió de Sant Pere de Ribes-Sitges	61
7.5. Evolució geodinàmica recent i actual de la línia de costa	65

8. Qualitat de l'aigua i contaminació	70
8.1. Introducció.....	70
8.1.1. La xarxa d'observació: els punts d'aigua.....	70
8.1.2. El mostreig general: una primera aproximació.....	73
8.2. Paràmetres bàsics (dades de camp, ions fonamentals, indicadors de contaminació i metalls solubles).....	76
8.2.1. Lixiviats.....	76
8.2.2. Surgències.....	82
8.2.3. Epicarst.....	86
8.2.4. Pous Carbó, Samitier, Fontanillas i UTE.....	88
8.2.5. Xarxa Piezomètrica Antiga.....	93
8.2.6. Nous piezòmetres: PZ Vallgrassa, PZ Pleta, PZ Pitxot, PZ Abocador SE i PZ Teix.....	94
8.2.7. Les aigües marines litorals de la costa del Garraf.....	97
8.3. Estudi isotòpic de les aigües subterrànies.....	101
8.3.1. Resultats.....	101
8.3.2. Interpretació dels resultats. Mostres sense dades estacionals.....	102
8.3.3. Interpretació dels resultats. Mostres estacionals surgències.....	108
8.3.4. Interpretació de resultats. Mostres estacionals pous.....	120
8.3.5. Influència dels lixiviats.....	130
8.3.6. Consideracions als resultats isotòpics.....	134
8.4. Microcontaminants orgànics.....	136
8.4.1. Els microcontaminants orgànics des de l'enfocament sistèmic.....	136
8.4.2. Consideracions a la presència de microcontaminants orgànics.....	159
8.5. Estudi microbià multiparamètric.....	161
8.5.1. Resultats.....	162
8.5.2. Discussió.....	169
8.6. Evolució en el cicle hidrològic: esquema de funcionament i anàlisi de crescudes.....	170
8.6.1. El cicle hidrològic a la surgència de la Falconera. Anàlisi comparativa amb les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta. Esquema de funcionament. La crescuda de desembre de 2019.....	170
8.6.2. L'evolució de la conductivitat, pH, Eh, O ₂ , sulfur, bicarbonat i calci a F4 i F1-F3.....	173
8.6.3. La crescuda de la surgència de la Falconera del dia 5 de desembre de 2019.....	175
8.7. Els indicadors de contaminació i les normes de qualitat.....	178
8.8. L'origen de l'H ₂ S o àcid sulfhídric: els processos sulfatoreductors.....	183

8.9. Origen i transferència de la contaminació	184
8.10. Síntesi de la contaminació	188
8.11. Àmbit geogràfic i hidrogeològic de la contaminació	190
9. L'abocador de residus sòlids de la Vall de Joan	192
9.1. Hidrologia de la vall de Joan i de l'abocador	192
9.1.1. Geologia	193
9.1.2. Morfologia i carst. L'epicarst	194
9.1.3. Hidrologia i carst de la vall de Joan	195
9.2. Processos interns a l'abocador: lixiviats i biogàs. Implicacions en la contaminació i carstificació	198
9.3. Aproximació magnetotel·lúrica i situació física dels lixiviats	201
9.4. Garraf i l'abocador de la vall de Joan	203
9.5. Consideracions finals	204
9.5.1. Medi físic i captura càrstica	204
9.5.2. Contaminants i origen dels contaminants	205
9.5.3. Tipus d'impacte	205
9.5.4. Evolució en l'espai dels lixiviats	206
9.5.5. Nous potencials de carstificació (dissolució)	206
9.5.6. Nova Xarxa Piezomètrica	206
9.5.7. Cicle de vida. Gestió de lixiviats i gasos. Remediació. Nova geoenginyeria	206
10. Conclusions i recomanacions	208
10.1. Conclusions	208
10.2. Recomanacions	210

Referències bibliogràfiques

Annexos

- Annex 1. Cartografia i figures
- Annex 2. Dades de camp i dades bàsiques
- Annex 3. Informe isòtops i dades analítiques
- Annex 4. Informe microcontaminants orgànics i dades analítiques
- Annex 5. Informe microbiologia i dades analítiques
- Annex 6. Informe geofísica magnetotel·lúrica
- Annex 7. Informe gasos cavitats càrstiques
- Annex 8. Topografia falconera 2021

Índex de figures i taules

Figura 2.1. Enfocament sistèmic: la funció d'entrada a l'aqüífer la defineixen les precipitacions i la funció de sortida el cabal.

Figura 2.2. Respostes hidrològiques de dos aqüífers càrstics A i B de funcionament i estructura diferents. 1. Cabal. 2. Correlograma. 3. Temperatura. 4. Mineralització (o conductivitat). 5. Quantitat d'individus microcrustacis aquàtics (copèpodes).

Figura 2.3. El perfil de la surgència de la Falconera permet observar la situació dels punts objecte del monitoratge: F3 i F4.

Figura 3.1. Situació de les poblacions, urbanitzacions, activitats extractives, estacions depuradores i abocadors de residus sòlids urbans de l'àrea d'estudi (fonts potencials de contaminació).

Figura 4.1. El Garraf i les Serralades Costaneres Catalanes. Contacte al N amb la Depressió del Penedès i al sud amb la mar Mediterrània. Mapa estructural de Catalunya 1:250.000 (1a edició, any 2014).

Figura 4.2. Esquema fotogeològic de la fracturació del Garraf (Guimerà, 1982).

Figura 4.3. Mapa geològic de l'àmbit d'estudi. Important desenvolupament de la fracturació d'orientació oest-est i nord-est-sud-oest. Neotectònica: depressió de Sant Pere de Ribes. Aflorament litoral de carbonats del Cretaci i Juràssic entre Sitges i Vilanova i la Geltrú. Mapa geològic comarcal 1:50.000. ICGC.

Figura 4.4. Comparativa de les diferents cartografies geològiques de l'àmbit de l'abocador.

Figura 4.5. Situació dels dos perfils geològics regionals que fan evident l'estructura del massís del Garraf. Mapa geològic de Catalunya 1:50.000. ICGC.

Figura 4.6. Perfils geològics regionals on s'observa l'estructura del massís del Garraf (Geoservei, 2021).

Figura 5.1. El relleu com a determinant factor geogràfic del clima dins de la conca mediterrània

Figura 5.2. Climograma de l'estació meteorològica de Begues (període 1951-2019). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.3. Zonificació de la pluja mitjana anual a l'àmbit d'estudi dins del massís del Garraf. Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya i de Mazón, J. (2008): Anàlisi pluviomètrica del massís del Garraf, V Trobada d'Estudiosos del Garraf.

Figura 5.4. Situacions típiques de pluja i àmbit territorial d'influència al massís del Garraf. Font: Mazón, J. (2008): Anàlisi pluviomètrica del massís del Garraf, V Trobada d'Estudiosos del Garraf.

Figura 5.5. Tempesta al Garraf. (Font: Fran Lorenzo)

Figura 5.6. Efectes de la tempesta. (Font: Tere Belmonte)

Figura 5.7. Evolució de la pluja total anual a l'estació meteorològica de Begues (període 1950-2020). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.8. Mapa de la disparitat consecutiva mensual de les precipitacions a Catalunya (1981-2010). Font: Lemus, M. (2017). La irregularitat temporal de les precipitacions a Catalunya. GeoGraphos, Universitat d'Alacant.

Figura 5.9. Evolució de la pluja total mes a mes a l'estació meteorològica de Begues (període 1950-2020). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.10. Distribució de la precipitació acumulada entre els dies 18 i 22 d'abril del 2020. Font: Butlletí climàtic mensual. Abril del 2020. Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.11. Precipitació estimada en 24 hores del dia 12 d'agost de 2019 d'acord amb les imatges dels radars gestionats pel Servei Meteorològic de Catalunya i corregida segons les dades dels pluviòmetres de la XEMA. Font: Butlletí climàtic mensual. Agost del 2019. Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.12. Llamps registrats per la Xarxa de Detecció de Descàrregues Elèctriques (XDDE) gestionada pel Servei Meteorològic de Catalunya del dia 27 d'agost. Font: Butlletí climàtic mensual. Agost del 2019. Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.13. Distribució de la precipitació acumulada dels dies 6 i 7 de setembre del 2020. Font: Butlletí climàtic mensual. Setembre del 2020. Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.14. Fenòmens severos generats per embossament d'aire molt fred a les capes mitjanes de la troposfera que reforcen les perturbacions mediterrànies en superfície. Episodi del 14 de desembre del 2004. Font Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.15. Evolució del règim pluviomètric estacional a l'estació meteorològica del Rascler (període 2010-2020). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.16. Evolució temporal de les precipitacions estacionals a l'observatori meteorològic de Begues (període 1950-2020). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

Figura 5.17. Evolució temporal de la precipitació segons projeccions regionalitzades de canvi climàtic. Àmbit de les comarques de Barcelona. Font: Proyecciones climáticas para el siglo XXI. Agencia Estatal de Meteorología, 2021.

Figura 5.18. Evolució temporal estimada de la precipitació segons projeccions regionalitzades de canvi climàtic. Font: Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020) Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050), 2020.

Figura 6.1. Esquema o model conceptual de l'aqüífer càrstic (Mangin, 1975).

Figura 6.2. Model realista del carst experimental de Baget. Exemple de sistema d'estructura de tipus jurassià (Mangin, 1975, Freixes 2014).

Figura 6.3. Esquema realista d'un sistema càrstic d'estructura vaclusiana (Bakalowicz, 1990).

Figura 6.4. Carst Experimental de Baget. Experiència de bombament al sistema annex del Peyrère. Relació estreta entre el dren i els sistemes annexos. Es fa evident la independència d'uns sistemes annexos respecte els altres. (Bakalowicz et al. 1994; Freixes, 2014).

Figura 6.5. Zona saturada del carst experimental de Baget: sistema annex de la Peyrère. Assaig de bombament. (Bakalowicz et al., 1994).

Figura 6.6. Sistemes càrstics jurassians (A i B) i vaclusians (C). Mobilització de les reserves en sistemes jurassians (A i B) i vaclusians (C) segons el tipus l'estructura càrstica on se situa el bombament (Bakalowicz et al. 1994; Freixes, 2014).

Figura 6.7. Aqüífer epicàrstic (Mangin (1975). Superfície amb rascler. Nivell piezomètric. Potencial flux lateral. Reserves hídriques. A. Infiltració ràpida. B. Infiltració lenta.

Figura 6.8. Conques superficials del Bloc de Garraf: riera de Ribes i rieres del Garraf.

Figura 6.9. Conques superficials del Garraf i unitats geològiques. Situació de les cavitats càrstiques i les surgències subaèries més importants.

Figura 6.10. Surgència de la Falconera. Descàrregues a nivell de mar i submarina. Circulació profunda de tipus vaclusià.

Figura 6.11. Gràfica de l'evolució de la variació del nivell del mar en els darrers 120.000 anys de la Falconera.

Figura 6.12. Dades de precipitació del període 2010-2018. Importància remarcable de les precipitacions de l'any 2018.

Figura 6.13. Surgència de la Falconera. Estructura de tipus vaclusià.

Figura 6.14. Surgència de la Falconera. Aportació en crescuda de l'ordre 0,6 m³/s.

Figura 6.15. Topografia de l'avenc de l'Esquerrà. Paleodren vertical de gran desenvolupament. Activitat hidrològica actual observada a la galeria inclinada (escorrentia subterrània) que arriba fins als 291,4 m, profunditat màxima de la cavitat i on es reconeix el nivell piezomètric.

Figura 6.16. Avenc de l'Esquerrà. Antiga pèrdua situada al fondo de l'Esquerra (Boixosa).

Figura 6.17. Galeria de la part inferior de l'avenc de l'Esquerrà. Flux d'escorrentia subterrània (fotografia X. Almela).

Figura 6.18. Isòpode terrestre d'hàbits aquàtics a la galeria inferior de l'avenc de l'Esquerrà amb flux tipus escorrentia subterrània.

Figura 6.19. Cota més baixa de l'avenc de l'Esquerrà: 291,4 m. Conductes sotmesos a la fluctuació del nivell piezomètric i important sedimentació d'argiles (Fotografia X. Almela).

Figura 6.20. Situació de les dues surgències de la Falconera.

Figura 6.21. Aportació de contaminants en situació de crescuda a les surgències de la Falconera i Falconera mar (1,5 km mar endins aproximadament) (desembre de 2019) (Fotografia AMB).

Figura 6.22. Surgència de la Falconera. Flux de descàrrega càrstic a partir de l'eix de drenatge de tipus vaclusià.

Figura 6.23. Surgència de la Falconera. Flux d'aigua de mar cap a l'interior de l'estructura de drenatge.

Figura 7.1. Surgències de les Costes del Garraf: d'Aiguadolç a Punta Ginesta (Cervelló i Freixes, 1992)

Figura 7.2. Aproximació a la piezometria del sistema hidrogeològic del Garraf (Bloc del Garraf)

Figura 7.3. Perfil hidrogeològic regional 01: Esquerrà-Falconera. I perfil hidrogeològic regional 02: Abocador-Falconera.

Figura 7.4. Balanç hídric del sistema hidrogeològic del Garraf (Bloc del Garraf).

Figura 7.5. Imatges de satèl·lit de les Costes de Garraf: d'Aiguadolç a Punta Ginesta. Abans i després de l'episodi de pluja del 5 de desembre de 2019.

Figura 7.6. Descàrrega submarina davant de la població de Sitges (fotografia Eduard Terrado).

Figura 7.7. Augment del nivell del mar a l'estació de mesura de l'Estartit de l'any 1990 al 2020

Figura 7.8. Evolució de la temperatura del mar a diferents fondàries (1974-2020) a l'Estartit (SMC).

Figura 7.9. La surgència de la Falconera fa més de 100 anys. Platja de còdols ben desenvolupada (Fotografia M. Faura i Sans).

Figura 7.10. La Falconera en l'actualitat. La descarrega del rierol és realitza directament al mar (Fotografia de J.M. Cervelló).

Figura 7.11. Punta de les Coves i cova del Gegant fa quasi 100 anys amb una ben desenvolupada platja de sorres i còdols (Fotografia del Centre Excursionista Barcelonès, any 1928).

Figura 7.12. Punta de les Coves i cova del Gegant en l'actualitat sense platja (Fotografia de Josep M. Cervelló).

Figura 7.13. Canvis importants a l'interior de la surgència de la Falconera amb la formació de dipòsits de sorres i graves. La línia il·luminada del sostre a la fotografia de l'esquerra (12/11/2020) es correspon amb la línia marcada per l'ombra al sostre de la fotografia de la dreta (05/05/2021). (Observacions i fotografies de Josep Ma. Cervelló).

Figura 7.14. Evolució de l'estat de les galeries durant el període en que s'han realitzat els treballs de topografia (octubre 2019 – maig 2021).

Figura 8.1. Punts d'aigua estudiats o punts de control.

Figura 8.2. Diagrama de Piper dels punts d'aigua estudiats.

Figura 8.3. Diagrames de Stiff dels punts d'aigua estudiats.

Figura 8.4. Diagrama Cl- vs SO₄²⁻. S'han representat les mostres de lixiviats, pous i la mostra F-0 com valor de l'aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats (T19 i T12).

Figura 8.5. Diagrama TOC vs B. S'han representat les mostres de lixiviats, pous, i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (La Falconera F-0) i Lixiviats (T12 i T19).

Figura 8.6. Diagrama de δ¹⁸O vs δ²H, s'han representat les mostres de lixiviats (T19), pous i aigua de mar (La Falconera F-0). S'ha representat també la línia meteòrica local calculada amb dades de Barcelona. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats.

Figura 8.7. Diagrama Cl- vs Tritt. S'han representat les mostres de lixiviats, pous i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (La Falconera F-0) i Lixiviats (T12 i T19).

Figura 8.8. Diagrama HCO₃⁻ vs δ¹³C. S'han representat les mostres de lixiviats, pous, i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats.

Figura 8.9. Diagrama δ¹⁵NNO₃ vs δ¹⁸ONO₃, s'han representat les mostres. S'ha representat també el rang de variació de δ¹⁵NNH₄ dels lixiviats posant un valor de δ¹⁸ONO₃ de +1,5 ‰ a efectes de representació.

Figura 8.10. Diagrama δ³⁴S vs δ¹⁸O. Els valors de les evaporites al llarg dels temps geològics són de (Claypool et al. 1980b), s'ha representat els valors promig, les barres d'error representen el màxim i mínim. Els valors d'oxidació de sulfurs i sulfat del sòl són de (Clark, I. D., Fritz 1997). Els valors de fertilitzants són de (Vitòria et al. 2004), en aquest cas el punt representa la mitja dels valors analitzats i les barres representat la desviació estàndard. S'ha inclòs valors de aigües residuals d'estudis inèdits.

Figura 8.11a. Diagrama Cl⁻ vs Na⁺. S'han representat les mostres de lixiviats, surgències i el valor teòric de l'aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (Falconera F-0) i Lixiviats.

Figura 8.11b. Diagrama Cl^- vs SO_4^{2-} . S'han representat les mostres de lixiviat, surgències i el valor teòric de l'aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (Falconera F-0) i Lixiviats.

Figura 8.12. Percentatge d'aigua de mar a les surgències calculat a partir dels models de barreja Cl^- vs Na^+ .

Figura 8.13. Diagrama TOC vs NH_4^+ . S'han representat les mostres de lixiviat, pous, surgències i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats.

Figura 8.14. Percentatges de barreja de lixiviat per a les mostres de les surgències, calculats amb els models de barreja TOC vs NH_4^+ .

Figura 8.15. Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$, s'han representat les mostres de lixiviat, pous, surgències i aigua de mar. S'ha representat també la línia meteòrica local calculada amb dades de Barcelona. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (Congre) i Lixiviats.

Figura 8.16a. Diagrama Cl^- vs Triti. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12 i T19), i models entre lixiviat i percentatges de barreja variables entre Funció entrada i Mar.

Figura 8.16b. Diagrama NH_4^+ vs T. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12 i T19), i models entre lixiviat i percentatges de barreja variables entre Funció entrada i Mar.

Figura 8.17. Diagrama HCO_3^- vs $\delta^{13}\text{C}$. S'han representat les mostres de lixiviat, pous, surgències i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12). S'inclouen de barreja teòrica a diferents % d'aigua de mar i extrem aquífer respecte els lixiviat.

Figura 8.18. Diagrama NH_4^+ vs $\delta^{13}\text{C}$. S'han representat les mostres de lixiviat, pous, surgències i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats. S'inclou també un model de barreja entre tres extrems (30% F entrada – 70 % Mar – Lixiviats T12)

Figura 8.19. Diagrama NH_4^+ vs $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$, s'han representat les mostres de lixiviat, surgències i pous amb concentració suficient com per ser analitzades.

Figura 8.20. Diagrama $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$, s'han representat les mostres de les surgències amb concentració suficient per realitzar l'anàlisi. S'ha representat també el rang de variació de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ dels lixiviat posant un valor de $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ de +1.5 ‰ a efectes de representació en el gràfic.

Figura 8.21. Diagrama $\delta^{34}\text{S}$ vs $\delta^{18}\text{O}$. Els valors de les evaporites al llarg dels temps geològics són de (Claypool et al. 1980b), s'ha representat els valors promig, les barres d'error representen el màxim i mínim. Els valors d'oxidació de sulfurs i sulfat del sòl són de (Clark, I. D., Fritz 1997). Els valors de fertilitzants de (Vitòria et al. 2004), en aquest cas el punt representa la mitja dels valors analitzats i les barres representat la desviació estàndard. S'ha inclòs valors de aigües residuals d'estudis inèdits.

Figura 8.22. Diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{34}\text{S}$. S'han representat les mostres de punts de control i aigua de mar. S'ha calculat un model de barreja teòric entre els extrems Funció entrada i Mar.

Figura 8.23. Diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$. S'han representat les mostres de punts de control i aigua de mar. S'ha calculat un model de barreja teòric entre els extrems Funció entrada i Mar.

Figura 8.24. Diagrama NH_4^+ vs $\delta^{18}\text{O}-\text{SO}_4^{2-}$, s'han representat totes les mostres de La Falconera amb dades estacionals separades de les mostres recollides en el mostreig general.

Figura 8.25. Diagrama Cl^- vs Na^+ (a dalt) i Cl^- vs SO_4^{2-} (a sota). S'han representat les mostres de lixiviat, pous i el valor teòric de l'aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Mar (Falconera F-0) i Lixiviats (T19 i T12).

Figura 8.26. Diagrama TOC vs NH_4^+ . S'han representat les mostres de lixiviat, pous, i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Mar i Lixiviats. Dos dels models s'han fet amb els valors màxim i mínim de la T19.

Figura 8.27. Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$, s'han representat les mostres de lixiviat, pous, surgències i aigua de mar. S'ha representat també la línia meteòrica local calculada amb dades de Barcelona. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Lixiviats i Mar.

Figura 8.28. Diagrama Cl^- vs Triti. S'han representat les mostres de lixiviat, pous, i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12). S'inclou un model d'exemple fet entre la T12 i el Pou Fontanillas.

Figura 8.29. Diagrama HCO_3^- vs $\delta^{13}\text{C}$. S'han representat les mostres de lixiviat, pous i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12). S'inclou un model fet entre el Pou Fontanillas i T12.

Figura 8.30. Diagrama NH_4^+ vs $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$, s'han representat les mostres de lixiviat, surgències i pous amb concentració suficient com per ser analitzades.

Figura 8.31. Diagrama $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$, s'han representat les mostres de l'aquífer càrstic i epicàrstic, i les surgències amb concentració suficient per realitzar l'anàlisi. S'ha representat també el rang de variació de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ dels lixiviat posant un valor de $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ de +1.5 ‰ a efectes de representació en el gràfic.

Figura 8.32. Diagrama $\delta^{34}\text{S}$ vs $\delta^{18}\text{O}$. Els valors de les evaporites al llarg dels temps geològics són de (Claypool et al. 1980b), s'ha representat els valors promig, les barres d'error representen el màxim i mínim. Els valors d'oxidació de sulfurs i sulfat del sòl són de (Clark, I. D., Fritz 1997). Els valors de fertilitzants de (Vitòria et al. 2004), en aquest cas el punt representa la mitja dels valors analitzats i les barres representat la desviació estàndard. S'ha inclòs valors de aigües residuals d'estudis inèdits.

Figura 8.33. Diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{34}\text{S}$. S'han representat les mostres i un model de barreja teòric entre els extrems Funció entrada i Mar.

Figura 8.34. Diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$. S'han representat les mostres i un model de barreja teòric entre els extrems Funció entrada i Mar.

Figura 8.35. Punts de mostreig amb un codi de colors en funció de si s'ha observat o no influència de lixiviat. Blau: no s'ha detectat cap paràmetre que indiqui influència. Groc: S'ha detectat algun paràmetre que indica la influència. Vermell: diversos paràmetres independents confirmen la influència dels lixiviat.

Figura 8.36. Situació dels punt de mostreig de a la surgència de la Falconera.

Figura 8.37. Registres GM-MS de les mostres de lixiviat (T12, T19, Terrassa Baixa (TB) i aigües semi-netes (BI)

Figura 8.38. Registres GC-MS de les mostres de lixiviat d'abril de 2019

Figura 8.39. Registre GC-MS lixiviatS vs Falconera 1 d'abril 2019

Figura 8.40. Propietats físico-químiques de bisfenol A i etil-dimetilpirazina.

Figura 8.41. Registres GC-MS on es pot veure la presència de S molecular (a). Esquema del procés de sulforeducció (b).

Figura 8.42. Resultats dels compostos marcadors a Falconera 1.

Figura 8.43. Resultats dels compostos marcadors a Falconera 3

Figura 8.44. Registre GC-MS de les tres mostres de la Falconera: F1, F2 i F3.

Figura 8.45. Resultats dels compostos marcadors al pou Eusebi.

Figura 8.46. Resultats dels compostos marcadors a F5 (octubre 2019).

Figura 8.47. Resultats dels compostos marcadors a Aiguadolç.

Figura 8.48. Resultats CG-MS d'Aiguadolç i el pou Samitier.

Figura 8.49. Resultats dels compostos marcadors de la surgència de Punta Ginesta

Figura 8.50. Registre GC-MS de les quatre mostres de Punta Ginesta

Figura 8.51. Resultats dels compostos marcadors del pou Carbó.

Figura 8.52. Resultats dels compostos marcadors al pou Samitier.

Figura 8.53a. Resultats dels compostos marcadors al pou Fontanillas.

Figura 8.53b. Resultats compostos marcadors al pou UTE.

Figura 8.54. Resultats dels compostos marcadors al pou Vell.

Figura 8.55. Resultats dels compostos marcadors de can Planes.

Figura 8.56. Determinacions del marcador Bisfenol A als pous de Mas Quadrell, Rat Penat 1 (riera), Comissaria (Sitges) i Rat Penat Esportiu.

Figura 8.57. Zona on s'observa potencial infiltració directa dels lixiviat als materials carbonàtics del Juràssic, aigua avall de la vall de Joan abans de la planta de tractament de lixiviat.

Figura 8.58. Posició i representació quantitativa relativa de les mostres que presentaren resultats positius per a *Escherichia coli* i enterococs.

Figura 8.59. Posició i representació quantitativa relativa de les mostres que presentaren resultats positius per a espores de clostridis.

Figura 8.60. Distribució de les concentracions dels diferents marcadors de cultiu, de dalt a baix: *E. coli*, espores de clostridis i colífags somàtics, en funció de la data de mostreig.

Figura.8.61. Patró o esquema d'evolució del punt F4 (pou Eusebi) a la surgència de la Falconera (precipitació i conductivitat). Línies primes amb les dades de conductivitat mesurades a les surgències de la Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta. Línies gruixudes: extrapolació a tot el cicle de les dades d'Aiguadolç i Punta Ginesta. Els percentatges d'aigua de mar són de l'ordre del 5% a la surgència d'Aiguadolç i del 15% a la surgència de punta Ginesta. A la surgència de la Falconera els valors d'aigua de mar poden arribar a quasi el 100% en situacions de molta influència de la intrusió salina (experimenta una variació de percentatges molt baixos de l'ordre del 2% a valors de quasi el 100%).

Figura 8.62. Diagrames de Stiff. Període de forta intrusió.

Figura 8.63. Diagrames de Stiff. Període de predomini de la descàrrega càrstica.

Figura 8.64. Surgència de la Falconera. Esquema o model d'evolució o funcionament que es repeteix cicle rere cicle. De l'any 2016 al 2020 hi hauria tres cicles hidrològics que observarien el mateix esquema de comportament.

Figura 8.65. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació, Eh, calci i bicarbonats.

Figura 8.66. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació, pH, sulfurs i oxigen dissolt.

Figura 8.67. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació i conductivitat.

Figura 8.68. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació, Eh, calci i bicarbonats.

Figura 8.69. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació, pH, sulfurs i oxigen dissolt.

Figura 8.70. Surgència de la Falconera. Resposta de la conductivitat a la crecuda del 5 de desembre de 2019.

Figura 8.71. Surgència de la Falconera. Resposta de l'amoni a la crecuda del 5 de desembre de 2019.

Figura 8.72. Surgència de la Falconera. Resposta del TOC a la crecuda del 5 de desembre de 2019.

Figura 8.73. Surgència de la Falconera. Mostreig de la crecuda del 5 de desembre de 2019 al pou Eusebi (cabal: 3 L/s). El color groc fosc de l'aigua a "boca de pou" (bassa pedrera) és per la influència dels lixiviat (Fotografia AMB).

Figura 8.74. L'amoni en els diferents punts d'aigua: mitjanes, màxims, i mitjanes i límits de qualitat

Figura 8.75. Mitjanes de TOC dels lixiviat i dels diferents punts d'aigua subterrània i valors màxims de TOC de les aigües subterrànies.

Figura 8.76. Comparació del valors màxims de mercuri del lixiviat i punts d'aigua subterrània i els valors màxims trobats amb el límit de potabilitat.

Figura 8.77. Valors màxims d'arsènic en lixiviat i aigües subterrànies, valors màxims d'arsènic de les aigües subterrànies comparats i, valors màxims d'arsènic i límit de potabilitat.

Figura 8.78. Valors màxims de titani de lixiviat i aigües subterrànies i, valors màxims de titani d'aigües subterrànies comparats.

Figura 8.79. Concentracions màximes de vanadi en lixiviat i aigües subterrànies; concentracions màximes en punts d'aigües subterrànies.

Figura 8.80a. Esquema conceptual del sistema hidrogeològic del Garraf.

Figura 8.80b. Esquema conceptual del sistema hidrogeològic del Garraf (part meridional del Bloc del Garraf). Anàlisi realitzada a partir de dos talls hidrogeològics del sistema càrstic de la Falconera que ocupa la part oriental i central, i de les dades experimentals (paràmetres bàsics (pH, Eh,...), ions fonamentals, indicadors de contaminació (TOC i NH₄⁺), metalls solubles i microcontaminants orgànics) dels punts d'aigua estudiats. A la descàrrega difusa que defineixen els brolladors d'Aiguadolç la contaminació hi arriba per la transferència que es produeix des de l'estructura de drenatge del sistema càrstic de la Falconera a l'aquífer situat al SW, que alimenta els diferents brolladors d'Aiguadolç (TA). Als brolladors de Punta Ginesta la contaminació hi pot arribar transferida des de l'estructura de drenatge del sistema de la Falconera (TPG) o bé, directament des de l'abocador. El tall A il·lustra la relació que hi ha entre el domini de l'abocador i el de la surgència de la Falconera: la macroestructura tectònica determina, encara avui, un

considerable potencial de carstificació (un significatiu gradient hidràulic); en aquest tall es fa evident una ben desenvolupada estructura de drenatge: el temps de trànsit només és d'algunes hores. El sistema càrstic de la Falconera és l'únic al Garraf en el qual s'ha observat un comportament càrstic funcional. El tall B relaciona l'avenc de l'Esquerrà amb la ressurgència de la Falconera (els conductes inferiors a quasi 300 m de fondària, són l'expressió de l'escorrentia subterrània i són tallats pel nivell piezomètric). Tot sembla indicar que la transferència de la contaminació des de l'estructura de drenatge profunda de la Falconera cap el SW no únicament influeix i afecta els brolladors d'Aiguadolç, sinó també el conjunt de brolladors que defineixen la descàrrega submarina difusa que existeix entre la Falconera i Aiguadolç.

Figura 8.81. Impacte per contaminació registrada als punts de control.

Figura 9.1. Perfils geològics de detall de l'àmbit de l'abocador.

Figura 9.2. Perfil hidrogeològic entre l'abocador i la Falconera.

Figura 9.3. Fenòmens càrstics a l'abocador i entorn immediat.

Figura 9.4. Contrast dels resultats de la geofísica tomogràfica amb la topografia original del vas de l'abocador. (Geoservei, 2019).

Figura 9.5. Mapa d'isoconcentracions de CO₂ a l'abocador de la vall de Joan (setembre de 2020) (Anufra-TIRSSA-AMB).

Figura 9.6. Mapa d'isoconcentracions d'H₂S a l'abocador de la vall de Joan (setembre de 2020) (Anufra, TIRSSA-AMB).

Figura 9.7. Piezometria dels lixiviats. Estructura en distensió: falles normals i situació de les cavitats conegudes al vas de l'abocador. Zones d'infiltració privilegiades.

Figura 9.8. Superfície de la base de l'abocador en contacte amb el subsòl carbonàtic. Diferents gruixos de lixiviats (conductor).

Figura 9.9a. Prospecció geofísica magnetotel·lúrica. Situació de diferents seccions de l'abocador.

Figura 9.9b. Prospecció geofísica magnetotel·lúrica. Panells de nord a sud que es corresponen amb les diferents seccions de la imatge de satèl·lit. Topografia actual: línia negra i topografia de 1967 (original): línia violeta.

Taula 6.1. Morfometria bàsica de les conques superficials del Bloc de Garraf

Taula 8.1. Punts d'aigua estudiats o punts de control. Característiques bàsiques.

Taula 8.2. Punts d'aigua estudiats o punts de control. Característiques geològiques.

Taula 8.3. a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls als punts de control dels lixiviats entre l'abril de 2019 i el setembre de 2020.

Taula 8.4: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls al punt de control de la bassa de lixiviats entre els anys 2006 i 2018.

Taula 8.5: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls a les surgències més importants del front marí del Garraf entre l'abril de 2019 i el setembre de 2020.

Taula 8.6: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls a les surgències més importants del front marí del Garraf entre abril de 2019 i setembre de 2020.

Taula 8.7: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls als pous Carbó, Samitier, Fontanillas i UTE entre l'abril de 2019 i el setembre de 2020.

Taula 8.8: Amoni i TOC als diferents pous mostrejats. Síntesi comparativa.

Taula 8.9: Resultats dels paràmetres analitzats a l'antiga xarxa de control.

Taula 8.10. Característiques constructives bàsiques dels nous piezòmetres.

Taula 8.11: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls als piezòmetres excavats en el marc del projecte.

Taula 8.12: Components majoritaris, indicadors de contaminació i metalls al punt Falconera 0 (aigua de mar) el dia 25/09/2019.

Taula 8.13: resultats de diferents paràmetres fisicoquímics i biològics determinats als punts de control de l'Agència Catalana de l'Aigua a l'àmbit de la costa del Garraf (dades extretes de l'aplicació interactiva SDIM de la pàgina web de l'ACA).

Taula 8.14. Resum de la interpretació de l'origen de les mostres en funció dels paràmetres analitzats.

Taula 8.15. Compostos superiors al 10% en els GC/MS de les mostres

Taula 8.16. Marcadors orgànics

Taula 8.17. Compostos traçadors en surgències, pous i piezòmetres.

Taula 8.18. Comparativa resultats contaminants orgànics en les surgències.

Taula 8.19. Comparativa resultats contaminants orgànics en els pous Carbó, Samitier, Fontanillas i UTE.

Taula 8.20. Microcontaminants orgànics als nous piezòmetres.

Taula 8.21. Resultats obtinguts en les 4 mostres de La Falconera i la surgència del Congre. EC: *Escherichia coli*; ENT: enterococs; SRC: espores de clostridis; SOMCPH: colífags somàtics; GA17PH: bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* associats a humans; HMBif: marcador molecular de *Bifidobacterium* associat a humans. crAss: marcador molecular de bacteriòfags de *Bacteroides* associat a humans (El pou Eusebi és equivalent de Falconera 4).

Taula 8.22. Resultats obtinguts en les 4 mostres associades als punts de mostreig dels lixiviats de l'abocador. EC: *Escherichia coli*; ENT: enterococs; SRC: espores de clostridis; SOMCPH: colífags somàtics; GA17PH: bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* associats a humans; HMBif: marcador molecular de *Bifidobacterium* associat a humans. crAss: marcador molecular de bacteriòfags de *Bacteroides* associat a humans.

Taula 8.23. Resultats obtinguts en les mostres d'aigua procedents de diferents pous, fonts i freàtiques. EC: *Escherichia coli*; ENT: enterococs; SRC: espores de clostridis; SOMCPH: colífags somàtics; GA17PH: bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* associats a humans; HMBif: marcador molecular de *Bifidobacterium* associat a humans. crAss: marcador molecular de bacteriòfags de *Bacteroides* associat a humans (La mostra de Rosam Garraf SL, és una segona mostra del pou Samitier).

Taula 8.24. Resultats obtinguts en els diferents punts mostrejats en la Fase 2. EC: *Escherichia coli*; ENT: enterococs; SRC: espores de clostridis; SOMCPH: colífags somàtics; GA17PH: bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* associats a humans; HMBif: marcador molecular de *Bifidobacterium* associat a humans. crAss: marcador molecular de bacteriòfags de *Bacteroides* associat a humans.

1. Introducció general

Aquest document dona resposta als objectius del projecte: **“Estudi per analitzar les causes de les olors a la surgència de la Falconera encaminat a minimitzar el seu impacte al poble de Garraf (Projecte la Falconera -Garraf)”**.

L'objectiu fonamental ha estat conèixer la contaminació de les aigües subterrànies del Garraf i delimitar el seu abast geogràfic. A més, conèixer la contaminació de les aigües subterrànies és indispensable per contribuir a explicar l'origen dels gasos que determinen els problemes de les olors i el seu impacte en el medi i nuclis poblats.

L'altre objectiu, també molt important, és el monitoratge de la surgència de la Falconera, que es troba en curs de materialització. Amb aquest monitoratge es tracta d'aprofundir en el coneixement de la contaminació i de l'origen dels gasos, així com en l'evolució de la contaminació i dels processos que faciliten a presència dels gasos. Els resultats de la monitorització contribuiran a plantejar les iniciatives de remediació.

Precisament foren els episodis d'intensa precipitació de l'any 2018 els que originaren un període de marcada incidència de la contaminació i gasos a la surgència de la Falconera que tingueren un fort impacte en el medi hídic i atmosfèric. La situació es definí com d'emergència i fou la que motivà aquest projecte, que s'ha desenvolupat els anys 2019 i 2020.

En el marc del projecte s'han concretat dos informes:

- **“La qualitat de l'aigua del sistema hidrogeològic del Garraf. Metodologia i estat de situació (juliol 2019)”**,

I un segon informe que analitza la contaminació de les aigües subterrànies observada en la part occidental del massís del Garraf:

- **“La surgència d'Aiguadolç i el pou Samitier (sistema hidrogeològic del Garraf). Característiques hidrològiques i contaminació (novembre 2019)”**.

També s'han realitzat les notes tècniques següents:

- **“Consideracions sobre la gestió de l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan i la seva incidència en la contaminació de l'aquífer de la Falconera (Garraf) (Juny, 2019)”**.
- **“L'impacte ambiental de l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan (Garraf) i la seva gestió (novembre 2020)”**.
- **“El paper de les activitats de clausura de l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan (Garraf) en els impactes sobre el medi físic i la seva gestió (novembre, 2020)”**.

Com es constatarà al llarg del document la contaminació analitzada es posa en relació amb l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan que, per manca d'estanqueïtat suficient, ha transferit i transfereix lixiviats i gasos a les aigües subterrànies, al litoral marí, als espais atmosfèrics oberts i als subterranis de la zona no saturada del carst.

El document recull les aportacions més importants de les diferents aproximacions disciplinàries utilitzades en l'estudi: **geologia, clima, carst i hidrologia subterrània (hidrodinàmica, hidrogeotèrmia, geoquímica bàsica, microcontaminants orgànics, microbiologia i química isotòpica), geofísica magnetotel·lúrica i estudi dels gasos en les cavitats càrstiques**. Els documents complets de les diferents aproximacions es poden consultar en els annexos generals. En els documents complets es poden consultar les metodologies analítiques de les diferents aproximacions: microcontaminats orgànics, microbiologia i isòtops. Les metodologies analítiques dels paràmetres bàsics tenen com a referència l'Standard Methods (Baird, R.B., Eaton, A.D. i Rice, E.W., 2016).

2. Metodologia

2.1 Introducció

El projecte s'ha desenvolupat des de diferents aproximacions o camps de coneixement: Ciències de l'Aigua, de la Terra i de l'Atmosfera.

Des de les Ciències de l'Aigua (que formen part de les Ciències de la Terra) la metodologia ha consistit en un estudi de les aigües subterrànies (hidrogeologia) d'enfocament sistèmic, experimental i interdisciplinari: hidrodinàmica (piezometria, cabal...), hidrogeotèrmia (temperatura de l'aigua), hidrogeoquímica (geoquímica bàsica, i isòtops), microcontaminats orgànics i microbiologia. El monitoratge de la Falconera (en curs) i d'altres punts d'aigua que es proposen a les conclusions s'emmarca en aquesta aproximació metodològica.

Des de la perspectiva més general de les Ciències de la Terra, a part de l'aproximació hidrològica que s'ha explicat, també es considera una diversitat de disciplines: la geologia pròpiament, l'anàlisi de la morfologia càrstica, l'evolució glacioeustàsia, i d'una manera molt important la geofísica primerament en l'aproximació que es fa des de la tomografia i la topografia original de l'abocador i, en segon lloc, des de la geofísica magnetotel·lúrica amb dos objectius: definir la massa de lixiviatos en el subsòl de l'abocador i realitzar una primera aproximació a la geometria de la circulació hídrica subterrània del Garraf.

Finalment, des de les Ciències de l'Atmosfera es fa una aproximació al clima en el marc de l'estudi hidrològic del projecte i una síntesi de la pluviometria del Garraf que tanmateix observa un gran interès en el coneixement del funcionament hidrològic i el monitoratge del sistema.

2.2. Enfocament sistèmic en hidrologia subterrània: la funció d'entrada i la funció de sortida al Garraf

En hidrologia subterrània i, en particular, en el carst o en l'aqüífer càrstic la funció d'entrada del sistema la defineixen les precipitacions, és a dir, el hietograma de precipitació (pluja), i la funció de sortida, la defineix el cabal de les surgències que constitueixen el flux de sortida o descàrrega natural del sistema, és a dir, l'hietograma de cabal (Figura 2.1).



Figura 2.1. Enfocament sistèmic: la funció d'entrada a l'aqüífer la defineixen les precipitacions i la funció de sortida el cabal.

La figura 2.2 mostra dos exemples d'aqüífers càrstics de característiques ben diferents. L'exemple A és un aqüífer mitjanament carstificat, amb una estructura de drenatge ben desenvolupada i amb una important zona inundada (3 o 4 hm³). L'exemple B és un aqüífer molt carstificat, amb una estructura drenatge molt ben desenvolupada i pràcticament sense zona inundada (0,1 hm³). Com es pot veure les respostes del

cabal, la conductivitat, la temperatura i la deriva de la fauna de microcrustacis són comparables i coherents en cada sistema i completament diferents d'una l'altra.

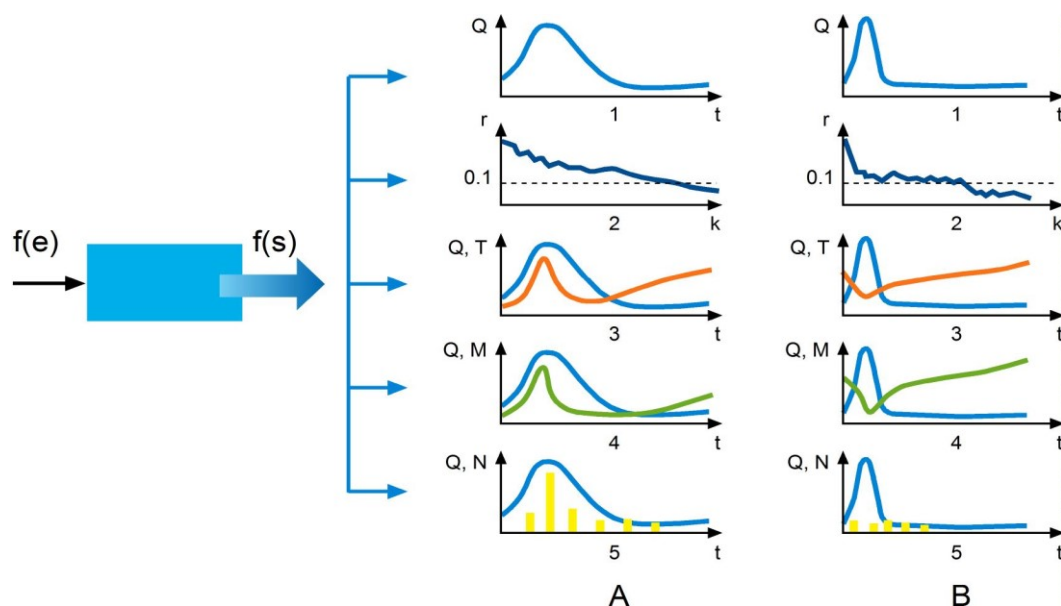


Figura 2.2. Respostes hidrològiques de dos aqüífers càrstics A i B de funcionament i estructura diferents. 1. Cabal. 2. Correlograma. 3. Temperatura. 4. Mineralització (o conductivitat). 5. Quantitat d'individus microcrustacis aquàtics (copèpodes).

En les aigües subterrànies del Garraf hi ha un cert grau de complexitat. En primer lloc perquè el sistema hidrogeològic del Garraf és un sistema de sistemes i la delimitació de cadascun d'ells no és fàcil. En segon lloc perquè la funció de sortida del sistema té una diversitat de descàrregues subaèries que de fet contribueixen a identificar una diversitat de subsistemes. A més, la descàrrega es realitza a la mateixa línia de costa amb surgències situades poc per sobre del nivell del mar (Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta) i també hi ha una important descàrrega submarina. En el cas Garraf, a part de la descàrrega submarina que es podria considerar o definir de Punta Ginesta a Aiguadolç (Pas Trencat, Punta Morisca, Coves del Pebre i Congre...), com analitzarem més endavant, a l'est de Punta Ginesta i a l'oest d'Aiguadolç, la continuïtat dels materials carbonàtics determina diverses descàrregues al mar. A més, a l'est de Punta Ginesta també s'ha de considerar (1) la transferència hídrica dels carbonats juràssico-cretacis als materials detrítics que defineixen l'hemidelta sud del Llobregat i, a la part occidental del massís, s'han d'observar (2) les transferències hídriques que es realitzen a la part interior: és a dir, dels carbonats del Garraf a la Depressió neògena de Sant Pere de Ribes-Sitges.

De fet, la descàrrega submarina sembla ser quantitativament important, però es disposa de molt poca informació. Des del punt de vista sistèmic cal tenir present altres situacions de gran influència en el funcionament del conjunt, particularment en el funcionament del sistema de la Falconera. I és que la intrusió marina té un desenvolupament considerable i influeix o pot influir de forma significativa les surgències que defineixen la funció de sortida. La surgència de la Falconera pot observar contemporàniament un flux d'entrada i un flux de sortida. El flux de sortida està definit per la descàrrega càrstica pròpiament i el flux d'entrada per l'aigua de mar que s'endinsa en l'estructura de drenatge de la Falconera com una expressió de la intrusió marina.

La intrusió marina passa a constituir una part de la funció d'entrada del sistema creant una major complexitat hidrològica i metodològica en l'exemple del Garraf. La intrusió marina esdevé un factor que pot introduir o reintroduir contaminants des del front litoral marí a l'interior de l'aqüífer.

En el projecte s'ha treballat des de la perspectiva de l'enfocament sistèmic amb diferents tipus de punts d'aigua:

- punts d'observació dels lixiviats de l'abocador de la vall de Joan, i
- punts d'aigua subterrània de característiques diverses del sistema hidrogeològic del Garraf.

Es tracta de conèixer la incidència de les aigües residuals de l'abocador en la contaminació de les aigües subterrànies del Garraf. Com veurem a continuació la incidència és considerable i la contaminació afecta una part important dels punts d'aigua estudiats.

Els lixiviats es poden definir des del punt de vista qualitatiu com la funció d'entrada que transfereix la contaminació a les aigües subterrànies (si més no com una part de la funció d'entrada, doncs més endavant constatarem que a part dels lixiviats que s'originen a l'abocador existeixen altres possibles fonts contaminants de menor entitat que poden incidir en la qualitat de les aigües subterrànies, però en cap cas com ho fan els lixiviats). Des de l'abocador es transfereix una càrrega contaminant important a les aigües subterrànies del Garraf. La funció de sortida la defineixen la diversitat de punts de descàrrega constituïts per les surgències a nivell de mar (Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta) i també per una important descàrrega submarina que caracteritza tot el front litoral del nucli urbà de Sitges a l'oest fins les Botigues de Sitges i Castelldefels a l'est. Si es consideren les dades dels diferents balanç hídrics realitzats la descàrrega subterrània total pot ser de l'ordre d'uns 25 a 35 hm³/any segons els autors; quantitativament la descàrrega submarina pot ser més important que la que es realitza per les surgències de la Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta.

Les surgències aporten una informació que té un interès global i faciliten una aproximació a la totalitat de sistema, és a dir, que contribueixen a caracteritzar el sistema (o subsistema si és el cas) des d'una perspectiva global o general, mentre que els pous i piezòmetres aporten una informació que, en general, té un valor més puntual o local, es tracta d'una informació relativa solament a una part de l'estructura de l'aqüífer; pous i piezòmetres curtcircuiten el flux d'aigua subterrània de l'aqüífer que els alimenta (Botton, 1985; Freixes, 2014).

Al Garraf hi ha nombrosos aquífers superficials que difereixen la incorporació de l'aigua a les zones no saturada i saturada del carst. Aquests aquífers superficials o aquífers epicàrstics tenen un paper molt important en el funcionament de l'aqüífer càrstic pròpiament. A l'aqüífer epicàrstic s'hi reconeix la infiltració ràpida i lenta, l'existència de drenatge lateral i el fenomen d'efluència. Aquests aquífers constitueixen reservoris i per tant realitzen una funció d'emmagatzematge de recursos hídrics; es tracta de reservoris de menor entitat situats a la part més superficial de la zona no saturada del carst. Els aquífers epicàrstics tenen un paper molt important en la definició de la funció d'entrada al sistema.

Per acabar aquestes consideracions metodològiques cal remarcar que en l'anàlisi i gestió d'una situació com la que s'observa a Garraf de forta incidència de l'abocador de residus sòlids urbans en les aigües subterrànies i el medi en general és indispensable i prioritària una metodologia fonamentada en els conceptes i aspectes següents:

- Garraf és un carst.

- Carst polifàsic.
- Evolució del carst (isostàsia, glacioeustàsia...).
- Aqüífer càrstic (hidrologia del carst).
- Captura càrstica.
- Hidrologia subterrània de les roques carbonàtiques.
- Ecosistema càrstic.

Així, el carst i la seva evolució, l'aqüífer càrstic i el desenvolupament de captures càrstiques, la perspectiva general que aporta la hidrologia subterrània de les roques carbonàtiques i l'ecosistema càrstic són les referències indispensables en la comprensió de la problemàtica ambiental que es reconeix al Garraf.

2.3. Monitoratge del sistema de la Falconera

El monitoratge és una de les eines fonamentals de la metodologia d'enfocament sistèmic, hidrològic, experimental i interdisciplinària que acabem d'explicar i sintetitzar (Freixes, 1993, 2014). Tal com ho indiquen els resultats del treball desenvolupat en aquest projecte el sistema càrstic de la Falconera, tot i presentar moltes particularitats, és l'únic existent al Garraf.

Aquest sistema és en curs de monitoratge instrumental que permetrà fer un pas endavant important en els resultats del seguiment mensual obtinguts en el període 2019-2020.

El monitoratge s'està concretant en dos punts de l'estructura de drenatge de la surgència de la Falconera: Falconera 3 i Falconera 4 (Figura 2.3). El punt Falconera 4 (històricament conegut com a pou Eusebi) en realitat és una finestra a la zona saturada, que temporalment pot tenir una influència limitada del flux subterrani de l'estructura de drenatge, i el punt Falconera 3 (equivalent al punt F1), és un punt fonamental doncs està situat en l'estructura de drenatge just en el desbordament de la zona inundada de l'aqüífer i on s'inicia el rierol de la Falconera (40 m de recorregut fins al mar). El flux d'F3 en situació de descàrrega respon a la influència del flux hídic càrstic, però en el període de desenvolupament de la intrusió marina, també rep aquesta influència, que es manifesta amb un flux cap a l'interior de l'aqüífer.

La instrumentació per al monitoratge d'aquests dos punts és la següent:

- **Cabalímetre a F3.**
- **Sondes de temperatura a F3 i F4.**
- **Sonda multiparamètrica** per a la mesura d'F3 i F4 (mitjançant bombament a la boca del pou Eusebi) dels paràmetres següents: **Conductivitat, Temperatura, pH, Eh, fDom (matèria orgànica) i Terbolesa.**
- **Equips Instran** per a la determinació de l'amoní i el sulfur d'F3 i F4.

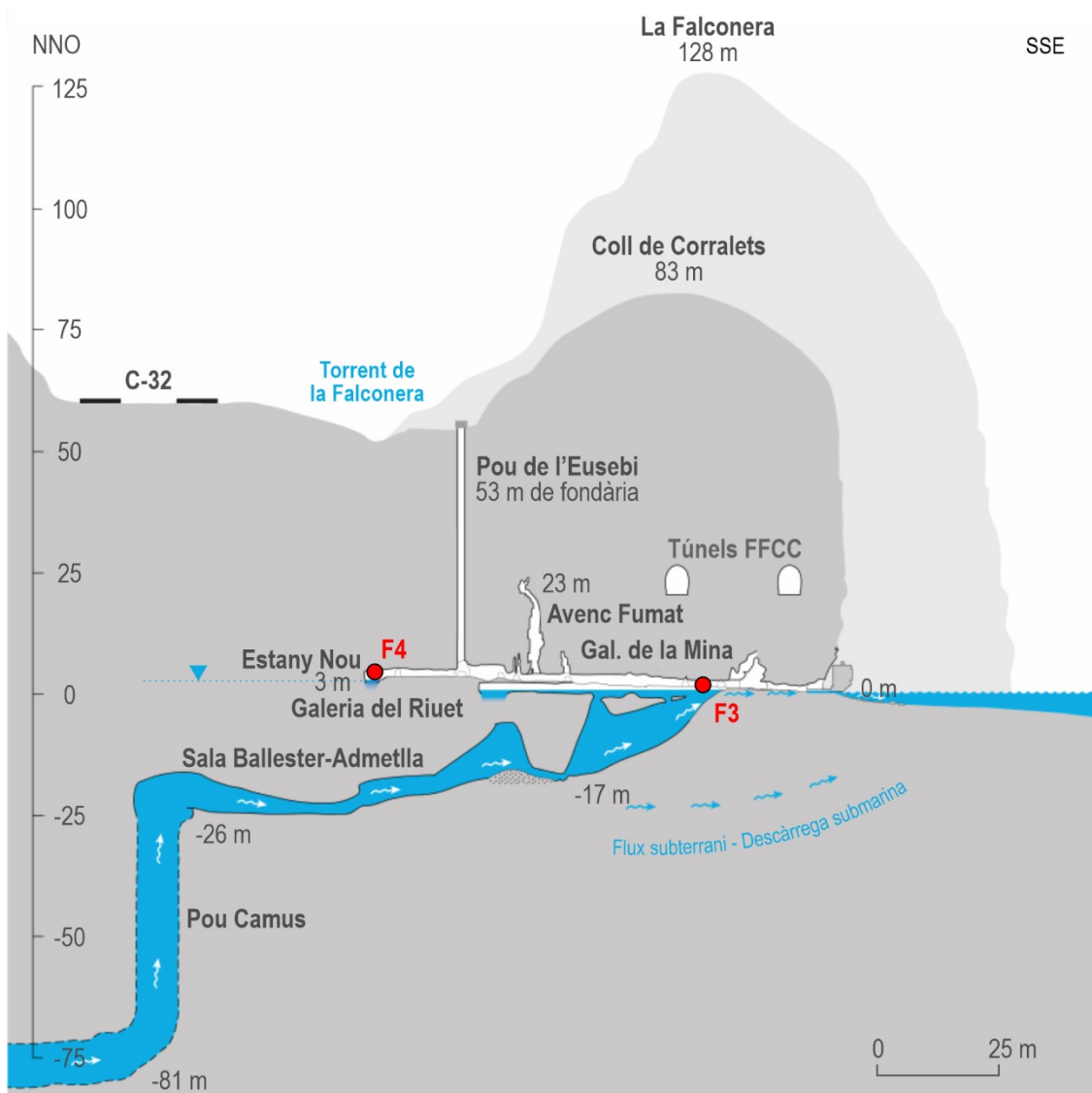


Figura 2.3. El perfil de la surgència de la Falconera permet observar la situació dels punts objecte del monitoratge: F3 i F4.

3. Marc geogràfic

L'àmbit territorial de l'anomenat geològicament Bloc del Garraf (serralada Litoral) és el que cal considerar per emmarcar adequadament la problemàtica de les aigües subterrànies de Garraf i la seva contaminació, encara que, com es veurà més endavant, l'àmbit contaminat correspon principalment a part meridional del Bloc. Es tracta d'un relleu eminentment carbonàtic i molt carstificat.

El Bloc de Garraf implica diverses comarques: al nord l'Alt Penedès, a l'est el Baix Llobregat, a l'oest el Baix Penedès i al sud El Garraf.

La comarca administrativa del Garraf es desenvolupa implicant solament la part meridional del Bloc del Garraf. Té una extensió de 184,44 km² i es caracteritza per una important façana litoral de 26 km on es troben d'oest a est les poblacions de Cubelles, Vilanova i la Geltrú, Sant Pere de Ribes i Sitges. Els nuclis de població del Garraf i les Botigues de Sitges pertanyen al municipi de Sitges. A l'interior del Garraf hi ha les poblacions d'Olivella i Canyelles.

La població més important i capital és Vilanova i la Geltrú amb 67.733 habitants, la segona i la tercera en importància són Sant Pere de Ribes amb 31.111 habitants i Sitges amb 29.307 habitants, respectivament.

El relleu més important del Garraf se situa a la part nord de la comarca i està format per les Muntanyes del Garraf que defineixen una part del Bloc del Garraf. El puig de la Mola amb 532 m és el cim més elevat.

La part sud-occidental és una plana on es troben les poblacions de Sant Pere de Ribes, Sitges, Vilanova i la Geltrú i Cubelles. A diferència de la resta d'àmbit, constituït majoritàriament pel substrat calcari del massís del Garraf, aquesta depressió està formada pels materials detrítics més recents de recobriment neogen i quaternari.

Els relleus més importants pertanyen pròpiament a la part septentrional i oriental del Bloc del Garraf. A la comarca de l'Alt Penedès hi ha els cims del Turó de Montcau: 643 m, les Agulles: 652 m i el Montau: 660 m, i a la part oriental, al Baix Llobregat, hi ha els cims de la Morella: 593 m i el Rascler: 571 m.

A l'extrem oriental, ja al Baix Llobregat, hi ha l'hemidelta sud del Llobregat i el riu Llobregat i a l'extrem occidental el riu Foix, que desemboca al terme de Cubelles i és l'únic curs fluvial que travessa el Garraf, però a l'interior del massís càrstic la hidrologia superficial té una escassa rellevància per la importància que té la infiltració que limita de manera molt acusada el flux superficial. En el Bloc del Garraf el curs superficial més important és la riera de Begues que aigua avall s'anomena riera de Ribes fins a desguassar al mar; l'afluent més important és la riera de Jafre. A la part més meridional hi ha les anomenades rieres del Garraf que, amb un escàs desenvolupament i recorregut, desemboquen al mar.

3.1. Activitats i fonts potencials de contaminació

Al Bloc del Garraf hi ha diferents fonts potencials de contaminació de les aigües subterrànies. En primer lloc cal situar per la seva importància i significació l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan o fons de les Terradelles. També cal citar l'antic abocador de residus sòlids urbans de Sitges, situat al Collet de la Fita a la capçalera de la riera de Vallcarca, en el límit dels municipis de Sitges i Sant Pere de Ribes. Les diferents poblacions de la comarca del Garraf i també de l'Alt Penedès i Baix Llobregat sobretot en el

llarg període que no han disposat d'infraestructures de sanejament, han pogut tenir o han tingut una incidència en el medi hidrològic tant superficial com subterrani. En aquest sentit, és interessant conèixer aquests aspectes en les poblacions de Sitges, Sant Pere de Ribes, Garraf, Olivella i en les seves urbanitzacions i també en les poblacions de les comarques limítrofes: Olesa de Bonesvalls, Begues i Vallirana, principalment. Així l'absència o no d'infraestructures de sanejament i l'anàlisi de les seves característiques quan existeixen (pous negres, petites estacions de depuració, estacions de depuració convencionals...), pot ser especialment rellevant en urbanitzacions com les de Sitges i Olivella, i també a les poblacions situades a la part septentrional del Bloc de Garraf. Actualment disposen d'infraestructures de sanejament les poblacions situades a la part septentrional del Bloc de Garraf: Edar d'Olesa de Bonesvalls, Edar de Begues i Edar del Lledoner (Vallirana).

En el cas de la població d'Olivella i particularment de la urbanització de plana Novella (Olivella) situada a l'interior del massís, en plena zona de recàrrega de la part central i occidental l'aquífer, no es disposa d'infraestructures de sanejament. Recentment, l'aprovació provisional del POUM aposta per la "depuració individual com a sistema més sostenible substituint la xarxa de clavegueram i l'EDAR convencional" (desembre 2020).

Així mateix s'ha de considerar la situació del sanejament en els diferents nuclis rurals situats en el marc de massís del Garraf, on d'altra banda ja és coneguda l'existència de pous negres o de basses de fons no necessàriament complint les normatives existents. També cal conèixer les activitats industrials, d'una banda les existents en polígons industrials i en zones perifèriques de les poblacions i, d'una altra, les pedreres, en general d'enorme desenvolupament al Garraf, que introdueixen una forta vulnerabilitat en el medi hidrogeològic i encara més en el context carbonàtic, càrstic i hidrogeològic del massís (Figura 3.1). En algunes pedreres del Garraf els talls originats per l'exploració han arribat a la zona saturada de l'aquífer.

També s'han de considerar els abocadors i abocaments furtius fora de la legalitat que hagin pogut existir i se'n tingui coneixement. I pel risc que introdueixen també cal considerar les diferents vies de comunicació (principalment autopistes i carreteres) i els seus equipaments (Zwahlen, 2003: COST 620 Action Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers).

Des d'una altra perspectiva, cal observar la forta influència de la intrusió marina que es fa notar de forma molt significativa en la qualitat de l'aigua d'una part important dels punts d'aigua del sistema hidrogeològic del Garraf.

Com es constatarà a l'apartat de qualitat de l'aigua i contaminació, l'enfocament sistèmic i interdisciplinari, que ha estat l'eina metodològica del treball desenvolupat, porta a afirmar que la contaminació de les aigües subterrànies de les surgències de Punta Ginesta, la Falconera i Aiguadolç, i de nombrosos punts d'aigua situats a l'interior del massís (pous: Samitier, Carbó... i piezòmetres: Vallgrassa, Pleta..., té en l'abocador de residus sòlids de la vall de Joan i els seus lixiviats l'única font que pot aportar una contaminació de tipus massiu com l'observada.

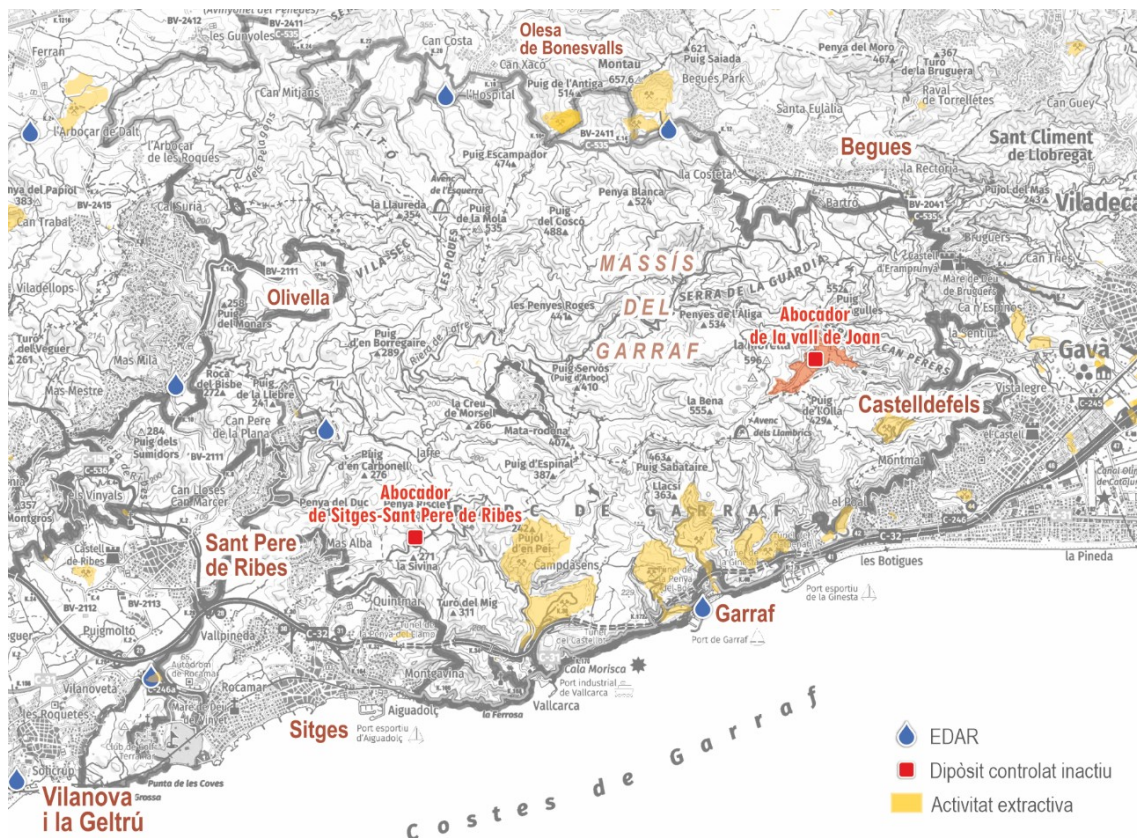


Figura 3.1. Situació de les poblacions, urbanitzacions, activitats extractives, estacions depuradores i abocadors de residus sòlids urbans de l'àrea d'estudi (fonts potencials de contaminació).

Per acabar, remarcar i recordar que el Garraf constitueix un ecosistema càrstic d'enorme interès i complexitat i d'elevada vulnerabilitat. Precisament d'aquí sorgí la necessitat d'introduir figures de protecció com la del Parc Natural del Garraf, creat l'any 1982.

4. Geologia

Per entendre la geologia del Bloc del Garraf cal situar el massís en el domini de les Serralades Costaneres Catalanes. El Garraf forma part de Serralada Litoral. Limita al nord amb la Depressió neògena del Penedès (Garraf-Ordal) i al sud amb la mar Mediterrània (Figura 4.1).

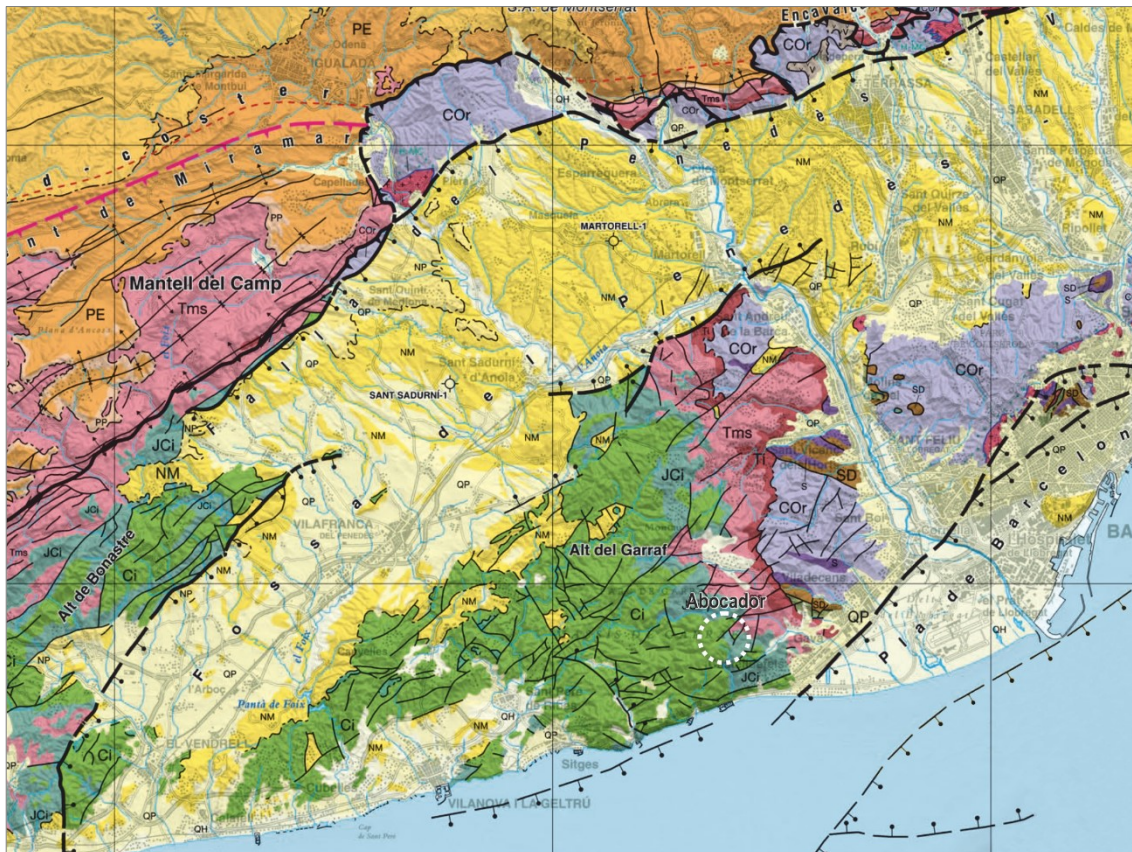


Figura 4.1. El Garraf i les Serralades Costaneres Catalanes. Contacte al N amb la Depressió del Penedès i al sud amb la mar Mediterrània. Mapa estructural de Catalunya 1:250.000 (1a edició, any 2014).

El Bloc del Garraf, essencialment carbonàtic, està basculat al sud-oest (Guimerà, 1987). Aquesta disposició macroestructural ha tingut i té implicacions hidrogeològiques i en la carstificació.

Els materials que constitueixen el Bloc del Garraf estan formats per un sòcol de roques metapsamítiques i metapelítiques (metamorfisme de baix grau de gresos i lutites) del Paleozoic, que aflora a l'est del massís a la vall del Llobregat, i per una successió molt ben desenvolupada del Mesozoic amb materials del Triàsic, Juràssic i Cretaci. El Triàsic està ben representat pels conglomerats, gresos i lutites roges del Buntsandstein, les calcàries, dolomies, gresos i lutites del Muschelkalk i les dolomies, carnoles, guixos i argiles del Keuper.

Els materials del Juràssic i Cretaci són els que principalment interessa considerar en aquest estudi i es caracteritzen per una successió de l'ordre de 1000 m de dolomies i calcàries (i també calcàries dolomítiques). Tant els materials del Juràssic com els del Cretaci estan molt carstificats i constitueixen

pròpiament l'aqüífer (o aqüífers) del Garraf que descarrega al mar. Les roques del Juràssic són de naturalesa dolomítica i les del Cretaci són calcàries, margues i calcàries dolomítiques.

La tectònica alpina ha estat estudiada per Guimerà (1982) qui fa palesa la importància de les estructures de compressió i distensió. Aquest autor fa una interessant anàlisi fotogeològica de les discontinuïtats (fracturació) del massís, que, com es comentarà més endavant, té un elevat interès hidrogeològic (Figures 4.2 i 4.3).



Figura 4.2. Esquema fotogeològic de la fracturació del Garraf (Guimerà, 1982).

La tectònica post alpina és present a l'interior del massís i als seus límits. És especialment remarcable, al nord, el contacte del massís mitjançant falles de distensió amb la depressió del Penedès i, al sud, el contacte o límit del massís amb el mar que també el defineixen falles normals que delimiten la costa tot formant part de la gran estructura en distensió que constitueix el Solc de València (Figura 4.1). També s'ha de remarcar el treball de Baqués sobre la depressió del Penedès (2012) que fa una doble aportació d'interès en el marc del projecte que s'ha desenvolupat, d'una banda en l'anàlisi de l'estructura tectònica introduint l'existència d'estructures en distensió d'orientació nord-sud i, d'una altra, la cronologia de grans episodis de carstificació de l'Oligocè fins a l'actualitat.

Des del punt de vista hidrogeològic interessa aprofundir en el coneixement de la tectònica post alpina, doncs, pràcticament, no hi ha treballs que se n'ocupin.

En aquest marc d'interrelació estructura-hidrogeologia, Cervelló (inèdit) aporta una interessant filogènia del carst de Garraf, que situa els esdeveniments càrstics més importants, insistint en els messinians, pliocens i quaternaris.

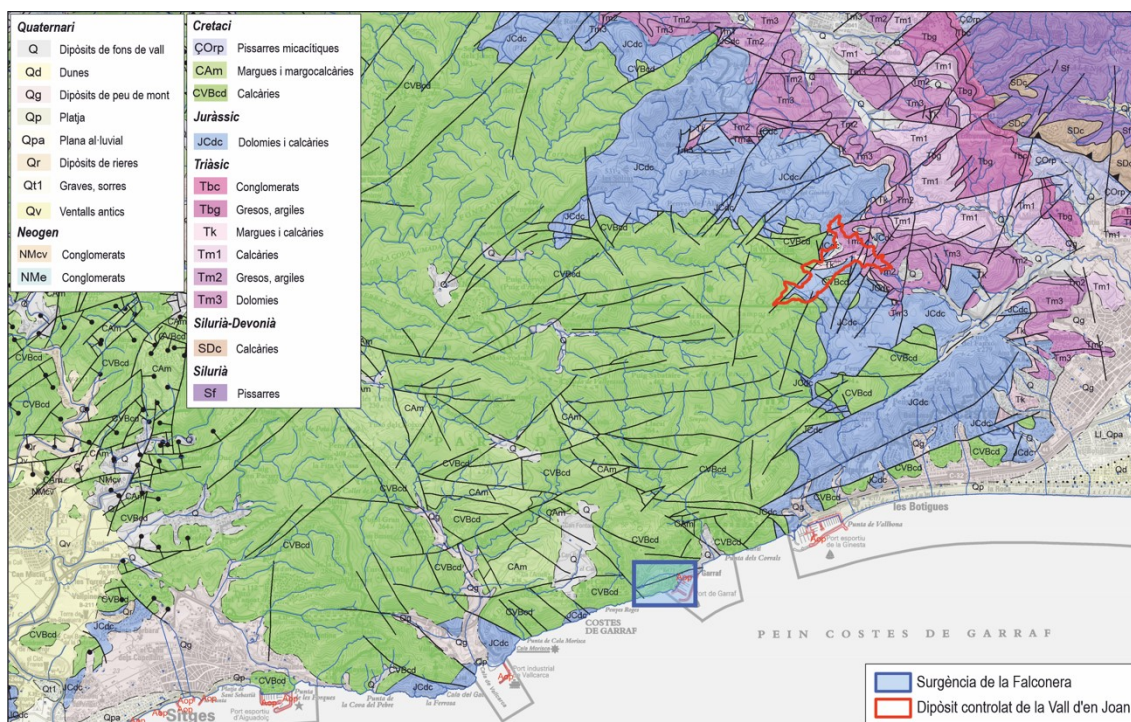
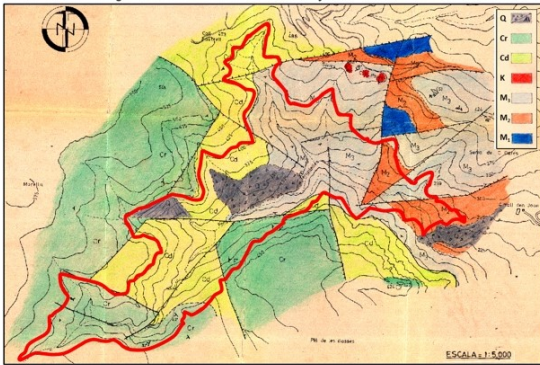


Figura 4.3. Mapa geològic de l'àmbit d'estudi. Important desenvolupament de la fracturació d'orientació oest-est i nord-est-sud-oest. Neotectònica: depressió de Sant Pere de Ribes. Aflorament litoral de carbonats del Cretaci i Juràssic entre Sitges i Vilanova i la Geltrú. Mapa geològic comarcal 1:50.000. ICGC.

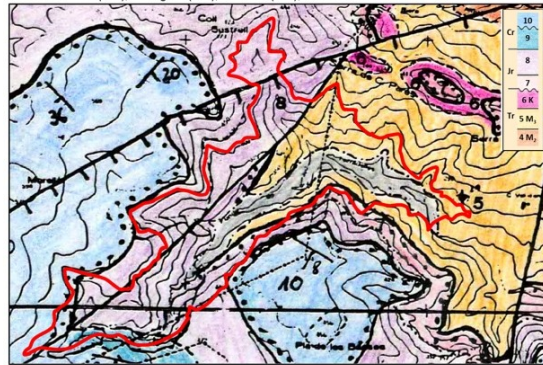
La tectònica post alpina ha tingut un paper molt important, com ja s'ha comentat, en la delimitació del bloc del Garraf i també a l'interior del massís com ho expressa la depressió de Sant Pere de Ribes, que inclou així mateix l'àmbit territorial de Sitges. Aquestes estructures en distensió han tingut i tenen un important paper en la hidrogeologia del massís (Mangin, 1975; Marsaud, 1997; Freixes, 2014) (Figures 4.1, 4.2 i 4.3).

Existeix un tercer treball bàsic i interessant, que és el Mapa Geològic 1:25.000 de l'ICGC (ICGC, 2017) en bona part fonamentat en l'aportació de cartografia geològica realitzada per Salas (1987). Cal notar, però, l'existència de discrepàncies entre les diferents fonts de cartografia geològica oficials en l'extensió de les unitats triàsiques en l'àmbit de l'abocador (Figura 4.4). En aquest treball s'ha optat per utilitzar la cartografia a escala 1:50.000 com a base geològica de referència donat que, en l'àmbit de l'abocador, reflecteix millor les unitats de substrat geològic existents.

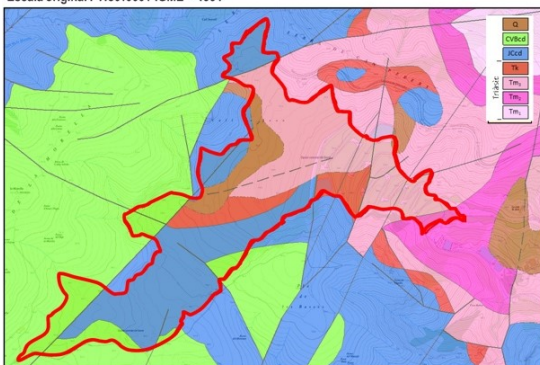
MAPA GEOLÒGIC DE LA ZONA AFECTADA POR EL FUTURO VERTEDERO DE GARRAF. Escala original : 1:5.000. Servicios Técnicos Ay. de Barcelona - 1972



MAPA GEOLÒGIC DEL MASSÍS DEL GARRAF. Escala original: 1:20.000. Inèdit: R. Salas (U.B), X. Segura (U.B), R. Pérez (U.B); 1994



MAPA GEOLÒGIC DE ESPAÑA. HOJA DEL PRAT DEL LLOBREGAT. 448 (36-17). Escala original : 1:50.000. IGME - 1991



MAPA GEOLÒGIC DE CATALUNYA. FULLS DE CASTELLDEFELS, VALCARCA: 448-1-1 (71-33) i 448-1-2 (71-34). Escala original : 1:25.000. ICGC - 2017

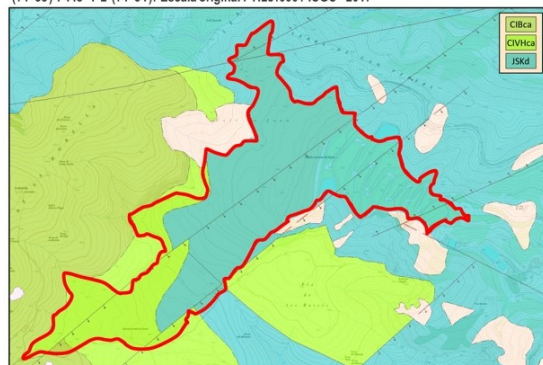


Figura 4.4. Comparativa de les diferents cartografies geològiques de l'àmbit de l'abocador.

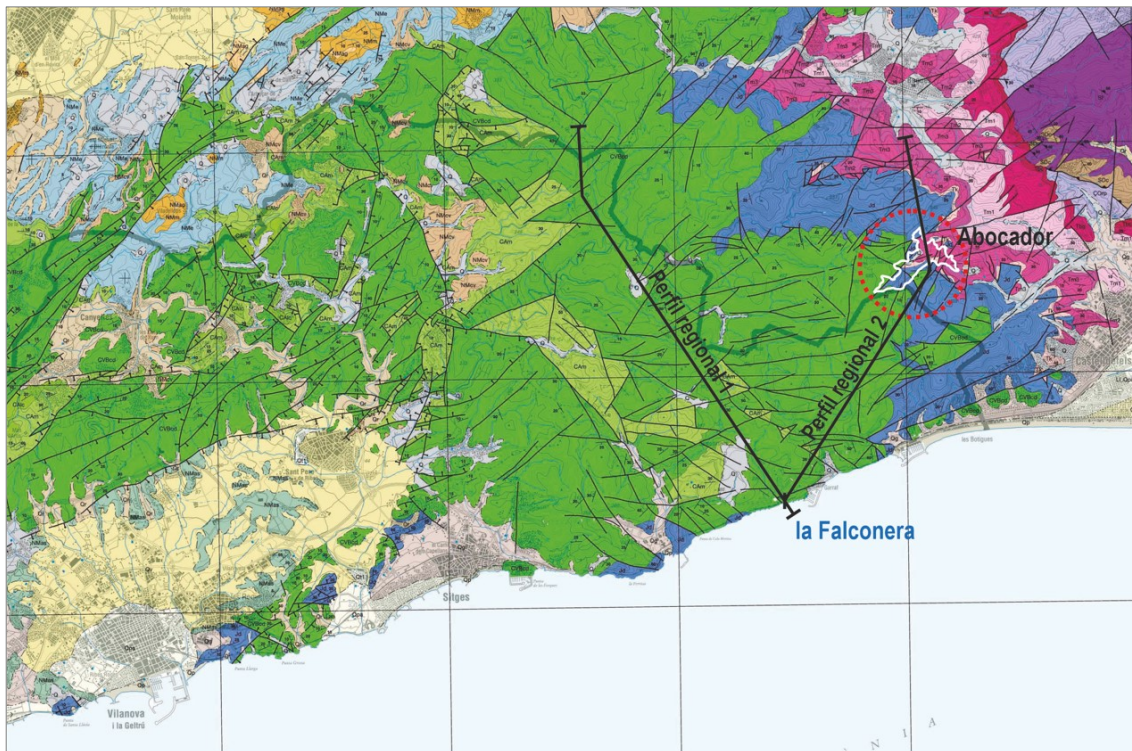


Figura 4.5. Situació dels dos perfils geològics regionals que fan evident l'estructura del massís del Garraf. Mapa geològic de Catalunya 1:50.000. ICGC.

En el mapa geològic (Figura 4.5) se situen dos perfils geològics regionals que permeten observar els diferents trets geològics i estructurals que caracteritzen el Bloc del Garraf:

- basculament cap a l'oest (i sud-oest) dels materials triàsics, juràssecs i cretacs,
- estructura compartimentada en blocs,
- cabussament cap el mar del conjunt de unitats que s'endinsen a mar i s'enfonsen sota la plataforma continental.

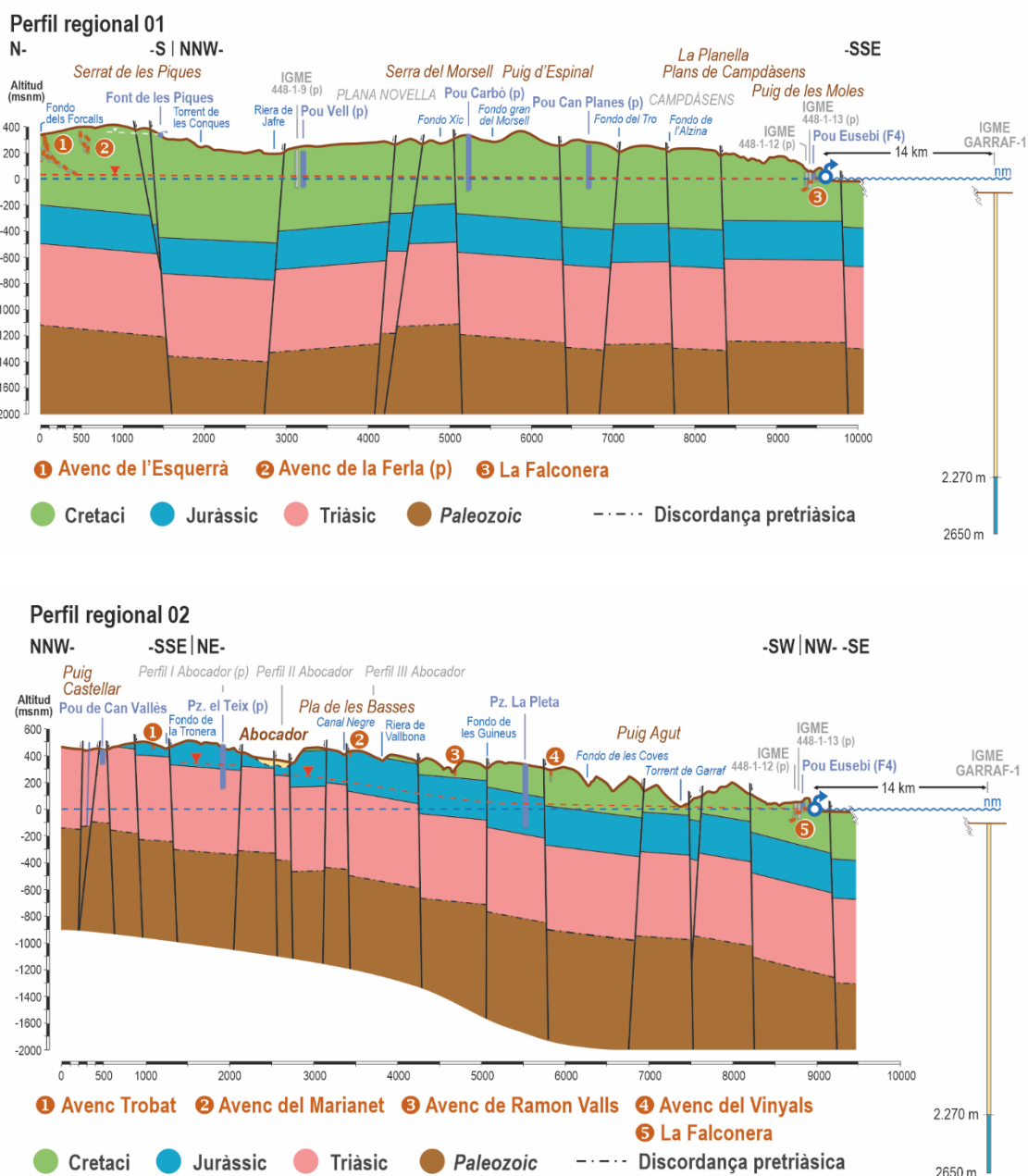


Figura 4.6. Perfils geològics regionals on s'observa l'estructura del massís del Garraf (Geoservei, 2021).

5. Clima i precipitació

Catalunya ocupa una posició latitudinal inclosa dins de la zona climàtica temperada de l'hemisferi Nord del planeta, a la regió mediterrània. És una àrea climàticament complexa tant per la influència de diferents masses d'aire com per la seva orografia molt irregular.

El massís del Garraf forma part d'aquest entramat orogràfic, i actua com un factor geogràfic determinant per explicar les varietats climàtiques de la zona. Explica les diferències territorials que hi ha en les temperatures i en el repartiment territorial de les precipitacions.

Les següents pàgines se centren principalment en la caracterització de la pluja al massís del Garraf pel fet que les precipitacions juguen un paper molt marcat en la dinàmica del carst del Garraf i, especialment en el comportament de les descàrregues de l'aqüífer al front costaner marí i consegüentment en la transferència i transport de contaminants. El comportament espacial i especialment temporal de la pluja té molt a veure, juntament amb altres factors, amb quina és la freqüència i la intensitat dels episodis de contaminació a la surgència de la Falconera i amb altres punts d'aigua del massís del Garraf (des de Punta Ginesta fins a Aiguadolç).

Des d'un punt de vista de fonts de dades, per dur a terme aquest exercici de diagnosi del clima i de la precipitació al massís del Garraf, s'han utilitzat sèries climàtiques corresponents a la xarxa d'estacions meteorològiques automàtiques del Servei Meteorològic de Catalunya, tant de dins de l'àmbit territorial objecte d'estudi com de zones de l'entorn, per tal de valorar disparitats o afinitats territorials en el comportament de les variables climàtiques, especialment de la pluja.

En les properes pàgines es fa notar que hi ha diferències espacials en la distribució de la pluja al massís del Garraf, però no són significatives, i això ajuda a fer més senzilla la interpretació de la variable pluviomètrica en l'estudi en curs i en la valoració dels balanços hidrometeorològics de la zona. A més a més, bona part del massís està exposada a les mateixes situacions atmosfèriques que són més favorables a les precipitacions abundants o intenses, i que per tant tenen un impacte hidrològic i hidrogeològic manifest sobre el territori.

En aquest sentit, s'ha utilitzat l'estació meteorològica del Rascler com a territorialment representativa del massís del Garraf per dur a terme alguns càlculs previstos en l'elaboració dels treballs, i també s'ha utilitzat la sèrie climàtica localitzada a Begues (període 1950-2019) com a representativa tant a escala temporal com espacial. A més a més, s'han considerat les dades mensuals i anuals mitjanes d'altres observatoris meteorològics que tenen el període temporal 2020-2020 en comú, ja sigui a dins o fora de l'àmbit d'estudi (Sant Sadurní d'Anoia, Viladecans i la Granada). A part, s'han valorat les dades de precipitació d'anys recents (2019 i 2020) d'altres observatoris (Olesa de Bonesvalls, Canyelles i Sitges).

Al llarg dels següents apartats es diferencien les respostes de pluja associades a les diferents situacions atmosfèriques propenses a la producció de pluja abundant i intensa al massís del Garraf, i així es justifiquen les diferències territorials, fent notar els màxims de pluja a la part central i quadrant nord-est de l'àmbit d'estudi.

5.1. Context climàtic mediterrani

A cavall entre la zona temperada i l'àrea subtropical, els climes de Catalunya són el resultat d'una amalgama d'influències molt diverses, amb un predomini de les mediterrànies. Els factors geogràfics són permanents i condicionen directament els tipus de temps i conseqüentment de climes a Catalunya, i serveixen així per distingir les propietats climàtiques de l'àmbit del massís del Garraf, a la costa central catalana. Aquests factors del clima tenen a veure directament, doncs, amb l'altitud, l'orientació del relleu, l'exposició als fluxos de vent, i la distància al mar.

En aquest context climàtic a la regió mediterrània, és convenient destacar la singularitat geogràfica del mar Mediterrani, sent un mar pràcticament tancat i càlid, rodejat d'un cinturó muntanyós, i situat a la zona temperada del planeta. Això fa que la Mediterrània sigui una de les zones amb major capacitat ciclogènica del món, on es poden formar i aprofundir pertorbacions.



Figura 5.1. El relleu com a determinant factor geogràfic del clima dins de la conca mediterrània

Els valors màxims de precipitació es troben en uns relleus ben orientats perpendicularment o exposats directament als fluxos superficials marítims del Mediterrani, i per això gran part de les muntanyes del sistema mediterrani costaner actuen com a factors generadors de precipitacions, en què els vents carregats d'humitat del Mediterrani es troben les muntanyes i aquestes forcen el seu ascens. El massís del Garraf està favorablement orientat tant a vents de llevant (est) com a vents del sud-est (xaloc).

Dins de l'entramat de la circulació general atmosfèrica, l'àmbit mediterrani se situa al costat meridional de la zona de circulació general de l'oest, i per tant Catalunya s'exposa a les palpitations tant de la dinàmica atmosfèrica atlàntica del nord com de la dinàmica del cinturó d'altres subtropicals del sud, provocant així la

variabilitat de tipus de temps que és natural al clima mediterrani. A més a més, aquestes masses d'aire fred i càlid que fluctuen del nord i del sud, respectivament, entren en contacte amb la Massa d'Aire Mediterrània, amb unes característiques pròpies de temperatura i humitat, i que esdevenen el detonant dels processos d'instabilitat atmosfèrica. Així, entren en acció les interaccions entre les condicions atmosfèriques en altura i en superfície. Això pot provocar la formació de situacions de pluja abundant, en molts casos associades a llevantades o a episodis de pluja convectiva.

D'acord amb aquestes indicacions introductòries, el massís del Garraf es localitza geogràficament dins dels dominis del clima mediterrani, i concretament del clima mediterrani litoral sud i central d'acord amb la divisió climàtica de Catalunya establerta pel Servei Meteorològic de Catalunya, la qual segueix criteris termopluviomètrics, és a dir, de temperatura i precipitació. A grans trets, aquest tipus de clima presenta una precipitació mitjana anual que oscil·la en general entre els 500 i els 700 mm, amb un màxim estacional de pluja a la tardor, una temperatura mitjana anual compresa entre els 14,5 i els 17°C, i una amplitud tèrmica mitjana anual d'entre 14 i 15°C.

El massís del Garraf presenta un clima temperat en les temperatures, que és moderat en les variacions; és àrid i subàrid arreu, a excepció de l'altiplà de Begues i zones pròximes, on és lleugerament humit. Presenta tímides traces de continentalitat en alguns fons de valls, i a l'altiplà de Begues.

La precipitació és irregular i el massís actua com a element distribuïdor de la pluja, amb valors més baixos a ponent i a la zona sud-oest, i quantitats totals anuals més elevades a la meitat oriental, sobretot al centre i nord.

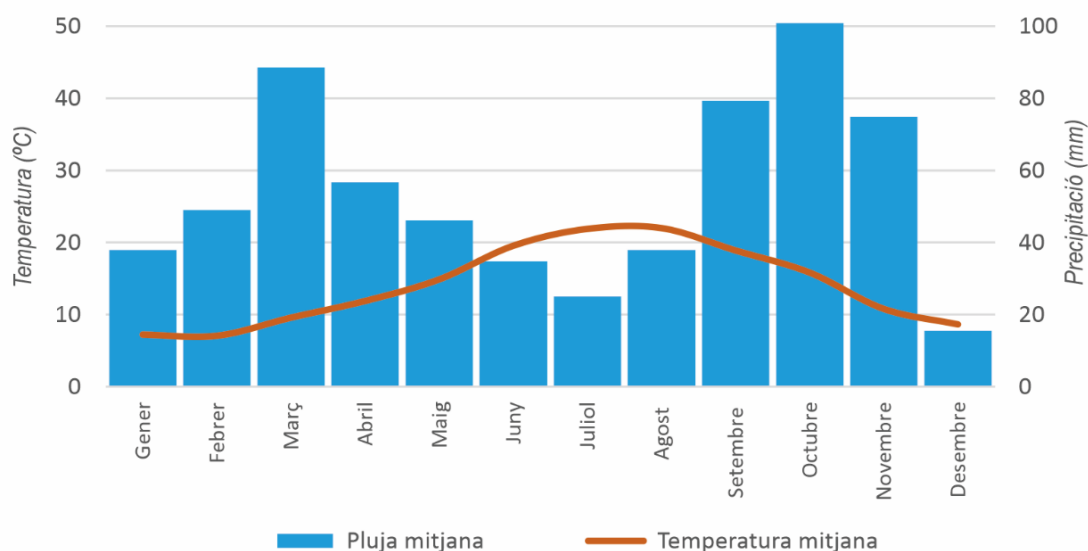


Figura 5.2. Climograma de l'estació meteorològica de Begues (període 1951-2019). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

Com en el conjunt de la conca mediterrània occidental, la pluviometria al massís del Garraf presenta desigualtats en la distribució territorial i una marcada irregularitat temporal. Tot seguit s'entra en el detall d'aquestes consideracions.

5.2. Característiques generals de la precipitació al massís del Garraf

Els mecanismes atmosfèrics generadors de precipitació són els mateixos pel conjunt del massís del Garraf, però aquesta serralada actua com a element modificador de la pluja en el seu repartiment espacial, amb una major precipitació anual a l'est del massís, per sobre dels 600 mm, mentre que a l'oest els valors mitjans anuals se situen per sota dels 600 mm. A la franja estrictament costanera a ponent del massís les quantitats de pluja són més minses, inferiors als 550 mm.

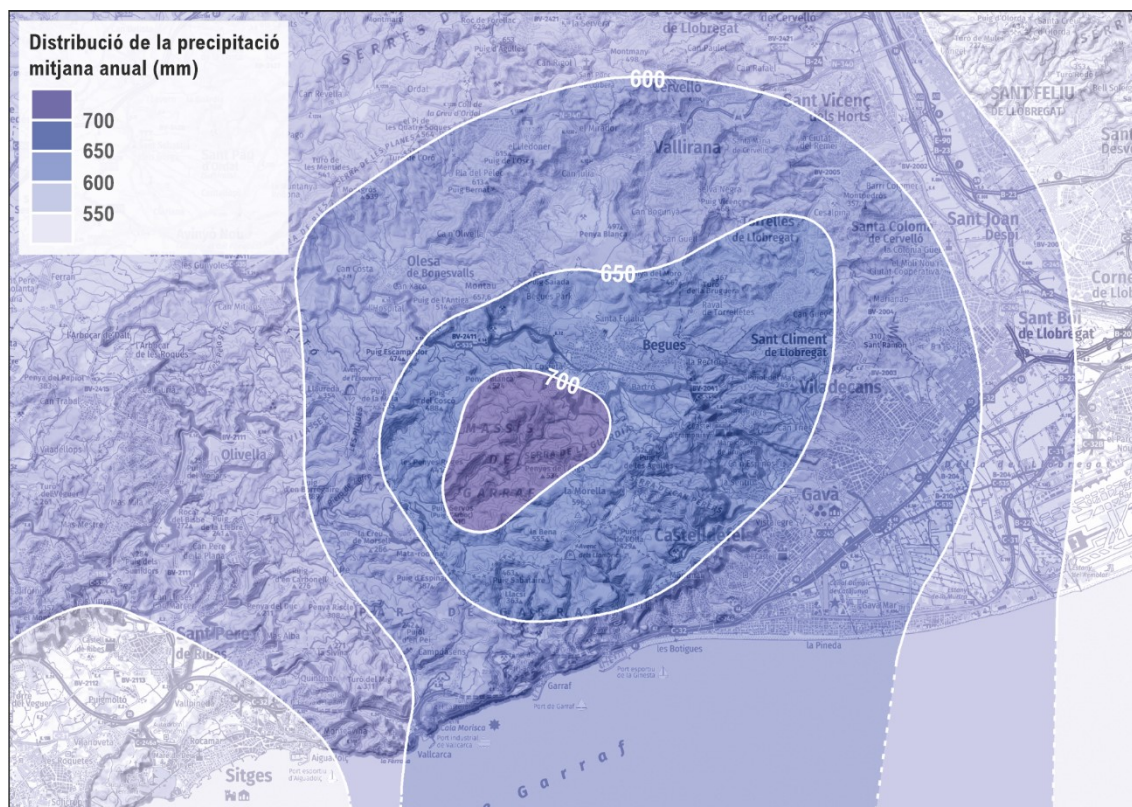


Figura 5.3. Zonificació de la pluja mitjana anual a l'àmbit d'estudi dins del massís del Garraf. Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya i de Mazón, (2008): Anàlisi pluviomètrica del massís del Garraf, V Trobada d'Estudiosos del Garraf.

La zona més plujosa del massís es localitza a la vall de Vallgrassa, en ple cor del massís, en l'arc del Garraf, amb gairebé 700 mm anuals, seguit de Begues. “L'arc del Garraf és el nom que es proposa per definir el sistema de cims i serralades que s'estén des del puig de la Mola fins més enllà del Rascler, passant pel serrat Blanc, la serra de la Guàrdia, les Agulles i la Morella, amb cims que superen els 500 metres d'altura” (Mazón, 2008).

Durant l'hivern la major part de la precipitació està produïda pel pas de fronts i baixes pressions, durant la primavera el fenomen més significatiu és el pas de fronts, a l'estiu són habituals les tempestes i precipitacions provocades per núvols convectius de desenvolupament vertical, i a la tardor es produeixen llevantedes i fronts.

En condicions favorables d'instabilitat atmosfèrica, normalment associades a l'entrada d'aire fred en altura i en superfície amb vents càlids i humits de component sud (S, SO i SE), l'arc del Garraf es converteix en

un centre generador de precipitacions. La taula següent especifica l'origen i l'època de l'any de les precipitacions que es produeixen habitualment al massís del Garraf i al seu entorn.

<i>Estació</i>	<i>Distribució precipitació</i>	<i>Situació típica</i>	<i>Estació</i>	<i>Distribució precipitació</i>	<i>Situació típica</i>
Primavera	Major al N del massís, i lleugerament inferior a l'E, al delta del Llobregat. Notablement inferior a l'W i SW	Pas de fronts, més actius quan més al nord	Tardor	Major precipitació a l'E del massís, al delta del Llobregat. Semblant a la resta: N, W i SW	Llevantades i front superficial mesoescalar
Estiu	No hi ha distribució. Les precipitacions són semblants arreu del massís	Tempestes i pluges de núvols convectius	Hivern	Molt similar a la tardor	Pas de fronts i baixes pressions

Figura 5.4. Situacions típiques de pluja i àmbit territorial d'influència al massís del Garraf. Font: Mazón (2008): Anàlisi pluviomètrica del massís del Garraf, V Trobada d'Estudiosos del Garraf.

Dins del context climàtic mediterrani, la precipitació del massís del Garraf es defineix genèricament pel seu caràcter variable i extrem, i això inclou una pluviometria modesta, una alta variabilitat i irregularitat interanual, una elevada concentració diària, una alta intensitat horària, i llargs períodes secs.

Cal remarcar en aquest apartat que una de les causes de la diferent distribució de la precipitació que crea el massís del Garraf cal cercar-la en la convergència d'aire a nivells baixos donada la interacció de l'aire relativament fred que descendeix per la vall del Llobregat a la nit i l'aire càlid i humit situat sobre la Mediterrània, formant el que s'anomena singularment un front superficial mesoescalar. Així es facilita la convecció de l'aire i la formació de xàfecs intensos. Les rieres i torrents de les serres del Garraf i l'Ordal que desemboquen al delta i a la vall del Llobregat participen en aquesta aportació d'aire fresc (Mazón, 2008). Quan la massa d'aire mediterrània entra en contacte amb l'aire fred convergeixen en superfície les dues masses d'aire, es genera l'ascens de la massa d'aire càlida i humida sobre la d'aire relativament fred i sec, es formen potents nuvolades, s'originen tempestes i es produeixen pluges intenses nocturnes, que descarreguen sobre el mar, i poden penetrar cap a l'interior, a l'àmbit del delta del Llobregat i la part oriental del massís del Garraf. Aquest front pot esdevenir estacionari davant de la costa central catalana, i això fa que es puguin acumular quantitats significatives de pluja en poca estona, provocant inundacions al front costaner.



Figura 5.5. Tempesta al Garraf. (Font: Fran Lorenzo)



Figura 5.6. Efectes de la tempesta. (Font: Tere Belmonte)

Aquest front esdevé un dels mecanismes que produeixen les situacions anomenades de rebuï i que poden generar pluges importants al sector central de la costa catalana. La situació més coneguda és la de rebuï de la tramuntana o estela de la tramuntana, que ve a ser una convergència d'aire que acaba afavorint els moviments ascendents d'aire i, en conseqüència, la generació de nuvolades molt localitzades. Esdevenen situacions meteorològiques de difícil pronòstic.

5.2.1. El caràcter variable de la precipitació

Una de les característiques que defineixen millor la pluviometria del clima mediterrani és la seva variabilitat temporal. Aquesta variabilitat s'avalua a través del coeficient de variació (CV), que s'expressa en percentatge, i els valors més alts representen irregularitats més elevades. Com més gran és la variabilitat en la precipitació, menor és la seguretat que s'assoleixi un valor de precipitació proper a la mitjana d'un territori, i això té efectes en el grau d'incertesa de les pluges esperades d'un any a un altre. L'època de l'any que presenta una major variabilitat és l'hivern, seguida de l'estiu, mentre que les estacions de l'any amb menor irregularitat temporal de les pluges són la primavera i, sobretot, la tardor. Això, no obstant, la tardor presenta uns nivells de variabilitat elevats, propers al 30%. Està establert que el 20% és el llindar que distingeix les precipitacions de caràcter mediterrani, molt irregulars d'un any a un altre. Aquest fet també es fa evident a escala anual, en què diferents anys la pluja s'apropa poc a la mitjana. Hi ha anys molt secs i molt plujosos que s'allunyen de les mitjanes en la precipitació, tal com il·lustra la figura següent.

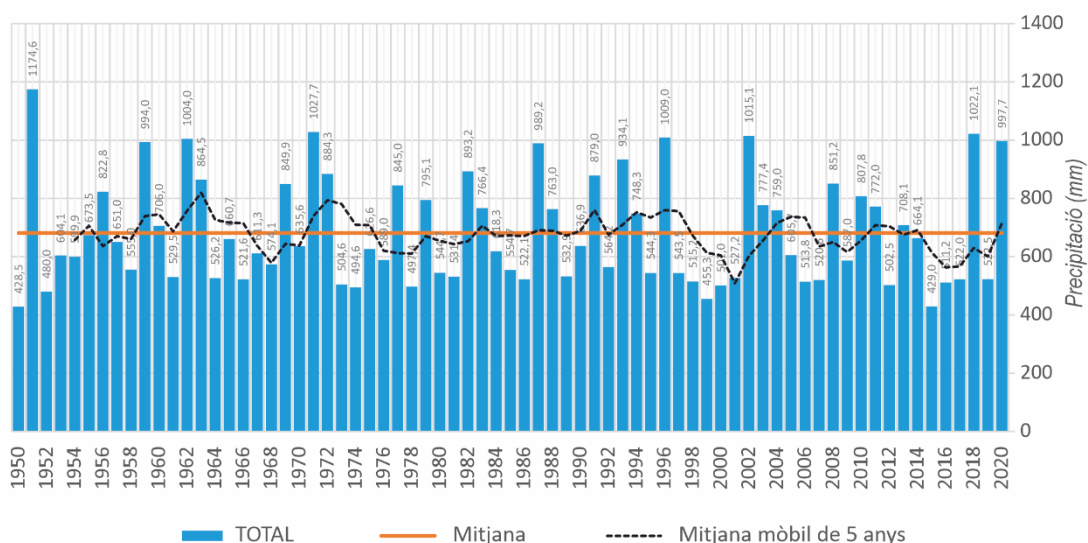


Figura 5.7. Evolució de la pluja total anual a l'estació meteorològica de Begues (període 1950-2020). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

L'anàlisi de la irregularitat temporal de les pluges es pot reforçar amb el càlcul dels coeficients de disparitat consecutiva mensual, en què es valora la diferència pluviomètrica entre mesos consecutius. A la zona del massís del Garraf s'observen variabilitats destacades. La incertesa de la pluja d'un mes respecte a la pluja del mateix mes de l'any anterior o posterior és alta.

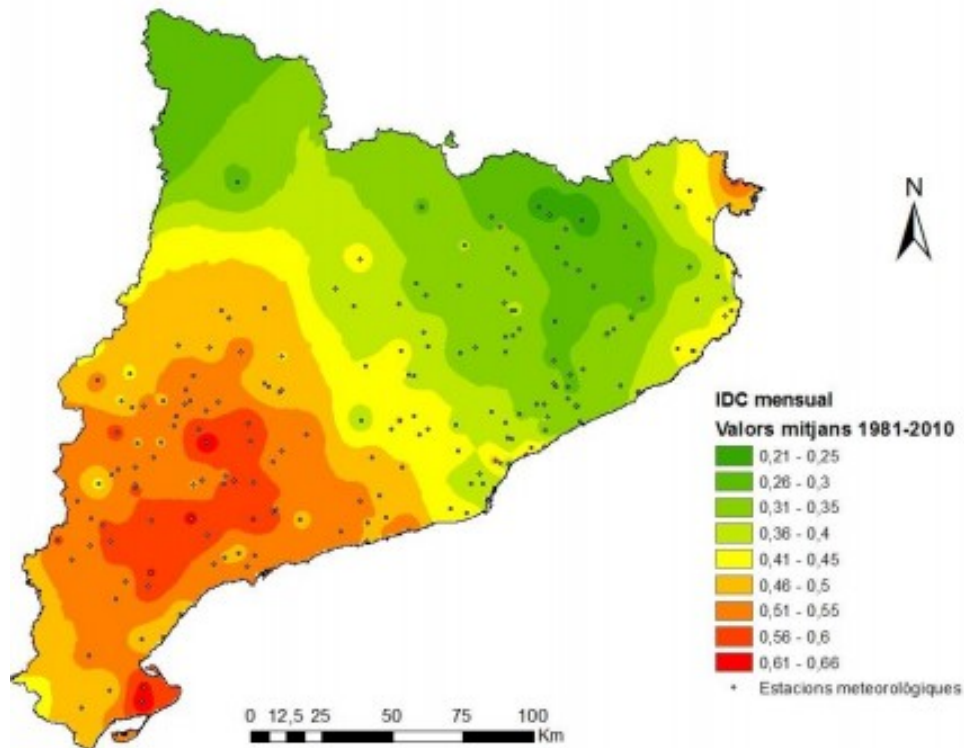
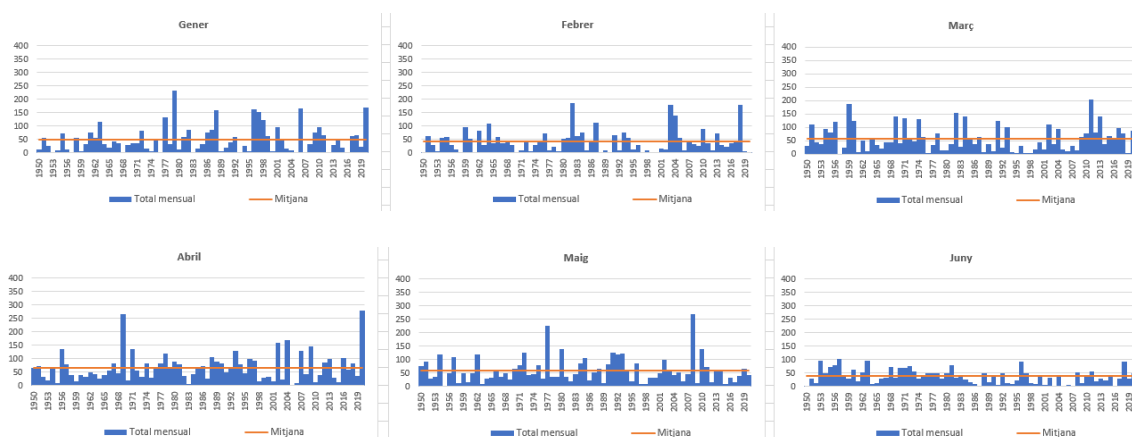


Figura 5.8. Mapa de la disparitat consecutiva mensual de les precipitacions a Catalunya (1981-2010). Font: Lemus, M. (2017). La irregularitat temporal de les precipitacions a Catalunya. GeoGraphos, Universitat d'Alacant.

Es comprova que es donen grans concentracions de precipitació en alguns mesos concrets, i amb grans diferències pluviomètriques entre mesos consecutius, alternant quantitats de pluja molt contrastada (mesos molt secs amb mesos molt plujosos). A més a més, les variacions de les quantitats de pluja entre un any i el següent, i entre un mes d'un any i el de l'any següent poden ser molt dispars, de fort contrast, tal com es pot observar en la forma de dents de serra de les següents figures.



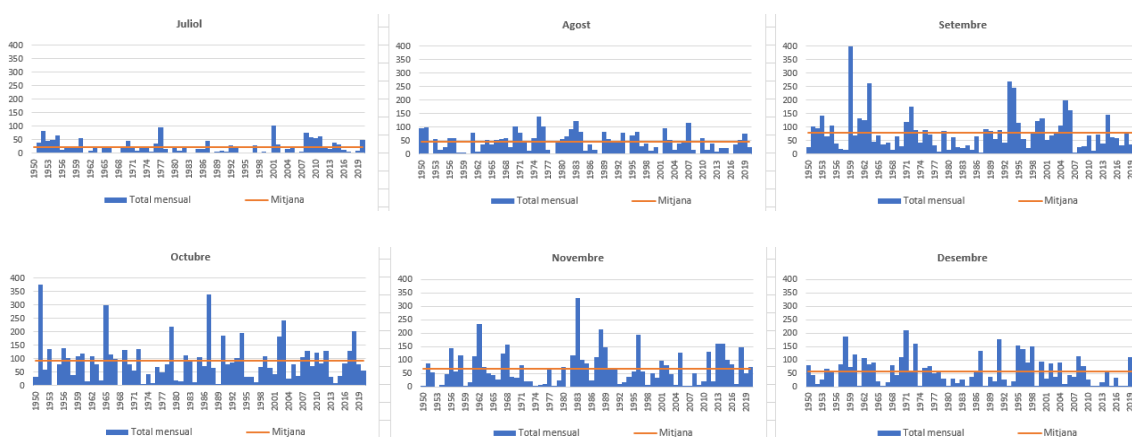


Figura 5.9. Evolució de la pluja total mes a mes a l'estació meteorològica de Begues (període 1950-2020). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

En major mesura les variabilitats de la precipitació són més elevades als mesos de gener, febrer i juliol, i els mesos amb una menor irregularitat són l'agost, setembre i octubre, tot i que la variabilitat és notable. D'altra banda, les diferències pluviomètriques consecutives dintre dels mateixos mesos són significatives.

5.2.2. El caràcter extrem de la precipitació

La pluja té un comportament irregular al llarg de l'any, amb notables concentracions de precipitació no només en èpoques o mesos concrets, sinó que també en pocs dies, amb intensitats horàries o semihoràries molt importants.

D'acord amb dades recents, de 2019 i 2020, al massís del Garraf s'han produït diferents episodis de precipitació que il·lustren clarament aquest caràcter extrem i irregular de la pluja, d'acord amb la configuració de diferents situacions atmosfèriques que són habituals i favorables a la precipitació abundant i/o extrema a la zona litoral i prelitoral de Catalunya.

Pel que fa a un exemple de pluja molt abundant, a l'observatori meteorològic del Rascler, dins del Parc Natural del Garraf, a l'abril de 2020 es va recollir una quantitat total de pluja de 280 mm, la qual representa el 28% de la pluja total recollida al cap de l'any. Però la rellevància d'aquesta dada també es dona en el fet que únicament en tres dies (19, 20 i 21) es va concentrar el 20% del total de la pluja caiguda el 2020.

En aquest episodi de pluja, es va produir una persistent situació depressionària a Catalunya a causa d'un marcat bloqueig anticiclònic al nord d'Europa, amb pressió molt elevada (més de 1.030 hPa) entre el mar del Nord i Escandinàvia. Això va fer que la regió mediterrània es trobés sota la influència de les baixes pressions. A nivells mitjans de la troposfera s'havia format una baixa deslligada del corrent general que impulsava la precipitació de mar cap a terra a Catalunya.

La pluja anava caient de manera continuada, dèbil o moderada, però localment es van produir alguns xàfecs intensos. En mitja hora al Rascler es van recollir 22,4 mm.

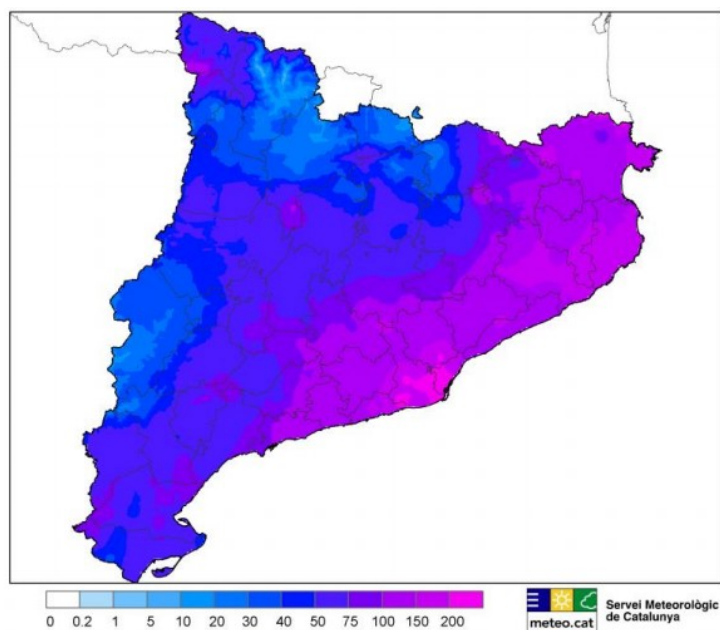


Figura 5.10. Distribució de la precipitació acumulada entre els dies 18 i 22 d'abril del 2020. Font: Butlletí climàtic mensual. Abril del 2020. Servei Meteorològic de Catalunya.

D'altra banda, a l'octubre de 2019 es va produir un episodi de fortes tempestes de caràcter molt localitzat, amb una distribució molt irregular dels valors en el territori català, fins i tot dins del mateix àmbit del massís del Garraf. A la costa central es van acumular quantitats totals de precipitació més modestes que en altres llocs de Catalunya al final de l'episodi de tres dies de pluja (21-23), però a la zona del Garraf sí que la precipitació es va presentar amb intensitats fortes, sobretot al sud-oest del massís del Garraf, al front costaner, amb quantitats compreses entre els 20 i els 40 mm en mitja hora el dia 22. Per exemple, a la banda de Canyelles es van mesurar fins a 36 mm en 30 minuts, mentre que a pocs quilòmetres, a llevant, les intensitats enregistrades van ser molt menors (5 mm en mitja hora al Rascler).

Aquest dia es van produir fenòmens ventosos convectius (fortes ratxes de vent i una mànega davant de les costes del Garraf), un clar indicador de la virulència de les tempestes.

En aquest episodi van congeniar un seguit de factors atmosfèrics que expliquen la magnitud de la situació de pluges importants, i que es produeixen amb certa freqüència a la zona mediterrània:

- la presència d'una depressió freda deslligada del corrent general a nivells mitjans i alts de la troposfera situada sobre la península Ibèrica, ben reflectida a la topografia de 500 hPa, a uns 5.500 m d'altitud,
- l'aportació d'aire càlid i humit de la Mediterrània a nivells baixos, que es fa evident a la topografia de 850 hPa, a uns 1.500 m d'altitud, i
- la formació d'una depressió en superfície centrada davant del litoral català, amb vent de llevant incidint sobre la franja costanera.

A l'agost d'aquest mateix any 2019 es va produir un episodi de fortes tempestes en alguns sectors del litoral i prelitoral, i no va destacar tant per l'abundància i la durada de la precipitació durant dies, sinó per la forta intensitat horària de la pluja. Les quantitats d'aigua van tenir un comportament força homogeni al massís del Garraf.

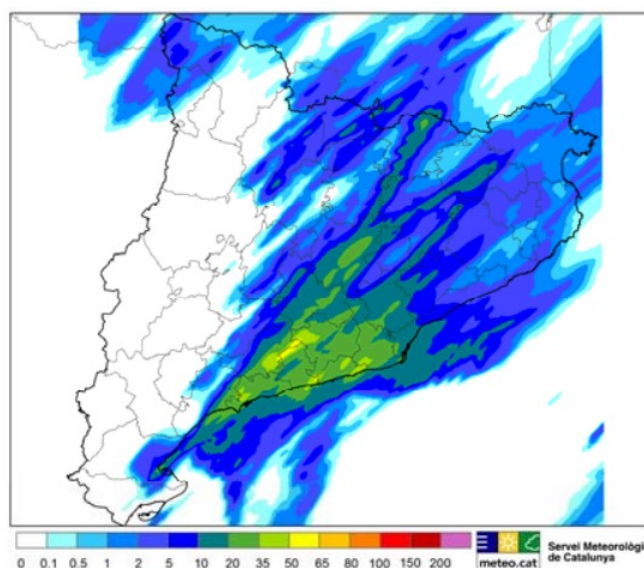


Figura 5.11. Precipitació estimada en 24 hores del dia 12 d'agost de 2019 d'acord amb les imatges dels radars gestionats pel Servei Meteorològic de Catalunya i corregida segons les dades dels pluviòmetres de la XEMA. Font: Butlletí climàtic mensual. Agost del 2019. Servei Meteorològic de Catalunya.

El pas d'un front de procedència atlàntica va ser el causant d'aquesta situació de fortes pluges. La presència d'un solc en altura indicava una lleugera ondulació del corrent en jet a les capes mitjanes de la troposfera, i això va provocar tempestes generalitzades a bona part de Catalunya, que estava sota els efectes de la branca ascendent del solc d'aire fred. Aquest fet garantia les condicions de forta inestabilitat atmosfèrica. A Sant Pere de Ribes la intensitat de la pluja es va manifestar de manera torrencial concentrant 41 mm tan sols en 30 minuts.

El mateix mes d'agost es va produir un altre episodi tempestuós que en alguns llocs les pluges van descarregar amb forta intensitat, però van ser fenòmens molt més localitzats, posant en relleu l'alta irregularitat en la distribució espacial de les precipitacions en algunes situacions de pluja convectiva a l'època càlida de l'any. En aquest cas, una depressió aïllada en altura va creuar el sud de Catalunya.

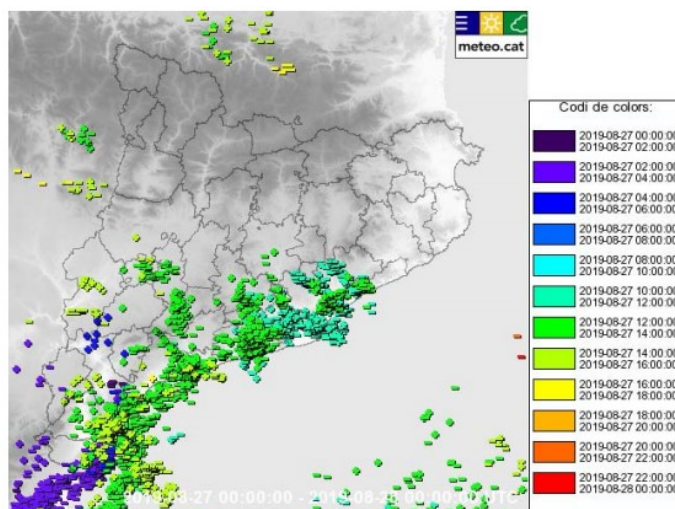


Figura 5.12. Llamps registrats per la Xarxa de Detecció de Descàrregues Elèctriques (XDDE) gestionada pel Servei Meteorològic de Catalunya del dia 27 d'agost. Font: Butlletí climàtic mensual. Agost del 2019. Servei Meteorològic de Catalunya.

Finalment, encara a tall d'exemple, a principis de setembre de 2020 una pertorbació es va separar gairebé de la circulació general i es va ubicar sobre Catalunya. Aquesta baixa freda aïllada va afavorir el desenvolupament de dues tongades de pluges importants, concentrades a les hores de matinada i repartides entre els dies 6 i 7, amb intensitats puntualment forta o fins i tot localment torrencial al sector central del litoral i prelitoral, i van anar acompanyats de tempesta.

Entre els dos dies l'estació meteorològica del Rascler va acumular una mica menys de 90 mm, concentrats en poques estones. El dia 6 aquest observatori va mesurar un valor d'intensitat torrencial de 42 mm en mitja hora. Mentrestant, el pluviòmetre oficial instal·lat a Sant Pere de Ribes, al Parc Natural del massís del Garraf, el dia 7 va enregistrar 7,2 mm en 1 minut, un dels valors més elevats a les estacions de la XEMA en més de 10 anys de registre sistemàtic de la pluja minut a minut.

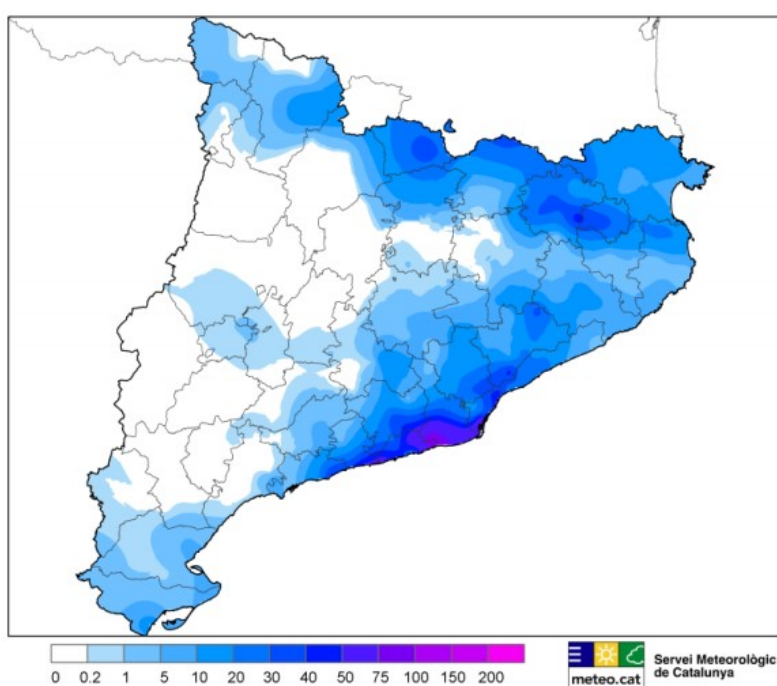


Figura 5.13. Distribució de la precipitació acumulada dels dies 6 i 7 de setembre del 2020. Font: Butlletí climàtic mensual. Setembre del 2020. Servei Meteorològic de Catalunya.

Aquests episodis d'alta irregularitat en la distribució espacial i d'extrema intensitat horària són freqüents a la costa central catalana.

Fora de l'època càlida de l'any també es poden produir fenòmens severs generats per embossaments d'aire molt fred a les capes mitjanes de la troposfera que reforcen les pertorbacions mediterrànies en superfície. N'és un exemple l'episodi del 14 de desembre de 2014. Amb un flux de vents de component sud, perpendicular al massís del Garraf, es va ancorar una forta tempesta que va deixar quantitats molt significatives de pluja en aquest àmbit de relleu costaner. A l'estació meteorològica de Sitges-Vallcarca van caure 80 mm en una hora –51 mm en 30 minuts i 18 mm en 10 minuts–.

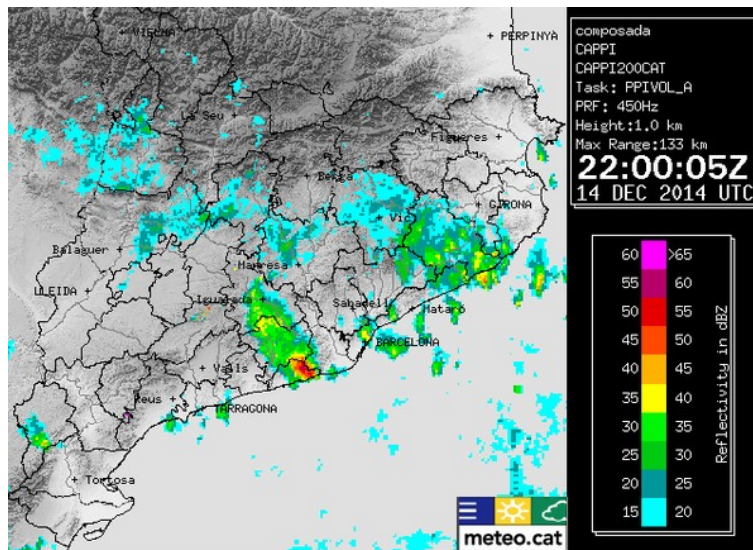
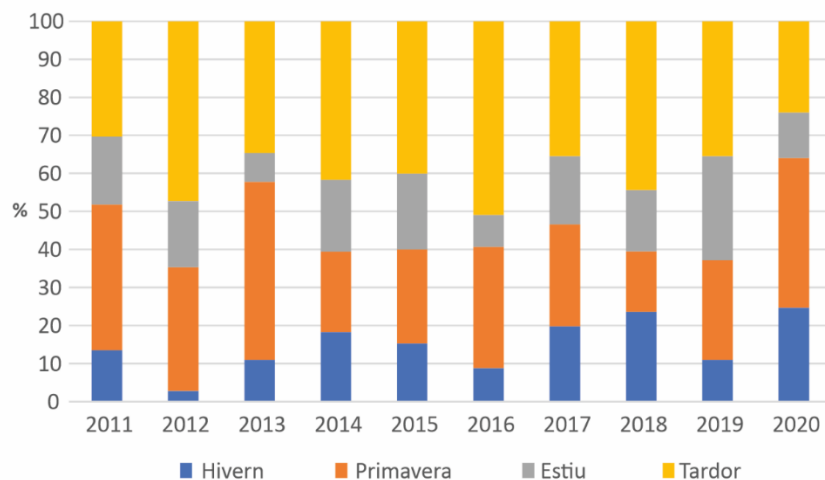


Figura 5.14. Fenòmens severos generats per embossament d'aire molt fred a les capes mitjanes de la troposfera que reforcen les perturbacions mediterrànies en superfície. Episodi del 14 de desembre del 2004. Font Servei Meteorològic de Catalunya.

5.3. El règim pluviomètric estacional

El massís del Garraf presenta majoritàriament un règim pluviomètric estacional típic del clima mediterrani costaner, amb un màxim de precipitació a la tardor, un de secundari a la primavera, i dos mínims a l'hivern i a l'estiu. Val a dir que a la zona central del massís, la més plujosa d'aquest territori, l'estiu es presenta com a tercera estació de l'any amb més precipitació acumulada de mitjana, gràcies al pes pluviomètric que prenen les tempestes estiuenques.

En aquests darrers deu anys, tot i que conjuntament mantenen un pes majoritari en els totals de la pluja anual, les estacions més plujoses de l'any (tardor i hivern) tendeixen a disminuir les seves proporcions estacionals, més clar en el cas de la tardor.



[Règim mig de la precipitació estacional. Tardor:38%; Primavera:30%; Estiu:17%; Hivern:15%]

Figura 5.15. Evolució del règim pluviomètric estacional a l'estació meteorològica del Rascler (període 2010-2020). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

Donant un cop d'ull a la sèrie pluviomètrica més antiga de la zona del massís del Garraf, localitzada a Begues (període 1950-2020), es pot observar que l'evolució de les precipitacions a la tardor han mantingut una tendència estable, a l'hivern ha estat lleugerament creixent, a la primavera les pluges han tendit a augmentar, mentre que a l'estiu la tendència és decreixent.

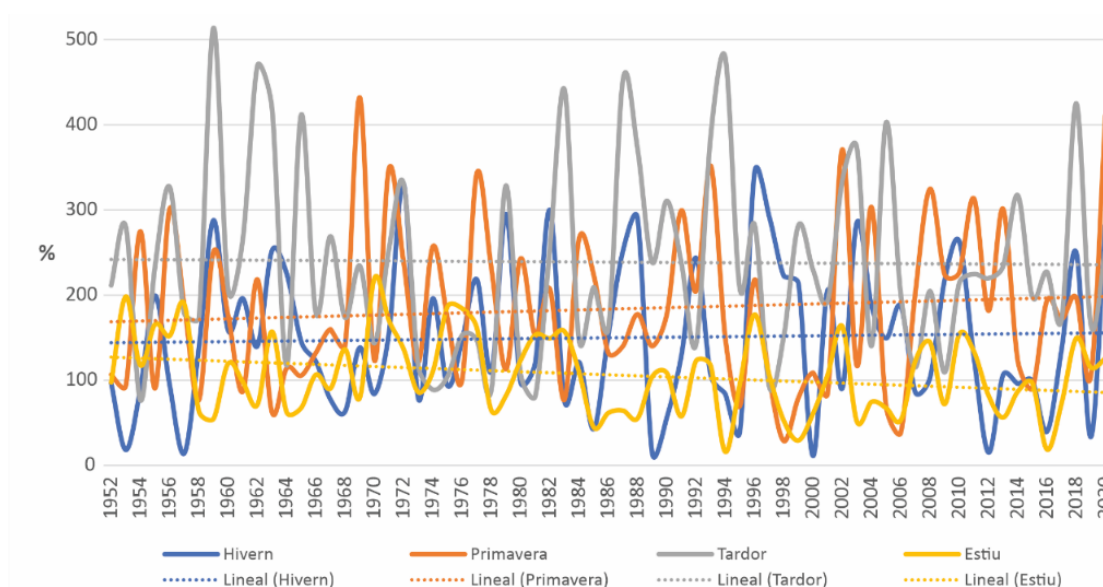


Figura 5.16. Evolució temporal de les precipitacions estacionals a l'observatori meteorològic de Begues (període 1950-2020). Font: Elaboració pròpia a partir de les dades meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

En un apartat anterior s'ha destacat la concentració principal de la pluja anual a la tardor (pràcticament el 40% de mitjana al massís del Garraf) i les majors acumulacions estacionals de la pluja anual es concentren a la tardor i a la primavera (conjuntament de mitjana sumen gairebé el 70%).

A aquesta elevada concentració estacional de la pluja, s'hi suma l'alta irregularitat i concentració diària de la precipitació i l'elevada intensitat horària, provocant llargues tongades de dies secs. Aquest comportament extrem i variable de la precipitació posa de manifest en moltes ocasions les dues cares de la mateixa moneda dels riscos climàtics de la regió mediterrània: les sequeres i les inundacions.

5.4. Una aproximació a les projeccions d'escenaris de canvi climàtic

En termes generals, per a la zona mediterrània, els escenaris de futur de canvi climàtic s'orienten cap a la projecció d'un augment de la temperatura mitjana anual, més pronunciat en els mesos estiuencs que en els hivernals, una reducció de la precipitació anual, i una reducció molt significativa de les pluges a l'estiu, amb un augment dels extrems relacionats amb la precipitació d'origen tempestuós.

A escala de les demarcacions provincials, l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET) ha generat diferents projeccions d'escenaris de canvi climàtic.

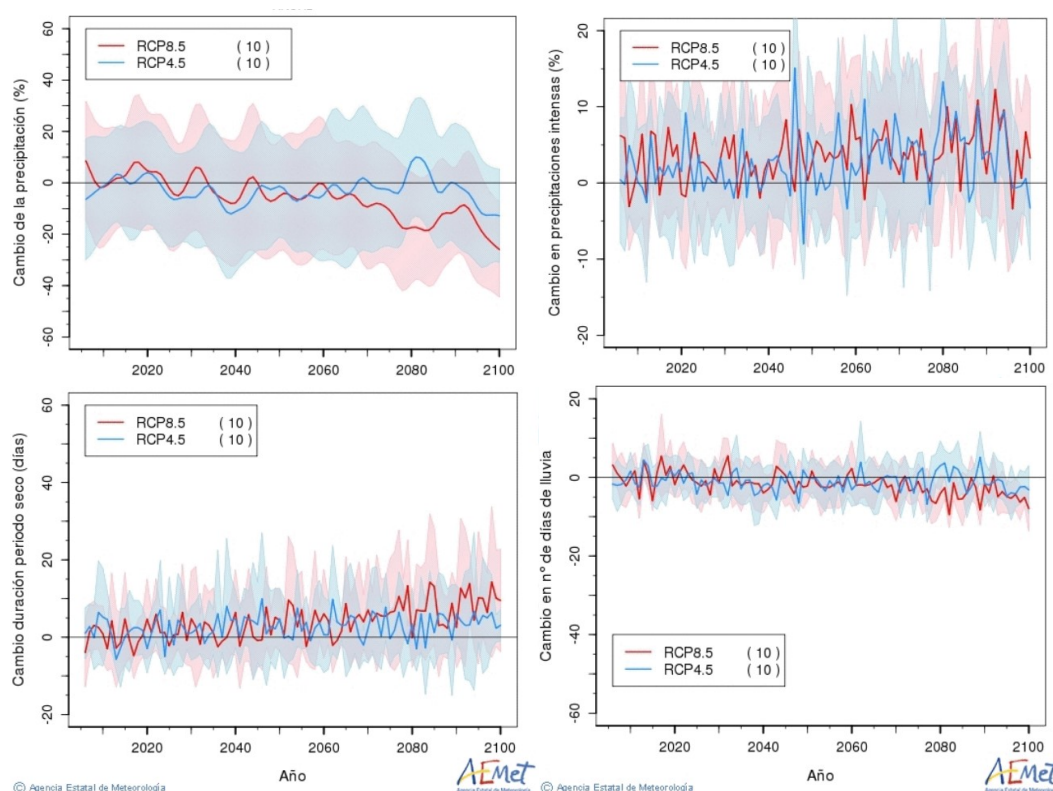


Figura 5.17. Evolució temporal de la precipitació segons projeccions regionalitzades de canvi climàtic. Àmbit de les comarques de Barcelona. Font: Proyecciones climáticas para el siglo XXI. Agencia Estatal de Meteorología, 2021.

D'altra banda, des del Servei Meteorològic de Catalunya s'han desenvolupat diversos projectes per tal d'elaborar projeccions regionalitzades del clima per al segle XXI a Catalunya. El més recent té per títol "Escenaris climàtic regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020) Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050)", en què es mostren les variacions projectades dels escenaris ESCAT-2020 dels camps mitjans de temperatura, precipitació i diversos índexs climàtics relacionats per al període 2021-2050.

Pel que fa als resultats, es projecta una tendència a una disminució general de la precipitació mitjana anual, sobretot segons l'RCP8.5 (escenari d'emissions intensiu). Aquesta disminució seria molt important a l'estiu al conjunt de Catalunya, i considerable a la tardor per a la zona litoral i prelitoral.

Aquestes reduccions cap a l'any 2050, segons l'RCP8.5, podrien assolir valors de l'ordre del -40 % per a tot el territori i la precipitació mitjana anual, de cara a la primavera, de l'ordre del -45 %, i a l'estiu fins al -75 %. Per a la tardor també es projecta una disminució general de la precipitació a gran part del territori, però sobretot a la zona litoral i el nord-est de Catalunya, amb variacions que podrien situar-se per sota del -25%.

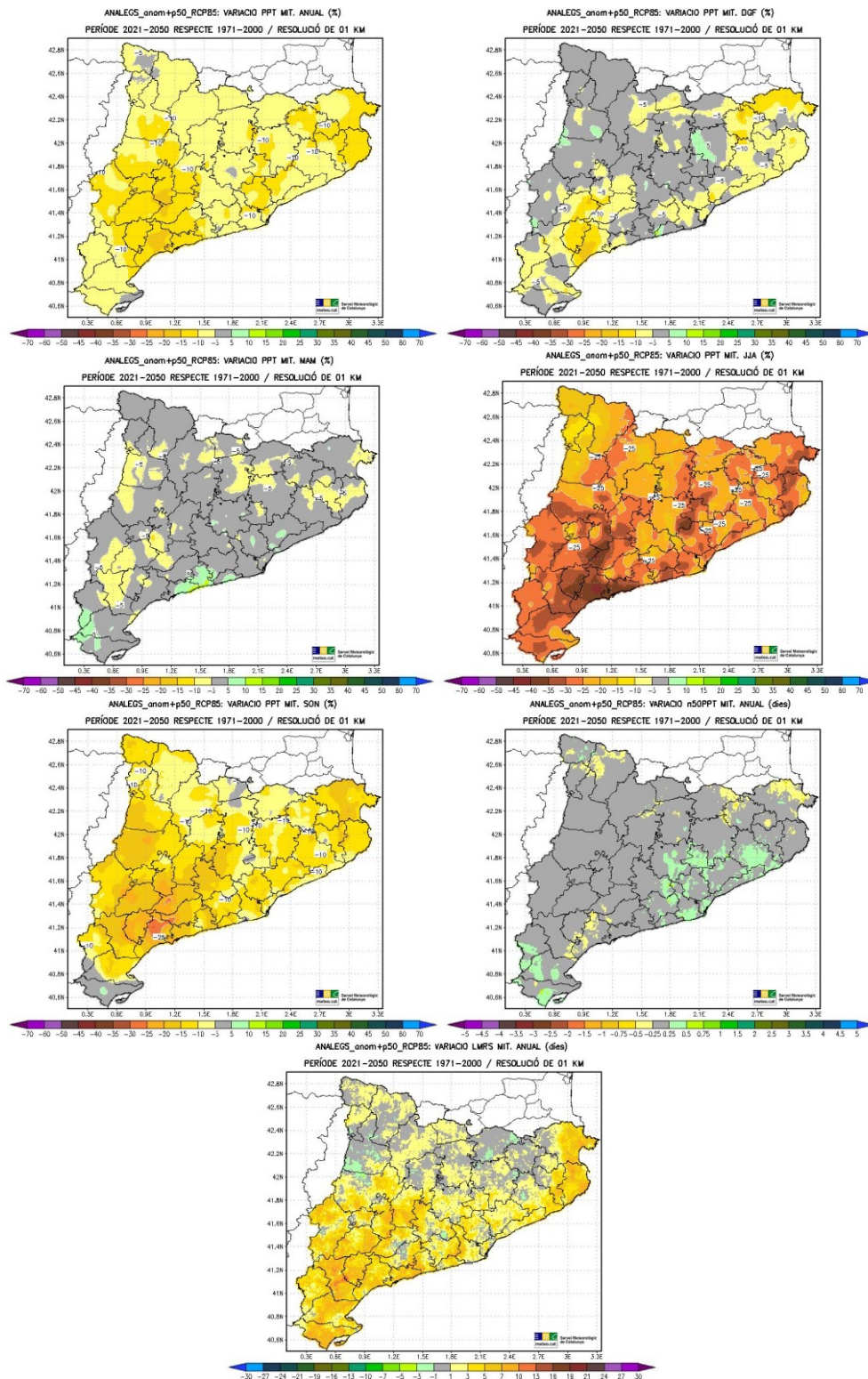


Figura 5.18. Evolució temporal estimada de la precipitació segons projeccions regionalitzades de canvi climàtic. Font: Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020) Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050), 2020.

Per a l'hivern i la tardor s'espera una gran variabilitat interanual (successió d'anys molt plujosos i anys molt secs). Aquests estudis projecten anomalies excepcionals en els valors mitjans i, per tant, les simulacions

estarien projectant un augment de la freqüència d'esdevenir importants temporals de pluja durant l'hivern o la tardor al conjunt de Catalunya (SMC, 2020).

D'altra banda, s'espera que la LMRS (Tongades de dies secs consecutius) augmenti a tot el territori fent més intenses les sequeres, especialment a tota la zona litoral-prelitoral, on es podria assolir un augment per damunt dels +20 dies cap al 2050.

En conclusió, es projecta una combinatòria de factors climàtics que podrien intensificar el risc tant d'inundacions com de sequeres, en el marc d'escenaris que preveuen una disminució de la pluja mitjana anual, una reducció de les pluges en les èpoques que actualment s'acumula més precipitació així com un augment de la variabilitat interanual de la precipitació en aquests mesos més humits (i això fa que, per tant, augmenti la inseguretats en l'aparició de les pluges que són esperades i que esdevenen estratègicament importants per a les reserves d'aigua). També projecten, fins a mitjan de segle XXI, un increment dels episodis de ratxes seques i, conseqüentment, un augment de la concentració, de la irregularitat diària i de la intensitat de les pluges.

6. El carst i els aquífers càrstics. Aproximació al carst del Garraf

El Garraf és un carst: que constitueix la característica més important i definitiva del massís. Es tracta d'un carst d'estructura polifàsica que, per la seva complexa evolució, presenta algunes característiques particulars.

El carst o medi càrstic és el resultat de la interacció de les aigües (que incorporen CO₂ del sòl) amb les roques carbonàtiques (procés de dissolució). Aquesta interacció determina la gènesi d'una morfologia superficial i subterrània original. Es tracta d'un procés d'erosió química o dissolució que també es pot definir com a procés de carstificació.

En la recerca del carst són possibles diferents aproximacions. Les que es basen en el coneixement (1) de la geomorfologia, és a dir, en l'aproximació geomorfològica i/o geogràfica i l'aproximació espeleològica, i la que es basa en l'aspecte (2) hidrològic o aproximació hidrogeològica. L'aproximació hidrogeològica funcional parteix de la definició del carst com un aquífer, es fonamenta en l'anàlisi de sistemes i aporta una visió global del funcionament i l'estructura de buits càrstics, mentre que l'aproximació espeleològica només permetria observar un 0,1% o un 0,2% de la porositat de buits càrstics que pot ser de l'ordre del 15% o 20%. És a dir, només permet tenir en compte una part molt petita de l'estructura de buits. L'aproximació hidrogeològica funcional ha tingut un desenvolupament molt important en el si del Laboratori Subterrani de Moulis (LSM), CNRS (França). Des d'aquesta aproximació es treballa amb una metodologia d'enfocament sistèmic, interdisciplinària i experimental que és la que s'ha aplicat en l'estudi de la hidrologia subterrània i de la contaminació del Garraf.

L'aportació de LSM (Mangin, 1975; Bakalowicz, 1979; Andrieux, 1978; Rouch, 1978) s'ha concretat en un model conceptual que esquematitza el funcionament i l'estructura de l'aquífer càrstic (Figura 6.1). A partir del model conceptual de base experimental s'ha elaborat un model realista del carst que té la seva expressió de referència o paradigmàtica en el sistema experimental de Baget (Mangin, 1975; Freixes, 2014) (Figura 6.2). L'aquífer càrstic constitueix una estructura de buits organitzada i jerarquizada de geometria fractal.

Els models conceptual i realista de Baget (Figures 6.1 i 6.2) no únicament responen a les observacions experimentals realitzades al carst experimental de Baget sinó també a les observacions realitzades en una diversitat d'exemples de França en estudi experimental: sistema d'Aliou, sistema de Fontestorbes, sistema de Fontaine l'Evêque, sistema de Vaucluse, entre altres (Mangin, 1975). El model realista de Baget (Figura 6.2) és de tipus jurassià, és a dir, es tracta d'un sistema en el qual l'estructura de drenatge es desenvolupa just per sobre de la descàrrega o surgència principal. Mentre que hi ha sistemes anomenats vauclusians en els quals l'estructura de drenatge es pot desenvolupar molt per sota de la surgència o descàrrega natural del sistema. Bakalowicz (1990) proposa un model realista (Figura.6.3) que il·lustra molt bé les característiques d'un carst de tipus vauclusià.

Al Garraf, el sistema càrstic de la Falconera sembla respondre a una estructura de tipus vauclusià.

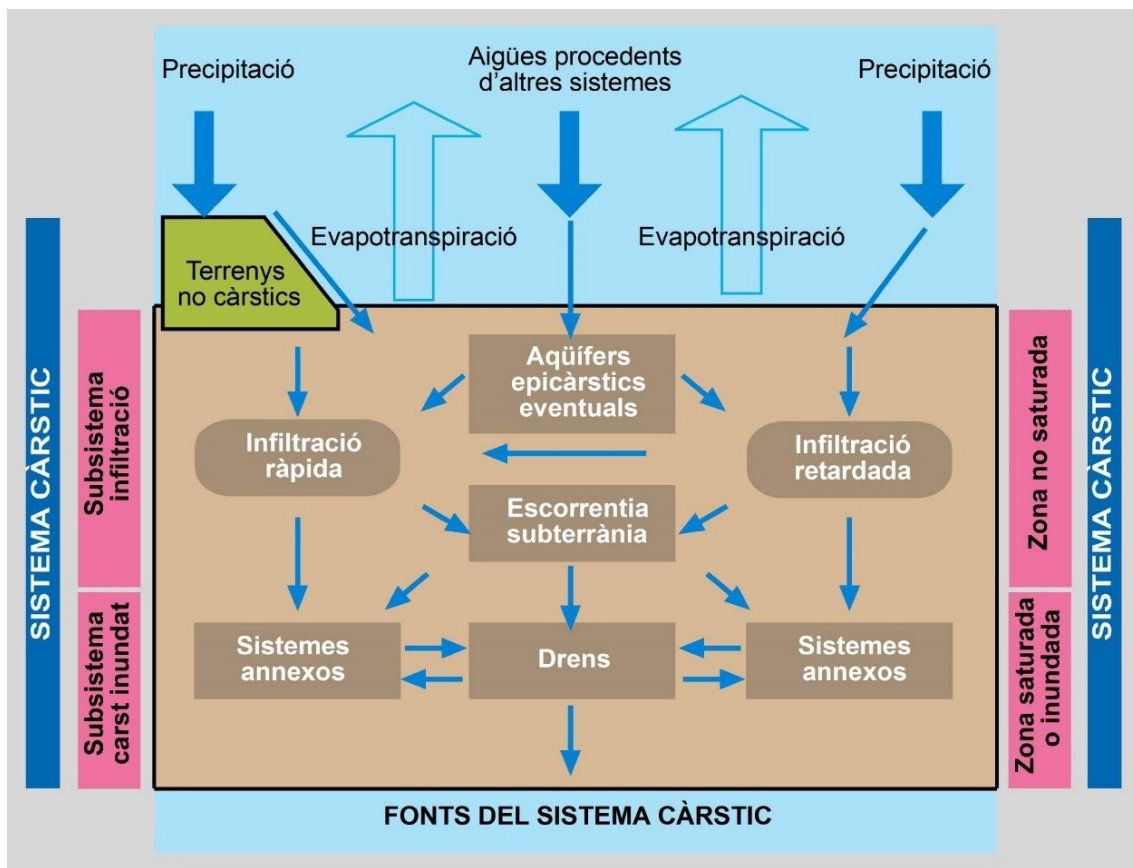


Figura 6.1. Esquema o model conceptual de l'aqüífer càrstic (Mangin, 1975).

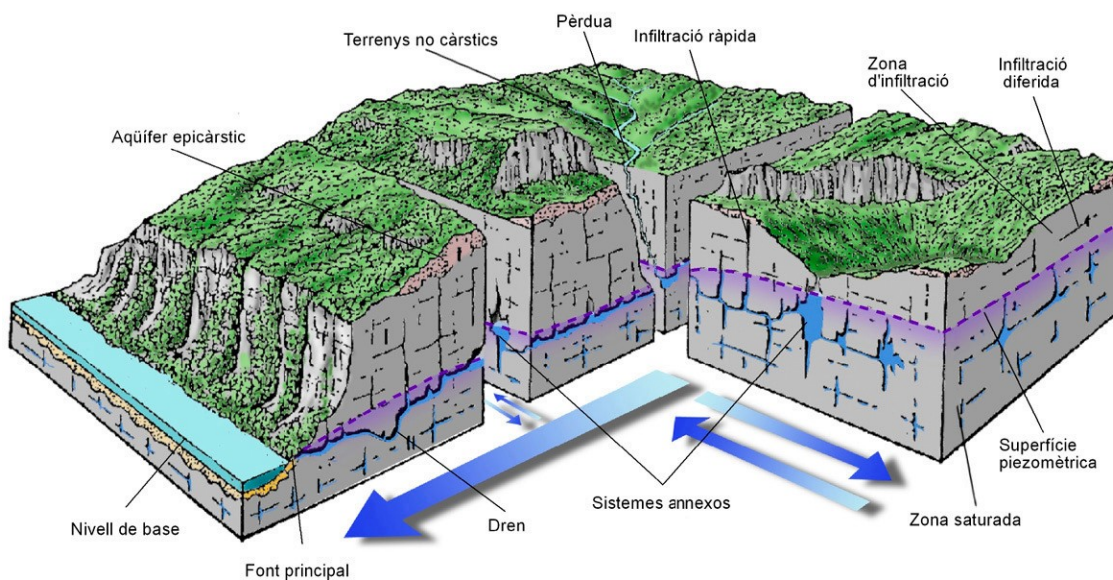


Figura 6.2. Model realista del carst experimental de Baget. Exemple de sistema d'estructura de tipus jurassià (Mangin, 1975, Freixes 2014).

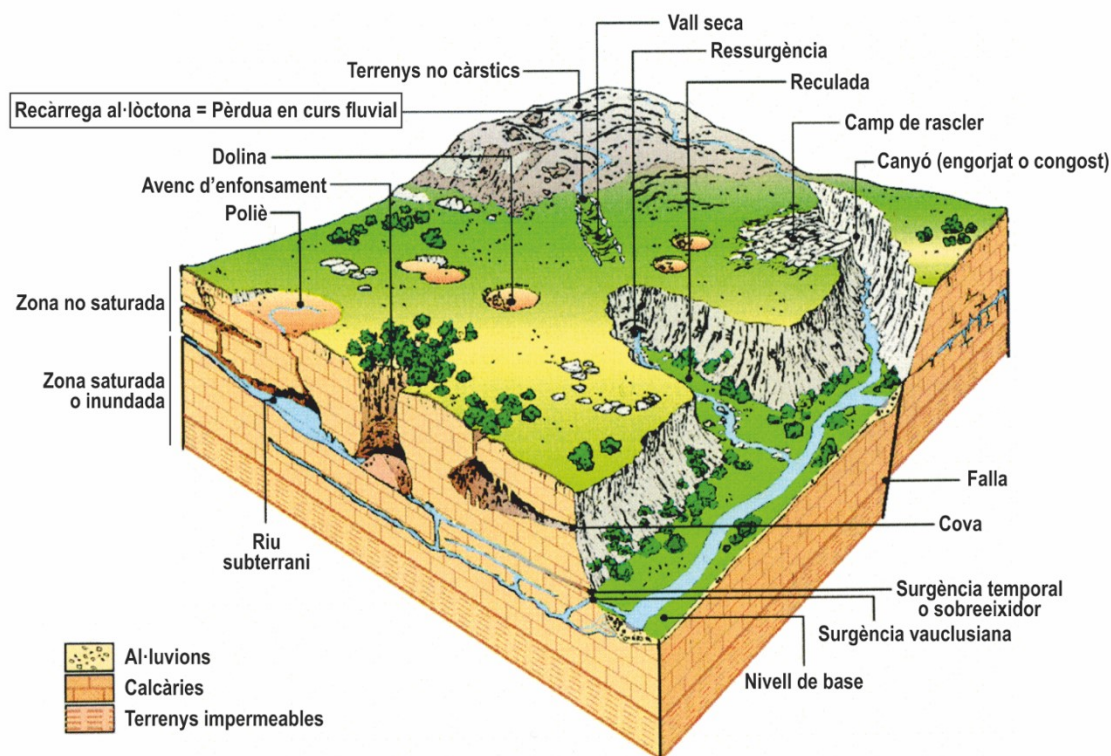


Figura 6.3. Esquema realista d'un sistema càrstic d'estructura vauclosiana (Bakalowicz, 1990).

L'esquema realista de Baget permet veure molt bé la situació dels sistemes annexos al drenatge (Figura 6.2). Al sistema annex de la Peyrère es realitzà un assaig de bombament esglaonat per conèixer la seva resposta i la relació amb el dren (figura 6.4).

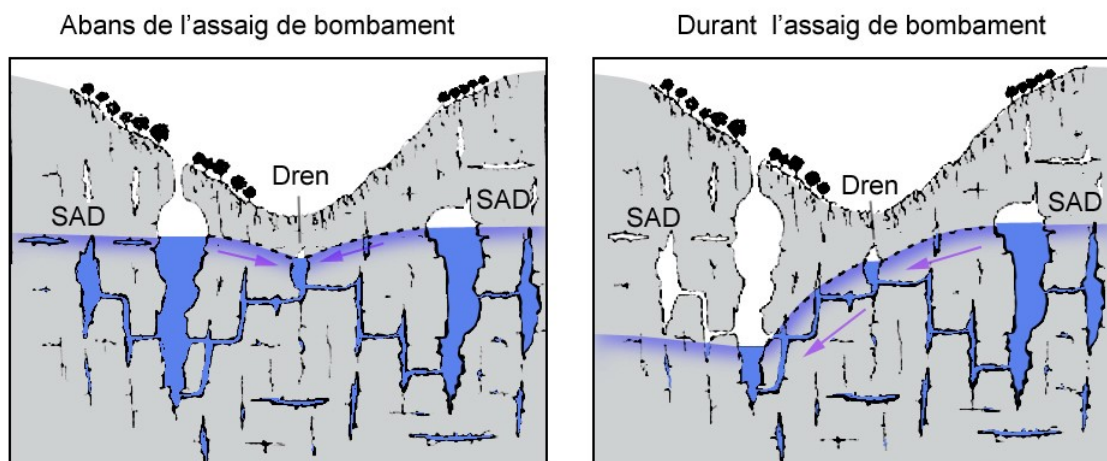


Figura 6.4. Carst Experimental de Baget. Experiència de bombament al sistema annex del Peyrère. Relació estreta entre el dren i els sistemes annexos. Es fa evident la independència d'uns sistemes annexos respecte els altres. (Bakalowicz et al. 1994; Freixes, 2014).



Figura 6.5. Zona saturada del carst experimental de Baget: sistema annex de la Peyrère. Assaig de bombament. (Bakalowicz et al., 1994).

A la figura 6.6 s'observa la situació dels sistemes annexos en relació amb el dren o estructura de drenatge d'un sistema de tipus jurassià (Baget) i d'un sistema de tipus vaclusià (Bakalowicz, 1990). En el sistema jurassià els sistemes annexos queden aproximadament a la mateixa alçada que els drens, mentre que en el sistema vaclusià els sistemes annexos se situen més aviat per sobre del dren o de l'estructura de drenatge. S'observa la diferent mobilització de les reserves de la zona inundada en funció de la situació del punt de bombament en el dren o en el sistema annex al drenatge (SAD).

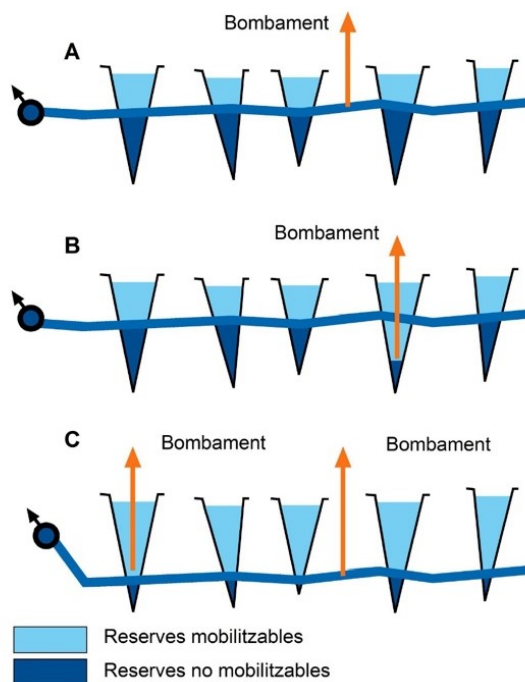


Figura 6.6. Sistemes càrstics jurassians (A i B) i vaclusians (C). Mobilització de les reserves en sistemes jurassians (A i B) i vaclusians (C) segons el tipus l'estructura càrstica on se situa el bombament (Bakalowicz et al. 1994; Freixes, 2014).

Una de les aportacions d'interès del LSM és la definició de l'aqüífer epicàrstic (Mangin, 1975; Jones, W.K., Culver, D.C. i Herman J.S., ed., 2003) (Figura 6.7).

Es tracta d'aqüífers superficials que es desenvolupen a la part superior de la zona no saturada. Aquesta part superior del carst, en part descomprimida i afectada pels processos edàfics i de meteorització, afavoreix la gènesi d'aquests aquífers.

L'aqüífer epicàrstic té un paper important en el funcionament global de l'aqüífer càrstic i defineix la frontera del carst o aquífer càrstic amb l'atmosfera, i té un paper determinant en una diversitat de processos: dissolució superficial i gènesi dels rasclers i de la morfologia superficial en general, desenvolupament dels dos tipus d'infiltració: ràpida i lenta, bescanvis amb l'atmosfera, la constitució i definició d'importants magatzems d'aigua a la part superficial del carst, ...

La infiltració lenta té un paper molt important en la incorporació del CO₂ en profunditat, que utilitza la infiltració ràpida en els processos de dissolució en profunditat: límit de la zona saturada i no saturada i a l'interior de la zona saturada pròpiament.

Al Garraf l'aqüífer epicàrstic també té un paper important com indiquen els nombrosos exemples que el fan evident tant per les manifestacions hidrològiques com per les morfològiques.

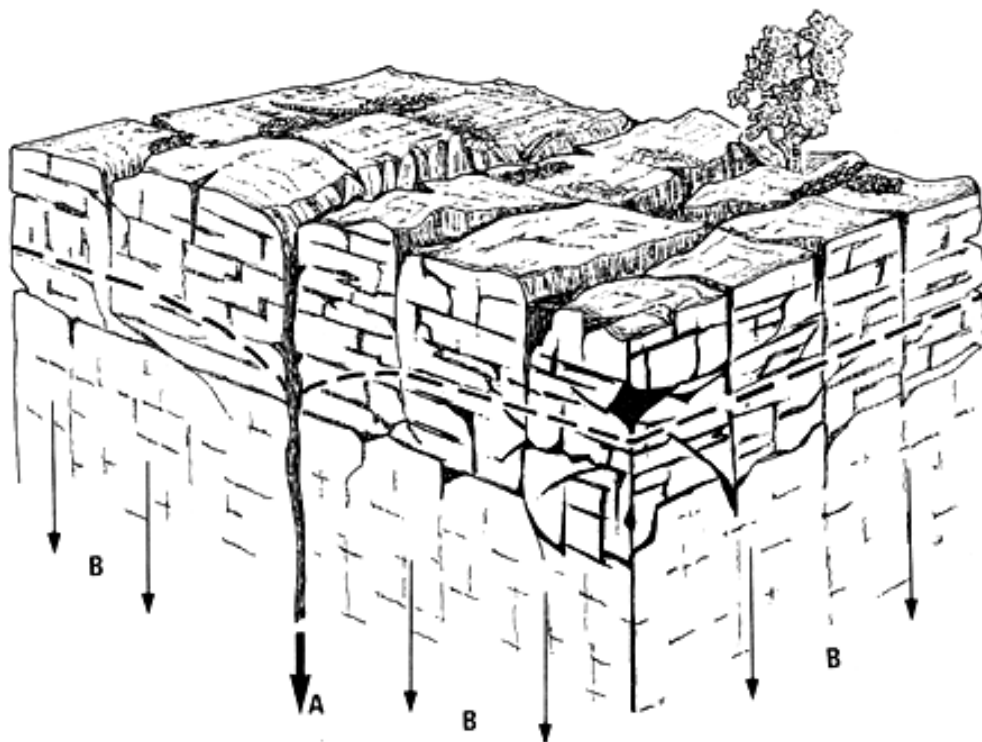


Figura 6.7. Aquífer epicàrstic (Mangin (1975). Superfície amb rascler. Nivell piezomètric. Potencial flux lateral. Reserves hídriques. A. Infiltració ràpida. B. Infiltració lenta.

6.1. Morfologia i hidrologia del carst de Garraf

6.1.1. Hidrologia superficial

L'anàlisi de les característiques de la hidrologia superficial del Garraf presenta un gran interès com a qüestió prèvia abans de tractar de les aigües subterrànies. Això és així malgrat no disposar de dades quantitatives que ajudarien a entendre millor la seva funcionalitat hidrològica i la relació amb les aigües subterrànies.

En el Bloc del Garraf es poden distingir:

- al nord, la Riera de Begues, que aigua avall passa a nomenar-se riera de Ribes o de Sant Pere de Ribes,
- a la part central (i en part meridional), la Riera de Jafre, i
- a l'extrem meridional, les anomenades rieres de Garraf -amb drenatge directe al mar i en general de fort component nord-sud- que, d'oest a est es poden definir: Fondet de la Sivina, Fondo d'en Po Robert, La Trinitat, Riera de Vallcarca, la Morisca, Torrent de la Falconera, Torrent de Garraf, Torrent de la Ginesta, Torrent d'Aiguapuda i Riera dels Canyars que inclou les aportacions del Fons de les Terradelles o vall de Joan i el Torrent o Riera de la Sentiu (Figures 6.8 i 6.9).

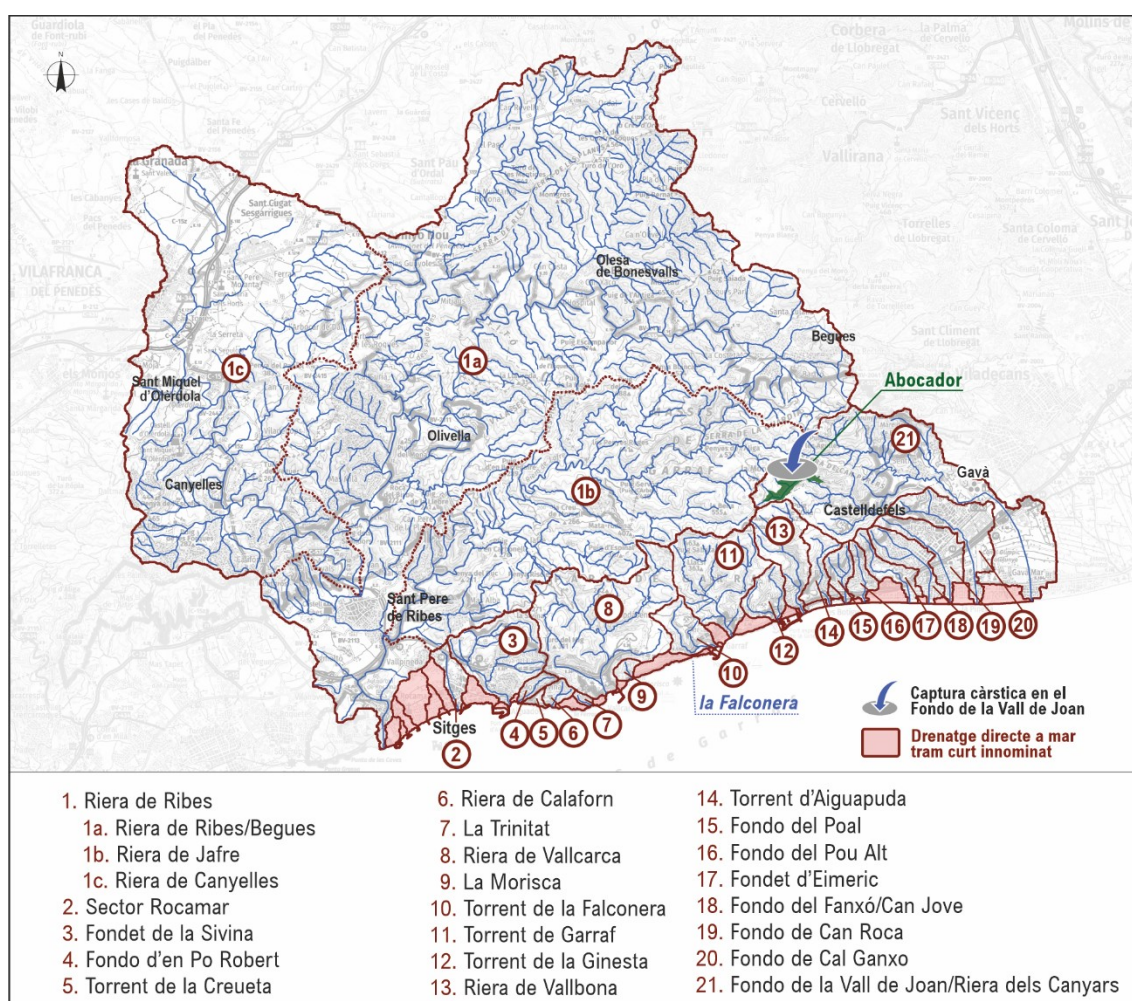


Figura 6.8. Conques superficials del Bloc de Garraf: riera de Ribes i rieres del Garraf.

La conca de la riera de Sant Pere de Ribes amb 252,6 km² i un recorregut de 42,5 km és la més important del Bloc del Garraf. Aquesta s'estructura en 3 subconques principals: la troncal, corresponent a la Riera de Ribes/Begues amb una àrea total de 136,5 km² i les seves dues grans aflüències, ja en el tram final; per la seva dreta la Riera de Canyelles amb una conca de 67,4 km² i per la seva esquerra la Riera de Jafre amb una conca de 48,7 km². La conca total de les rieres de Garraf és 73 km², essent les més importants la dels Canyars (Fons de les Terradelles o vall de Joan) amb 19,8 km² i la de Vallcarca amb 12,1 km².

Taula 6.1. Morfometria bàsica de les conques superficial del Bloc de Garraf

Conques		Àrea (km ²)	Recorregut (km)
1	1a Riera de Ribes/Begues	136,5	42,5
	1b Riera de Jafre	48,7	23,6
	1c Riera de Canyelles	67,4	23,5
Rieres del Garraf (excepte els innominats)			
2.	Sector Rocamar	1,0	1,9
3.	Fondet de la Sivina	5,0	5,3
4.	Fondo d'en Po Robert	5,0	1,4
5.	Torrent de la Creueta	0,2	0,5
6.	Riera de Calaforn	0,5	0,9
7.	La Trinitat	0,2	0,5
8.	Riera de Vallcarca	12,1	6,1
9.	La Morisca	0,3	0,6
10.	Torrent de la Falconera	1,8	2,7
11.	Torrent de Garraf	6,1	4,8
12.	Torrent de la Ginesta	1,5	1,9
13.	Riera de Vallbona	3,7	10,5
14.	Torrent d'Aiguapuda	1,5	2,6
15.	Fondo del Poal	1,1	1,8
16.	Fondo del Pou Alt	0,9	1,8
17.	Fondet d'Eimeric	1,3	3,1
18.	Fondo del Fanxó	2,1	3,4
19.	Fondo de Can Roca	2,5	3,6
20.	Fondo de Cal Ganxo	3,9	4,4
21.	Fondo de la Vall de Joan	19,8	37,7

Des del punt de vista de la geologia caldria remarcar el predomini dels materials del Cretaci i en segon lloc del Juràssic amb un tercer aflorament, en importància, constituït pels materials del Triàsic (Buntsandstein, Muschelkalk i Keuper). Aquest aflorament de materials triàsics constitueix la capçalera del tàlveg principal de la riera de Begues i juntament amb els materials del Juràssic i Cretaci que limiten els triàsics al nord i al sud defineixen el substrat litològic del poliè de Begues. La macroestructura tectònica defineix un cabussament al sud-oest que orienta el flux de les rieres de Jafre i Begues d'est a oest. La darrera part de la riera de Begues presenta un flux de nord a sud fins a arribar al mar, ja com a riera de Ribes o de Sant Pere de Ribes (Figura 6.9).

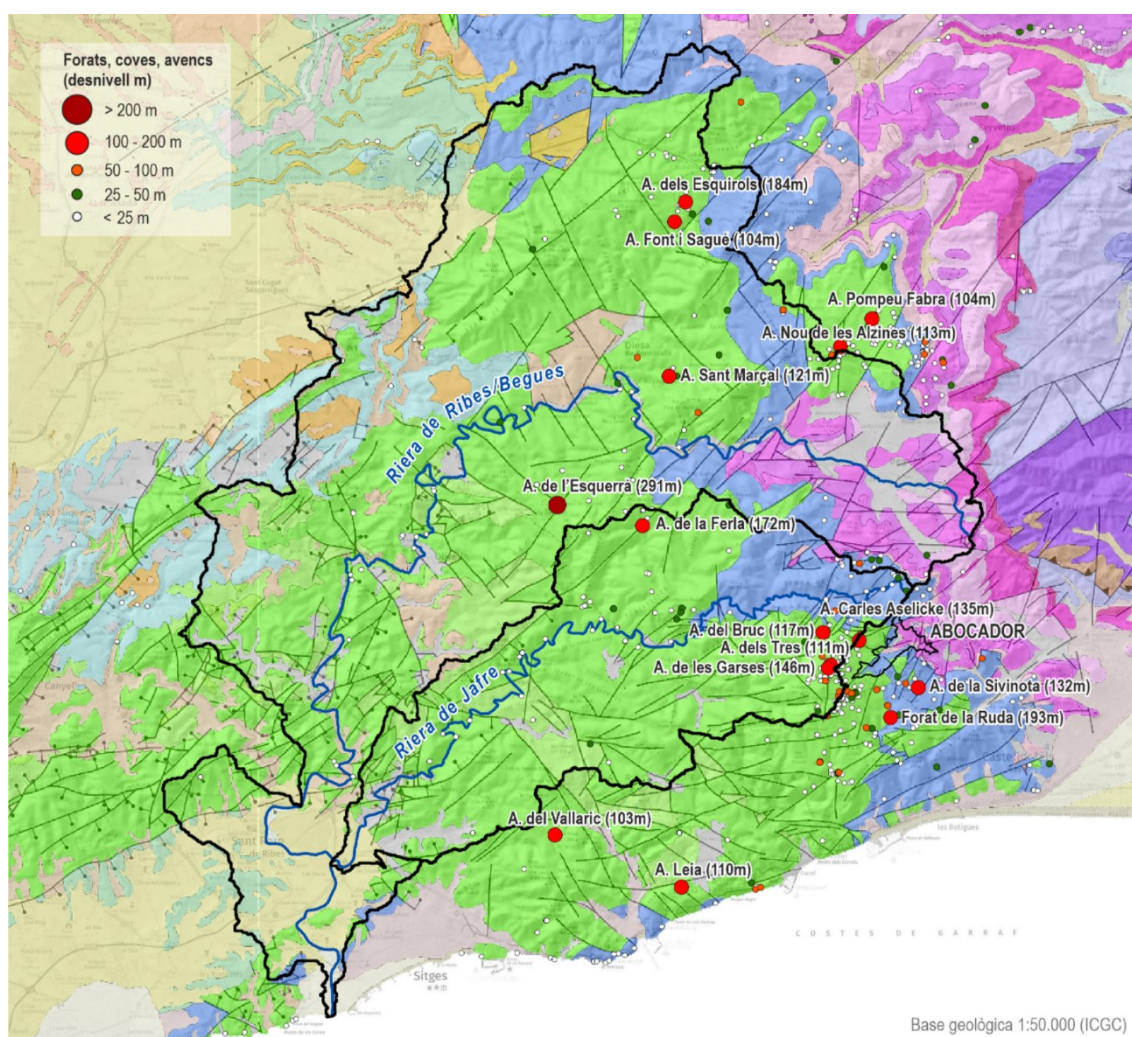


Figura 6.9. Conques superficials del Garraf i unitats geològiques. Situació de les cavitats càrstiques i les surgències subaèries més importants.

Els materials del Cretaci i Juràssic sobre els que discorren les rieres de Jafre i Begues haurien estat objecte de captura càrstica d'una manera important en el marc de la complexa evolució del carst del Garraf (Cervelló, inèdit). La importància de la captura càrstica determina la pràctica absència d'aigua en el cursos fluvial de Jafre i Begues. Les morfologies exocàrstiques i endocàrstiques del Bloc del Garraf són il·lustratives del desenvolupament del carst del Garraf i indiquen molt explícitament la importància de la circulació subterrània càrstica, encara que actualment experimenti una forta regressió a conseqüència de l'evolució geodinàmica recent (glacioeustàsia).

El poliè de Begues és una morfologia fluvio-càrstica que també hauria estat objecte de captura càrstica.

Els tàlvegs de les rieres de Begues i Jafre presenten una marcada morfologia meandriforme i nombroses cavitats de desenvolupament vertical associades, aquestes característiques indiquen la importància dels fenòmens de captura càrstica en ambdues conques.

A la part nord-est del Bloc del Garraf, fora de la conca de la riera de Begues, hi ha importants afloraments del Juràssic i Cretaci que actualment formen part de la conca superficial del Baix Llobregat, aquests afloraments molt possiblement formaven part i potser encara en formen part de la hidrologia subterrània del carst

del Garraf. Els afloraments situats més al sud constitueixen el Pla d'Ardenya, conegut pel desenvolupament de formes càrstiques superficials i subterrànies, algunes de profunditats considerables.

Aquestes situacions del límit est del Bloc del Garraf en què els relleus i les conques superficials pertanyen al Baix Llobregat, però que a causa del carst i la seva hidrologia subterrània formen part de la hidrologia del Garraf és precisament el que succeeix amb el fons de les Terradelles-vall de Joan (carbonats juràssico-cretacis) que és un particular exemple de captura càrstica que determina que les aigües que alimenten la seva conca siguin objecte d'un canvi de vessant i de sistema hidrològic i formin part de la conca i el sistema càrstic que alimenta la surgència de la Falconera. Fenomen de captura de primer ordre que incorpora les precipitacions de la vall de Joan a una circulació hídrica subterrània, càrstica i organitzada que contribueix a la definició del sistema càrstic de la Falconera. És en aquest fenomen de captura que hi ha l'explicació física i hidrològica de tota la problemàtica ambiental, que ha suposat i suposa la ubicació del dipòsit de residus urbans de Barcelona i l'Àrea Metropolitana al fons de les Terradelles-vall de Joan.

6.2.2. Morfologia i hidrologia subterrània del Garraf

L'observació de camp de la morfologia superficial (epicarst) i subterrània del carst del Garraf permet constatar la importància del seu desenvolupament. El carst és una característica remarcable que contribueix a la definició del massís (Cervelló i Freixes, 1990). Precisament a la part oriental, on es troba la vall de Joan, hi ha un enorme desenvolupament de la carstificació amb formes superficials: rasclers, dolines, uuales... i formes subterrànies: avencs amb fondàries diverses, però que poden ser superiors als 100 m.

En general, la carstificació a les dolomies del Juràssic té un desenvolupament inferior al de les calcàries i calcàries dolomítiques del Cretaci: la solubilitat de les calcàries és superior a la de les dolomies. Això podria tenir interès quan s'analitza la geologia i la carstificació del vas de l'abocador.

En estreta relació amb la litologia (i l'estructura tectònica del massís i l'evolució del relleu) un dels aspectes a analitzar és si el carst del Garraf es pot definir com un carst autòcton o monàdic com sempre ha estat definit o bé si, localment, tenia o té les característiques d'un carst al·lòcton o binari. L'anàlisi s'ha de concretar particularment en el paper dels afloraments de naturalesa margosa (més o menys impermeables) del Cretaci situats a la part central i occidental del massís, i en el possible paper dels substrats impermeables de les fàcies del Muschelkalk, Buntsandstein -o inclús d'altres materials de naturalesa més aviat impermeable com succeeix, en general amb els materials del Paleozoic- en la part oriental del massís.

Al Garraf, a part de l'aspecte geomorfològic, també s'ha de considerar l'aspecte hidrogeològic que és fonamental en la contextualització i interpretació dels problemes de qualitat de l'aigua i contaminació que constitueixen els objectius d'aquest treball. A l'apartat següent es tracta aquest aspecte amb major detall en relació a la surgència de la Falconera.

El carst del Garraf és un carst litoral amb una part important de la descàrrega natural al mar, que es reconeix tant a nivell de mar a la línia de costa com de forma submarina, mar endins a la plataforma continental. Es tracta d'un aquífer (o aquífers) que té una part significativa de la descàrrega en la seva part central (Figura 6.10), donat que els materials carbonàtics s'endinsen i enfonsen sota el cos d'aigua marí en l'àmbit de la plataforma continental (Fleury, 2005; Geoservei, 2018).

En alguns indrets del front litoral marí els carbonats del Juràssic i Cretaci poden trobar-se entre 700 m i 1000 m, i fins i tot a 1400 m, per sota del nivell del mar. Això explica en part l'existència de circulacions

profundes a l'interior del massís, molt per sota del nivell del mar, que descarreguen mar endins a la plataforma continental com, per exemple, succeeix en la surgència de la Falconera (Figura 6.10).

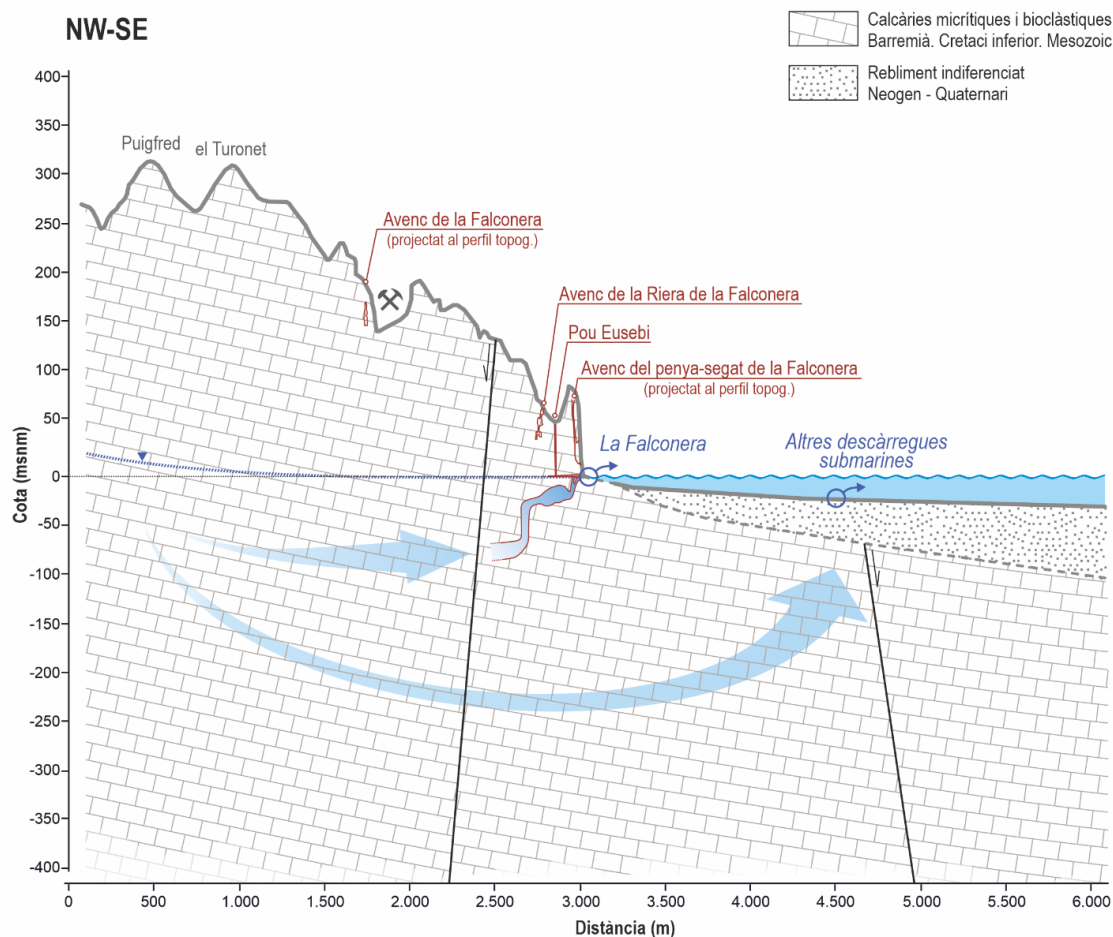


Figura 6.10. Surgència de la Falconera. Descàrregues a nivell de mar i submarina. Circulació profunda de tipus vauclosià.

Les observacions a la surgència només faciliten una visió parcial de la zona de descàrrega, però se sap que hi ha punts de descàrrega a més d'1 km de la costa.

El carst del Garraf ha experimentat una evolució complexa i es podrien definir sis o més fases de carstificació. Es tracta doncs d'un carst polifàsic i és possible que les primeres etapes de carstificació s'hagin de situar en el període anterior al Messinià (Fleury, 2005; Cervelló, 2015, inèdit).

Per comprendre la situació hidrogeològica actual és necessari analitzar la darrera evolució glacioeustàtica. En efecte, l'ascens del nivell d'uns 120 m que es produeix a partir dels 20.000 anys a conseqüència de la desglaciació posterior al màxim glacial hauria tingut fortes implicacions en la hidrodinàmica de l'aqüífer (o dels aqüífers) del massís. El canvi en les condicions hidrodinàmiques hauria estat considerable: una part de la zona no saturada hauria passat a formar part de l'actual zona saturada. Amb l'ascens del nivell del mar s'inundaria una part de la zona no saturada (caldrà analitzar detingudament els tipus d'estructures tectòniques i de buits càrstics que es veuen implicats) i es produiria una situació de bloqueig de la circulació subterrània càrstica original.

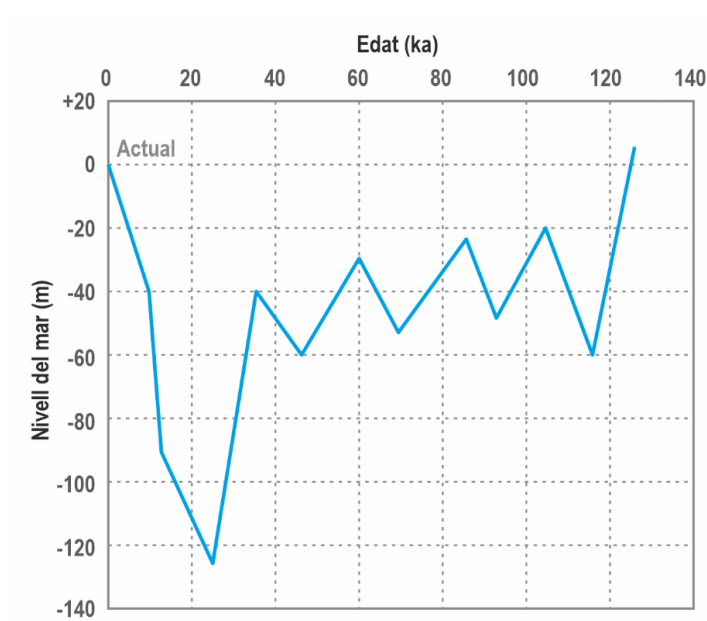


Figura 6.11. Gràfica de l'evolució de la variació del nivell del mar en els darrers 120.000 anys de la Falconera.

Una anàlisi des del punt de vista termodinàmic és particularment interessant: el carst del Garraf hauria experimentat un procés d'evolució d'un sistema obert cap a un sistema tancat (Mangin, 1978, 1978, 1982; Freixes, 2014). Una evolució com la descrita incideix en la desorganització de l'estructura jerarquitzada de l'aqüífer (o aquífers càrstics). Això és el que ha passat al Garraf.

En aquestes noves condicions les estructures de drenatge càrstiques haurien evolucionat vers una funcionalitat menor. El flux de l'aqüífer seria més aviat de tipus difús, en el marc del qual les estructures de drenatge càrstiques es caracteritzarien per una funcionalitat limitada. No obstant, segons la importància i característiques de la recàrrega (intensitat de les precipitacions, precipitació total, període total de les precipitacions...) les estructures de drenatge poden tenir una funcionalitat més marcada i una major incidència en la transferència dels contaminants dels lixivats a les zones no saturada i saturada fins a la descàrrega càrstica.

Així al Garraf la incidència dels episodis de pluja de l'any 2018 hauria estat molt important en la transferència i mobilització dels contaminants des de l'abocador de la vall de Joan. Les observacions de camp i analítiques realitzades a la Falconera (anys 2018 i 2019) ho il·lustren molt bé (Figura 6.12).

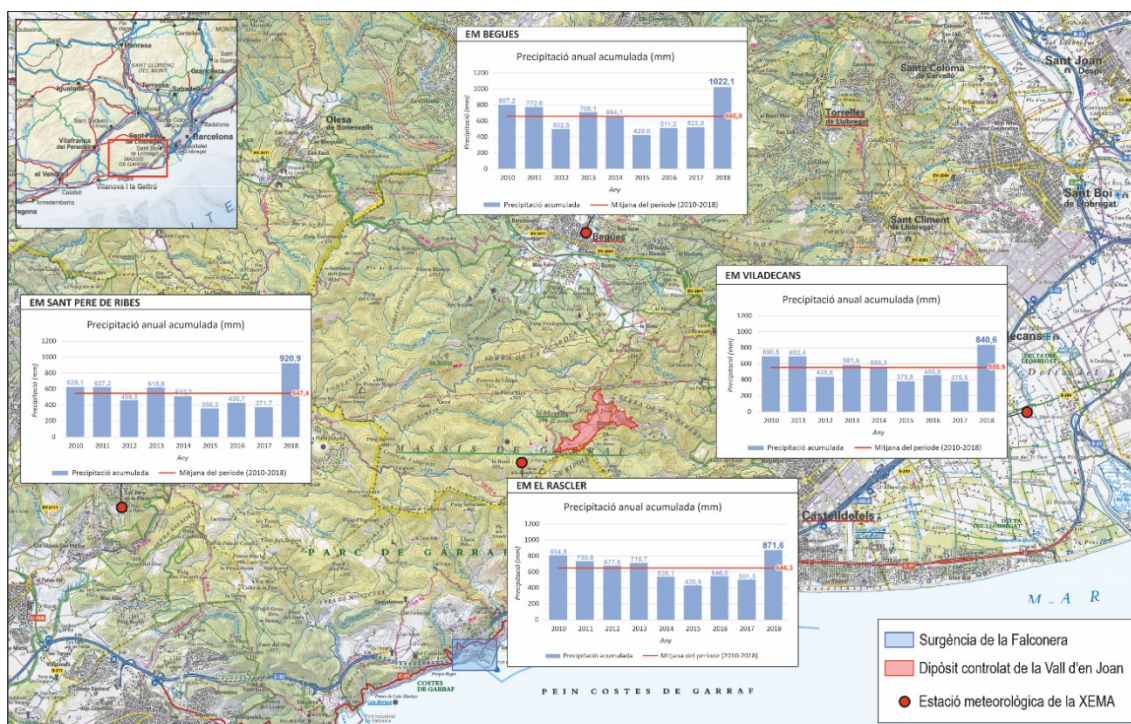


Figura 6.12. Dades de precipitació del període 2010-2018. Importància remarcable de les precipitacions de l'any 2018.

Un altre aspecte interessant és que l'estructura del carst del Garraf és més aviat de tipus vaclusià. Una geometria de tipus vaclusià és aquella en la que l'estructura de drenatge es desenvolupa a un nivell inferior o molt inferior de la surgència o descàrrega natural de l'aquífer.

Això es fa evident en la geometria de l'estructura de drenatge de la Falconera. En efecte, el dren que alimenta la surgència marina és un conducte ascendent, de diàmetre relativament important, que evoluciona des d'una profunditat de més de 80 m fins a originar el rierol de la Falconera que desguassa a nivell de mar (Figura 6.13). L'estructura de tipus vaclusià es desenvolupa quan el medi geològic, com succeeix al Garraf (perfils geològics de l'apartat 4), presenta una estructura tectònica que no facilita el desenvolupament de l'estructura de drenatge (del flux hídic de terra a mar), és a dir, quan l'estructura tectònica oposa resistència al desenvolupament de l'estructura de drenatge càrstica. Al Garraf l'estructura tectònica que oposaria resistència al desenvolupament del flux i de l'estructura de drenatge càrstica és la fracturació d'orientació oest-est (i altra fracturació amb variacions d'aquesta orientació) i també la fracturació nord-est/sud-oest (Guimerà, 1982) (perfils geològics de l'apartat 4).

En l'àmbit mediterrani (Bakalowicz, 2018) són nombroses les estructures vaclusianes en els sistemes càrstics de descàrrega litoral.

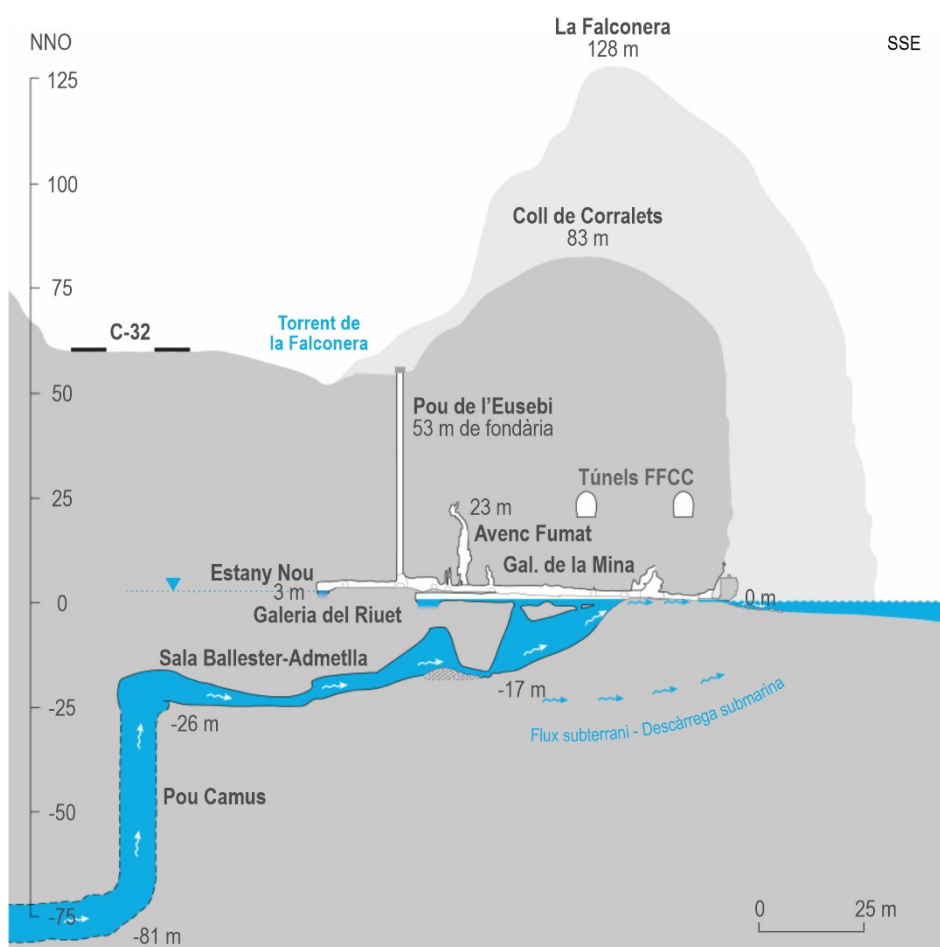


Figura 6.13. Surgència de la Falconera. Estructura de tipus vaclusià.

Les observacions de camp realitzades en les diferents surgències marines del front litoral del Garraf aporten informacions d'interès. Les surgències marines que desguassen (1) a nivell de mar es caracteritzen per un funcionament temporal com s'observa a Aiguadolç, Falconera i Punta Ginesta. Molt possiblement totes les surgències que temporalment són actives tenen una descàrrega molt més important mar endins en punts diversos de la plataforma continental, com així ho indiquen els estudis realitzats anteriorment. És més, segurament la descàrrega pròpiament submarina sigui quantitativament més important que l'existent en algunes de les surgències a nivell de mar. En aquest sentit, la descàrrega del sistema hidrogeològic del Garraf en el front litoral marí i submarí ha estat avaluada en uns 39 hm³ (Nogué i Couso, 2011). En els càlculs de balanç hídric realitzats en aquest projecte hi hauria un valor una mica inferior (24 hm³). Les observacions de camp i les estimacions realitzades dels volums aportats per les surgències a nivell de mar (Aiguadolç, Falconera...) són de l'ordre d'uns pocs hm³/any. En el cas de la Falconera (Cano i Font, 2016) la descàrrega anual pot assolir valors al voltant dels 10 hm³. Però precisar aquestes consideracions exigeix una informació quantitativa que no es disposa.

Les surgències que desguassen (2) per sobre del nivell del mar presenten un funcionament temporal que possiblement permet definir-les com a sobreexidors de les descàrregues submarines. Així en períodes o episodis de recàrrega de l'aqüífer, que poden no ser uniformes en tota la conca de l'aqüífer, les observacions indiquen que no existeix contemporaneïtat en el funcionament de les surgències marines del front litoral i en això hi pot influir tant el caràcter local de la recàrrega com la funcionalitat més o menys important de les estructures de drenatge càrstiques. Tanmateix la important intrusió salina que es

desenvolupa utilitzant les estructures de descàrrega de surgències com la Falconera podria influir en el funcionament de les altres surgències temporals.

Les observacions espeleològiques també aporten informació d'interès. Així la topografia i observacions les realitzades a l'avenc de l'Esquerrà, situat al límit nord del sistema hidrogeològic del Garraf (i potser formant part de la seva conca) mostren un esquema interessant: a la part superior hi ha els drens verticals (que defineixen els diferents pous de l'avenc) i a la part baixa conductes de disposició inclinada (i subhoritzontal) que indiquen un flux tipus escorrentia subterrània i alimenten la zona saturada de l'aqüífer, que es troba, aigua avall, a unes desenes de m (Mangin, 1975; Freixes, 2014; Almela et al., 2019). En aquesta cavitat el flux en condicions subaèries observat és el descrit com a escorrentia subterrània (Mangin, 1975; Bakalowicz, 1979). Els pous de l'Esquerrà que formaven part de l'estructura de drenatge estarien pràcticament obsolets de la circulació actual, que utilitzaria altres vies fins a arribar als conductes d'escorrentiu subterrani. Això és el que succeeix en una part molt important de les cavitats del Garraf, que respondrien al concepte d'estructura seca (Mangin, 1975).

Al Garraf no existeix pròpiament cap riu subterrani, aquesta és una idea antropomòrfica equivocada. Com a molt hi ha els conductes de geometria inclinada o subhoritzontal que responen a l'escorrentia subterrània, que sí que es realitza en condicions subaèries. Ja s'ha explicat que la darrera evolució glacioeustàtica origina una nova zona saturada a l'aqüífer del Garraf (o aqüífers), que té un desenvolupament "continu" i regional com sembla suggerir la piezometria.

L'únic "riu subterrani" que es coneix bé al Garraf és el rierol de la Falconera que té un recorregut d'uns 40 m fins a desguassar al mar. El riu subterrani s'origina per desbordament de l'estructura de drenatge inundada a l'interior mateix de la surgència de la Falconera.

El flux d'aigua que caracteritza la galeria inclinada de la part inferior de l'avenc de l'Esquerrà fins a arribar al nivell piezomètric també constituiria un curs subterrani subaeri que es podria definir com a part de l'escorrentia subterrània però en aquest cas alimentant la zona saturada existent en un pla inferior.

6.2. El sistema càrstic de la Falconera i la seva estructura vaclusiana

El que es pot anomenar sistema càrstic de la Falconera és un aqüífer amb una conca i una extensió considerable (segons alguns autors de l'ordre de 20-30 km², avaluació que cal revisar a l'alça) en l'àmbit del sistema hidrogeològic del Garraf. El sistema càrstic de la Falconera té un paper important en la transferència de la contaminació de l'abocador a la surgència de la Falconera (línia de costa i mar endins) i també en com es transfereix la contaminació a altres parts o subsistemes del sistema hidrogeològic del Garraf.

6.2.1. Esquema del sistema càrstic

L'esquema conceptual i, en part, el model realista del sistema o carst de la Falconera són relativament explícits a partir de diferents informacions de camp: geomorfològiques, hidrològiques i geofísiques, així com d'algunes informacions bibliogràfiques.

Com succeeix amb les altres surgències estudiades en el marc del sistema hidrogeològic del Garraf les aportacions realitzades a partir dels diferents marcadors utilitzats en aquest projecte han estat fonamentals en el seu coneixement.

L'esquema presenta alguns elements o parts molt explícits i definitoris: com el Fons de les Terradelles-vall de Joan, que constitueix una conca superficial que drena cap a l'est i desemboca al mar com a riera dels Canyars a l'hemidelta sud del Llobregat. Aquesta conca superficial (la part formada sobretot per les calcàries i dolomies del Juràssic i Cretaci) es troba afectada per un important fenomen de captura càrstica que determina que la circulació sigui subterrània i acabi desguassant al mar a la surgència de la Falconera. El fons de les Terradelles-vall de Joan tanmateix marca un dels límits orientals del sistema o aquífer de la Falconera. En aquest sentit, el piezòmetre del Teix, situat a l'extrem nord de l'abocador, sense un nivell piezomètric permanent marcaria aquest límit que seguiria per la Serra de Can Perers cap al SE.

L'esquema en aquesta part oriental en què es troba l'abocador presenta diferents parts pròpies de la zona no saturada del carst: existència d'aquífers càrstics superficials o aquífers epicàrstics eventuals en el vas de l'abocador, com es dedueix de l'augment de lixiviats després dels episodis plujosos; aquests aquífers es troben en la part més superficial de la zona no saturada, de la qual en formarien part. A més, l'existència del fenomen de captura càrstica al fons de la vall condueix a situar en els materials carbonàtics de la base de l'abocador una estructura de drenatge ben desenvolupada en la qual si han de reconèixer elements que fan el paper de drens verticals i altres que constitueixen conductes inclinats que assumeixen el flux definit com a escorrentia subterrània. L'aproximació magnetotel·lúrica realitzada no ha permès definir amb detall aquesta estructura de drenatge subjacent a l'abocador, però com s'observarà a l'apartat de qualitat de l'aigua i contaminació, els temps de trànsit estimats entre l'abocador i la surgència de la Falconera són d'unes poques hores i confirmen l'existència de l'estructura de drenatge. L'estructura de drenatge descrita a la zona no saturada té continuïtat a la zona saturada o inundada que es tracta d'una estructura de drenatge que es desenvolupa a una profunditat important, de l'ordre de 1000 m. L'expressió realista d'aquesta estructura de drenatge és la mateixa surgència de la Falconera amb un dren de grans dimensions inundat i a més de 80 m sota el nivell del mar, profunditat màxima de la darrera exploració subaquàtica. Aquesta zona inundada en situació de crescuda desborda al punt F3 formant el rierol de la Falconera, que amb uns 40 m de recorregut desemboca al mar (Figura 6.14).



Figura 6.14. Surgència de la Falconera. Aportació en crescuda de l'ordre $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

En aquest marc, cal considerar la informació que aporten els fenòmens càrstics situats a la zona no saturada i les observacions hidrològiques que s'hi han realitzat. Al Garraf hi ha tot un conjunt d'avencs, alguns de quasi 300 m de fondària, com l'Esquerrà, o altres que poden superar els 100 m i fins als 200 m (Bruc, Ferla, ...) (Figura 6.9) alguns dels quals amb presència d'aigua poden estar implicades en el funcionament càrstic, com per exemple succeeix amb l'avenc de l'Esquerrà, on es poden realitzar observacions d'enorme interès.

Aquestes cavitats de desenvolupament vertical rigorós com s'observa bé les seves topografies es poden definir com a drens a verticals situats a la zona no saturada o d'infiltració, en general amb alimentació hídrica en pèrdues i per tant el tipus de flux és la infiltració ràpida. En aquestes cavitats, rarament s'han pogut explorar estructures pròpies de l'escorrentia subterrània (Figures 6.3 i 6.4), que ben segur es troben en un nivell inferior que no ha estat possible explorar, excepte en el cas de l'avenc de l'Esquerrà.

L'avenc de l'Esquerrà està situat a la part central del relleu de Garraf, al sud del tàlveg de la riera de Begues, i constitueix el dren vertical o estructura de drenatge vertical més important dels explorats i situats a la zona no saturada de tot el Bloc del Garraf (Figura 6.15). Més concretament, està situat en un curs superficial (fondo de l'Esquerrà, Boixosa) afluent de la riera de Begues. De fet, la boca de l'Esquerrà hauria constituït en el passat una pèrdua important del referit curs fluvial (Figura 6.16), però actualment la boca-pèrdua ha quedat una mica penjada i desplaçada amb relació al curs superficial i ja no rep la important aportació hídrica que l'alimentava. L'Esquerrà presenta una important estructura de drens verticals no funcionals i una part inferior amb un conducte de fort pendent que constitueix pròpiament una estructura d'escorrentia subterrània i on, en situació de recàrrega s'observa el flux d'aigua i l'aportació de sediments: sorres i graves (Figura 6.15); aquest conducte d'escorrentia subterrània ha de rebre l'aportació hídrica d'un dren vertical



Figura 6.16. Avenc de l'Esquerrà. Antiga pèrdua situada al fondo de l'Esquerra (Boixosa).



Figura 6.17. Galeria de la part inferior de l'avenc de l'Esquerrà. Flux d'escorrentia subterrània (fotografia X. Almela).

En el conducte d'escorrentia subterrània de la part inferior de l'avenc de l'Esquerrà s'hi troba un isòpode terrestre d'hàbits aquàtics que constitueix un bon marcador d'aquest tipus de flux (Figura 6.18).

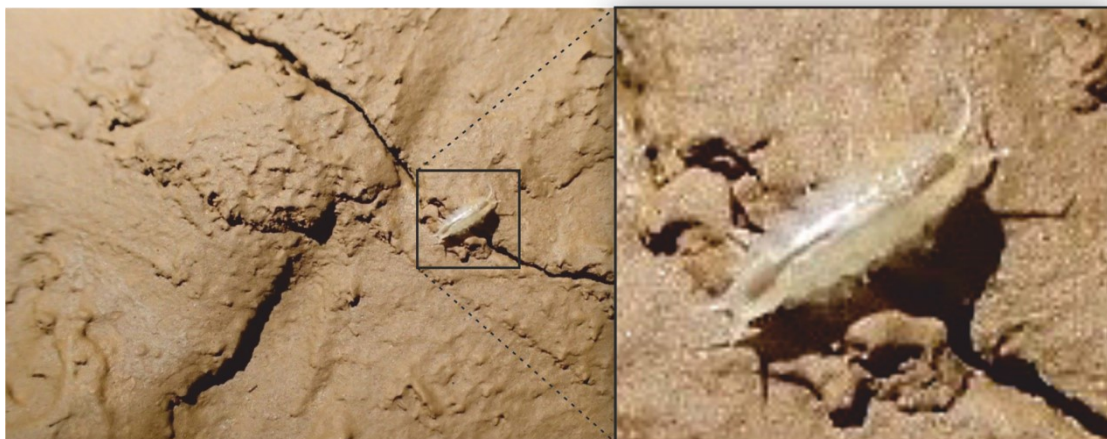


Figura 6.18. Isòpode terrestre d'hàbits aquàtics a la galeria inferior de l'avenc de l'Esquerrà amb flux tipus escorrentia subterrània.

El cas és que l'estructura càrstica profunda de l'avenc de l'Esquerrà (el conducte d'escorrentia subterrània arriba a la zona saturada i el nivell piezomètric en aquest punt se situa en la isopieza de 45 m). La fluctuació del nivell piezomètric deu ser de l'ordre d'uns 25 m o superior, que es detecta pel rebliment del conducte amb sediments de naturalesa argilosa (Figura 6.19).



Figura 6.19. Cota més baixa de l'avenc de l'Esquerrà: 291,4 m. Conductes sotmesos a la fluctuació del nivell piezomètric i important sedimentació d'argiles (Fotografia X. Almela).

A partir de l'exploració i observacions realitzades a l'avenc de l'Esquerrà es va plantejar la possibilitat de realitzar mostreigs i una experiència amb traçador, però per les enormes dificultats de realització aquestes iniciatives es va decidir de posposar-les per a un moment que permetés concentrar els esforços de cara a uns objectius tan exigents.

Un interessant treball de Llopis (1954), que posteriorment fou la referència de la seva monografia sobre el carst (Llopis, 1970) fa unes interessants reflexions sobre els avencs abans citats (drens verticals): Bruc, Ferla... i les seves implicacions en el sistema càrstic de la Falconera. Però endemés cita els avencs dels Esquirols, Font i Sagué... també drens verticals i els més profunds de la part septentrional del Garraf, i els considera com a part de l'estructura càrstica del sistema de la Falconera, però de moment no es disposa de suficients dades objectives per a confirmar aquestes idees.

La zona saturada o inundada presenta un desenvolupament profund que s'interpreta de tipus vaclusià (fins a 900 o 1000 m sota del relleu del Garraf) com s'explica detingudament a l'apartat següent. A part de l'eix de drenatge o estructura de drenatge no es disposa d'informació de l'existència o no de sistemes annexos al drenatge (Mangin, 1975, Marsaud, 19 Freixes, 2014). Finalment, la descàrrega la defineixen dues surgències una a la línia de costa, que es troba sota el penya-segat de la Falconera i que es coneix com a surgència de la Falconera i una segona mar endins a uns 1400-1500 m de la costa (i a uns 12 m de fondària del cos d'aigua mari) que s'ha definit com a Falconera mar (Figura 6.20). Aquesta segona surgència mai ha estat estudiada. A la figura 6.20 es pot veure la resposta de les dues surgències a l'episodi de pluja del 5 de desembre de 2019 amb una aportació de contaminants de consideració com s'analitzarà més endavant.

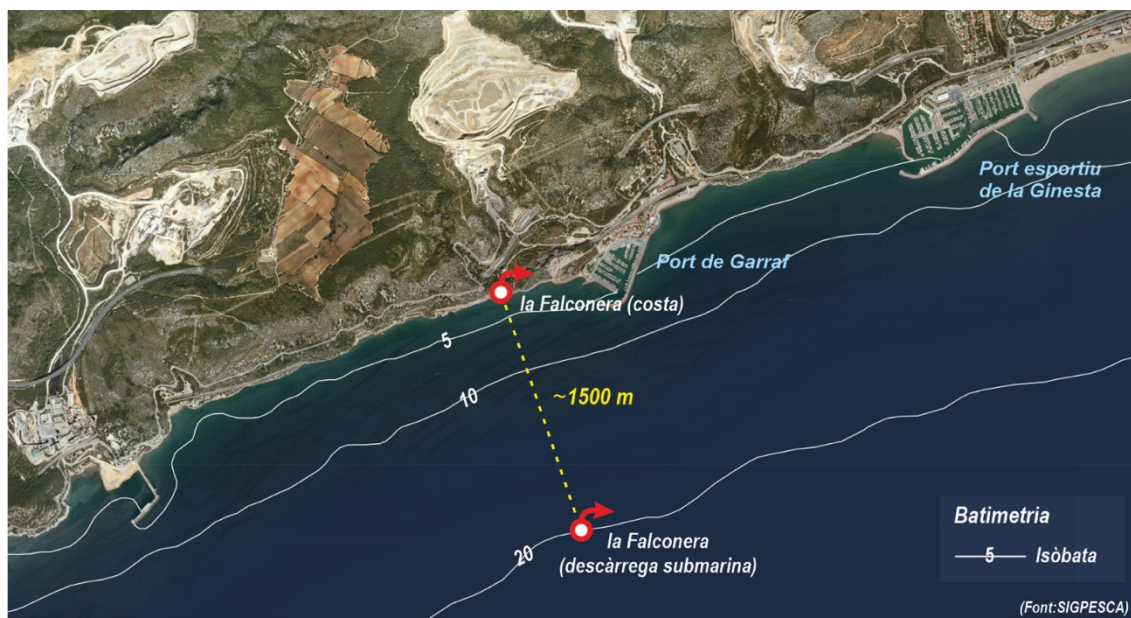


Figura 6.20. Situació de les dues surgències de la Falconera.



Figura 6.21. Aportació de contaminants en situació de crescuda a les surgències de la Falconera i Falconera mar (1,5 km mar endins aproximadament) (desembre de 2019) (Fotografia AMB).

6.2.2. Un sistema d'estructura vauclosiana

Les observacions realitzades a l'estructura de drenatge: situació de la surgència de la Falconera a la línia de costa (surgència temporal) i mar endins (surgència permanent), geometria de la topografia de la surgència de la Falconera amb l'estructura de drenatge subaquàtica que assoleix els 80 m, per sota del nivell del mar, dren endins; els piezòmetres realitzats, alguns de quasi 600 m de fondària, que no han tallat l'estructura de drenatge del sistema; així com l'estudi de la tectònica i de l'el·lipsoide de deformació que defineixen un important desenvolupament d'estructures W-E i SW-NE (Guimerà, 1985) indiquen una marcada resistència del medi al flux subterrani en direcció al mar. Aquest conjunt de consideracions condueix a pensar que l'estructura de drenatge del sistema càrstic de la Falconera sigui de tipus vauclosià, és a dir, l'estructura de drenatge es desenvoluparia a una profunditat important (fins a 900 o 1000 m per sota del relleu) i clarament per sota del nivell de descàrrega que indicarien les dues surgències de la Falconera (Mangin, 1975; Marsaud, 1997; Freixes, 2014, Geoservei, 2019). (Figura 6.19). El treball de geofísica magnetotel·lúrica realitzat com a una de les aportacions disciplinàries del projecte també és consistent amb l'existència d'una circulació profunda que definiria una estructura de tipus vauclosià (referència Martí et al., 2021). La situació de la surgència submarina de la Falconera a uns 12-15 m de profunditat a la plataforma continental és il·lustrativa de la pretèrita descàrrega subaèria del sistema de la Falconera; surgència que abans de l'ascens del nivell del mar hauria tingut un paper, en la seva qualitat de surgència permanent, més important que en l'actualitat.

El caràcter vauclosià de l'estructura de drenatge del sistema de la Falconera i, més en general, l'estructura interna de la zona saturada o inundada del carst de la Falconera (estructura de drenatge i estructures-reservori o sistemes annexos al drenatge: SAD) han d'influir en l'emmagatzematge i la transferència de la

contaminació. Això no obstant, desconeixem si el sistema càrstic de la Falconera té sistemes annexos i si aquests tenen alguna funcionalitat en la nova situació hidrològica actual introduïda pel glacioeustatisme.

Si existissin els sistemes annexos, aquests podrien tenir un paper important en la transferència de la contaminació, particularment a l'aqüífer de flux de difús que es dirigeix cap al sud-oest a les surgències d'Aiguadolç i la plana de Sitges, però tanmateix si la connexió entre les dues permeabilitats fos plausible (drenatge i flux difús), el mateix dren (o les estructures de drenatge) podrien transferir la contaminació a altres aqüífers o sistemes del Bloc del Garraf.

6.2.3. Síntesi sobre el funcionament hidrològic de la Falconera

Es tracta d'un aqüífer càrstic amb crescudes de cabals màxims de l'ordre 1,5 - 2 m³/s que no s'han de considerar importants en el context dels aqüífers càrstics. Els hidrogrames són més aviat aplanats, és a dir, amb puntes poc marcades i recessions de llarga durada. Les observacions a la Falconera indiquen que l'estructura de drenatge que l'alimenta determina un flux de descàrrega permanent o quasi permanent i quan la descàrrega passa a ser poc important s'origina un flux d'entrada d'aigua de mar que determina l'importat intrusió salina o marina com ho indiquen les mesures de camp i les dades analítiques dels mostreigs realitzats. Així un flux de sortida i un d'entrada poden coincidir a l'estructura de drenatge que s'endinsa cap a l'interior de l'aqüífer amb totes les implicacions que suposa aquesta situació (Figures 6.22 i 6.23).

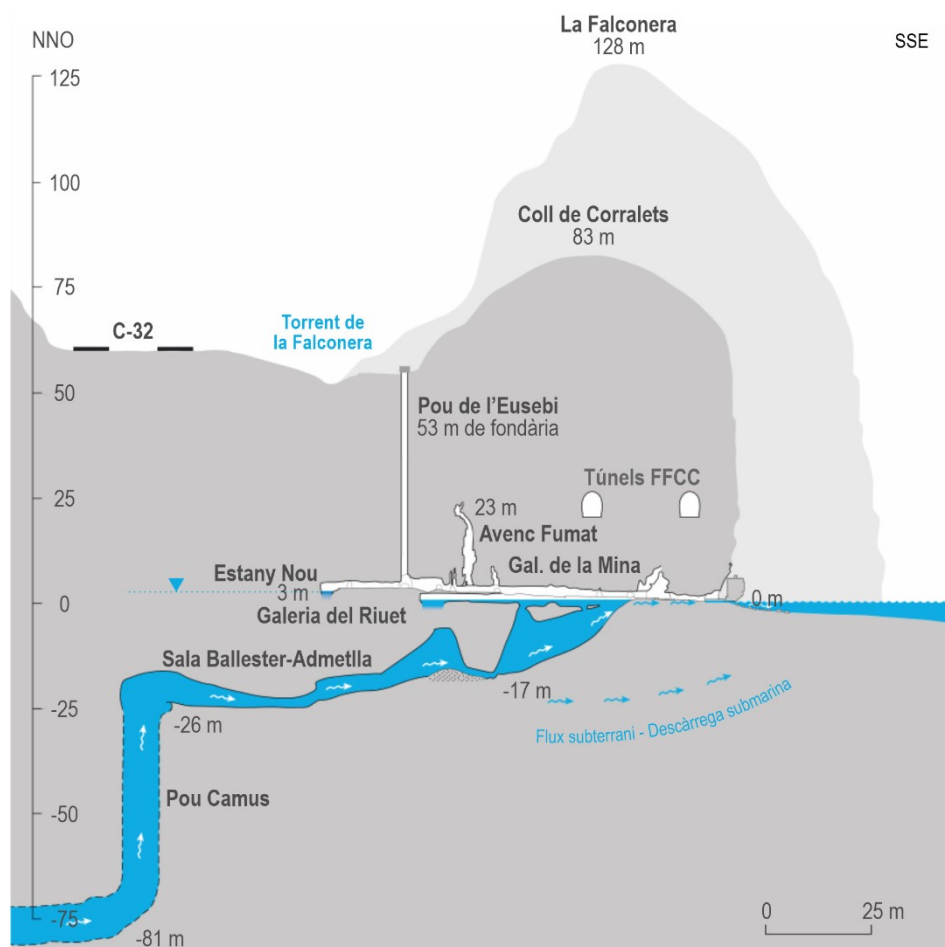


Figura 6.22. Surgència de la Falconera. Flux de descàrrega càrstic a partir de l'eix de drenatge de tipus vaclusià.

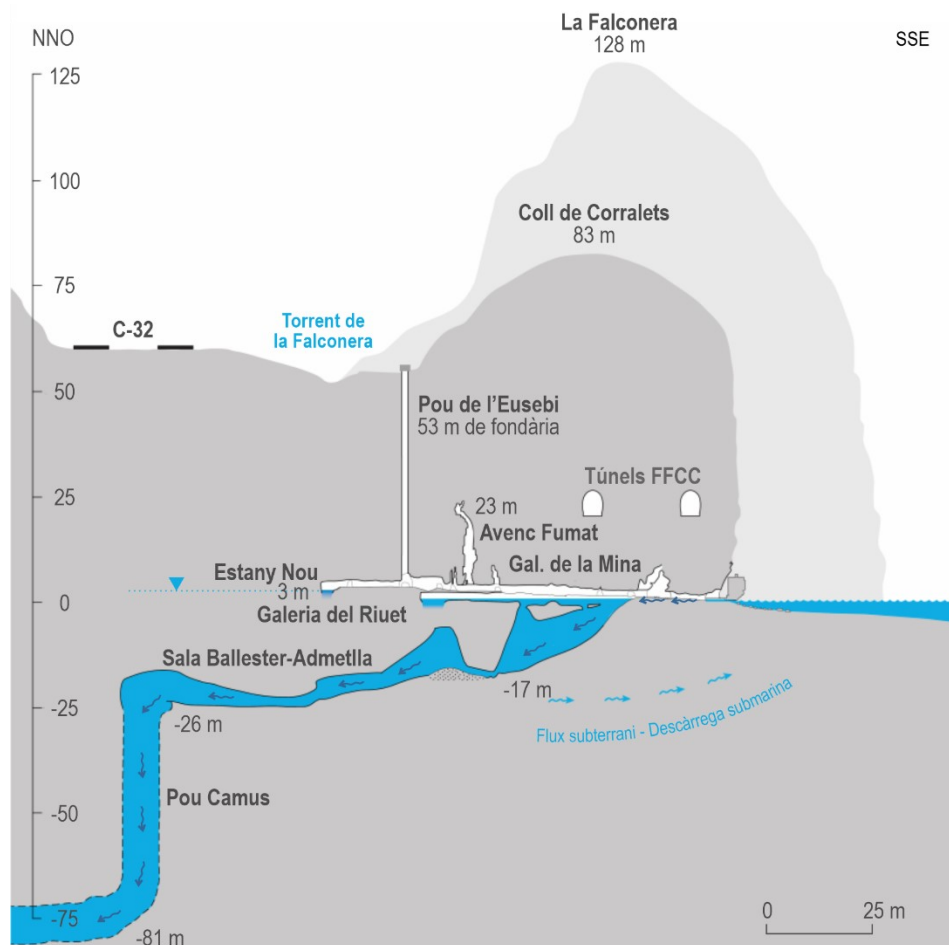


Figura 6.23. Surgència de la Falconera. Flux d'aigua de mar cap a l'interior de l'estructura de drenatge.

En el període d'observació d'aquest estudi (de mitjans de 2019 fins a maig de 2021) s'ha constatat que després de les pluges intenses que s'inicien el desembre de 2019 i dels successius episodis de pluja de l'any 2020, la surgència ha estat en situació de descàrrega permanent, encara que s'hi han observat situacions de molt baix cabal. Aquestes observacions indiquen que malgrat que la Falconera constitueix una "descàrrega temporal o trop-plein", pot presentar llargs períodes de funcionament com succeeix amb l'actual. De les característiques de la surgència "permanent" o Falconera mar (Figures 6.20 i 6.21) situada a uns 1,5 km mar endins no es disposa d'informació, ni històrica, ni actual; només les observacions que es realitzen en situació de crescuda que fan evident el funcionament de Falconera mar amb una aportació significativa de matèria en suspensió i contaminants (Figura 6.21).

7. Hidrologia subterrània: El sistema hidrogeològic del Garraf

El medi hidrogeològic del Garraf és molt complex. En realitat, l'àmbit de les aigües subterrànies del Bloc del Garraf és un sistema de sistemes format per subsistemes hidrogeològics de característiques diferents i contrastades. Aquest aqüífer es desenvolupa en un àmbit important del territori del Garraf que, amb una extensió de l'ordre de 233 km², es pot definir com a regional. Alguns autors s'hi refereixen com a sistema hidrogeològic càrstic del Garraf, però això sí que exigeix una matisació important: en el conjunt del Bloc del Garraf hi ha una carstificació molt important, però no tota és funcional (Cervelló i Freixes, 1992; Freixes 2014) i tot sembla indicar que l'únic aqüífer que té un caràcter càrstic encara funcional és el subsistema de la Falconera, que ocupa la part central i oriental del Bloc del Garraf, i, possiblement, impliqui també una part de l'extrem septentrional.

7.1. Límits del sistema

Els límits del sistema hidrogeològic del Garraf s'han definit a partir d'aproximacions o punts de vista diferents: geologia, hidrogeologia (epicarst, zones de recàrrega i descàrrega i piezometria), hidrologia superficial, geomorfologia en general, geomorfologia del carst (exocarst i endocarst) i la geofísica magnetotel·lúrica, així com de l'aportació de la geoquímica dels punts mostrejats i, òbviament, les dades dels marcadors bàsics, orgànics, microbiològics i isotòpics.

El sistema hidrogeològic del Garraf està constituït bàsicament per materials dolomítics i calcaris del Juràssic i Cretaci, que assoleixen a la part central del massís una potència de l'ordre de 1.000 m i a la part occidental una potència superior als 1.400 m que cal considerar com a molt importat. A més, una part molt considerable del bloc carbonàtic que constitueix l'aqüífer es troba per sota del nivell del mar. Això és conseqüència del basculament cap el sud-oest del Bloc del Garraf.

Des del punt de vista geològic els materials del Triàsic (Keuper), situats per sota de la successió del Juràssic-Cretaci que afloren a l'est del massís del Garraf, encara que amb certes matisacions importants, defineixen, d'una banda, el límit inferior del sistema i, d'altra, un primer contacte de referència per establir el seu límit oriental.

En general, es pot considerar que els materials del Triàsic no estan implicats en el sistema hidrogeològic del Garraf, més enllà d'alguna disposició estructural que, localment posi en contacte en fondària, la sèrie Juràssica-Cretàtica amb les unitats carbonàtiques del Triàsic (Muschelkalk superior i inferior). Això no treu que en profunditat, és dir, per sota dels materials juràssico-cretacis, els carbonats del Muschelkalk no puguin observar un cert flux regional, però quantitativament més aviat poc important. En aquest sentit, la geofísica magnetotel·lúrica realitzada en el marc d'aquest estudi (Annex 6) també indica l'existència d'un cert flux hídic subterrani en els materials triàsics (a més de 1000 m de profunditat sota el nivell del mar).

D'altra banda, els materials del Triàsic de la part oriental del massís difícilment formaran part de l'aqüífer. Potser la única excepció seria la capçalera oriental de la riera de Ribes/Begues, formada pel poliè de Begues (on, els carbonats del Triàsic, Juràssic i Cretaci es troben en contacte estructural).

Les calcàries i dolomies del Muschelkalk superior i inferior (del Triàsic) permeten definir, fora del sistema hidrogeològic del Garraf, diversos aqüífers aïllats i, en general, de petites dimensions, i amb les

descàrregues naturals situades al vessant oriental i nord-oriental del massís: com succeeix amb els sistemes de limitada entitat situats al nord-est i est: és el cas del sistema de la font d'Armena o, encara més al nord, dels sistemes que alimenten surgències com la de Sant Ponç, situades en els límits de la cubeta de Corbera. Aquests petits aqüífers no tindrien res a veure amb el sistema hidrogeològic del Garraf.

D'igual manera, a l'est i nord-est del massís hi ha diferents pous i surgències situats també en el materials de Triàsic com el pou de can Vallès o la font de la Xatarra, que formava part de l'antiga Xarxa Piezomètrica de l'abocador, que també drenarien sistemes de hidrològics de petita entitat i associats a les unitats del Triàsic.

Tot i que les piezometries publicades situen el límit septentrional aproximadament en el tàlveg o eix fluvial de la riera de Begues, també hi ha observacions i dades piezomètriques (veure apartat 7.3. Piezometria) encara més al nord, en el límit amb la depressió del Penedès i el Baix Llobregat, que assenyalen clarament un flux subterrani cap al sud; i se sap que la mateixa conca de la riera de Begues (136,5 km²) hauria estat objecte de captura per part de la circulació hídrica subterrània de naturalesa càrstica. La captura hauria implicat la part més septentrional on hi ha drens verticals com els avencs dels Esquirols i Font i Sagué, entre altres, que haurien format part o encara formarien part del sistema càrstic de la Falconera (Llopis-Lladó, 1954).

El límit occidental és possiblement el més problemàtic de definir, però aquest quedaria establert per la important estructura de distensió que determina i defineix la Depressió de Sant Pere de Ribes-Sitges; aquesta estructura de distensió és la que així mateix delimita el massís en aquesta part occidental i la que determina i explica la descàrrega natural d'Aiguadolç, amb una diversitat de punts considerable i, possiblement també explica els punts de descàrrega submarins situats més a l'oest: platges dels Balmins i Sant Sebastià, penya-segat del Baluard, on hi ha una cavitat i una surgència submarina d'aigua dolça ben definida (Fraguas i Romero, comunicació oral) i, fins i tot, les descàrregues d'aigua dolça de la Punta de les Coves.

Les surgències d'Aiguadolç situades a la mateixa línia de costa (i les homònimes submarines) són l'expressió de la descàrrega en aquesta part sud-occidental del sistema; cap a l'interior a la plana de Sitges hi ha Quaternari de naturalesa més aviat argilosa sobre els carbonats del Cretaci i els pous existents com el de la Comissaria (amb les calcàries del Cretaci a poca fondària), són també l'expressió de la descàrrega del sistema hidrogeològic del Garraf i, encara més al nord, la depressió on es troba Sant Pere de Ribes pròpiament, amb materials detrítics del Neogen i Quaternari, rep la descàrrega natural del massís del Garraf, que suposa una transferència hídrica lateral de l'aqüífer carbonàtic del Garraf vers a les unitats detrítics de la depressió; les isopiezes i línies de flux de la piezometria són molt explícites en aquest sentit (veure apartat 7.3. Piezometria).

El límit meridional en una primera aproximació el definiria la línia de costa, no obstant, sabem que l'aqüífer juràssico-cretaci s'estén mar endins. Aquest límit submarí és difícil de precisar dificultant la quantificació de l'extensió de l'aqüífer. A més, és necessari remarcar que el nivell de base hidrogeològic i càrstic és el nivell de mar.

A més de les consideracions realitzades sobre els límits est, nord, oest i sud del sistema hidrogeològic del Garraf (Bloc del Garraf) és necessari referir l'existència d'aqüífers càrstics superficials o aqüífers epicàrstics. Aquests aqüífers sembla que tenen un desenvolupament considerable (Jiménez, 2009; Geoservei, 2019) i un paper hidrològic important (Mangin, 1975; Freixes, 2014), mai esmentat abans al Garraf. Els aqüífers

epicàrstics del Garraf constitueixen, en el seu conjunt, un subsistema, dintre del sistema, discontinu, que es troba en la frontera superior del carst i en contacte amb l'atmosfera i que té un paper important ens els bescanvis amb el sòl i en la incorporació del CO₂ als processos de carstificació i on es poden definir dos tipus d'infiltració: la ràpida i la lenta; a més d'un flux lateral que caracteritzaria la seva zona saturada. La zona saturada del l'aqüífer/s epicàrstics/s juga un rol important com a estructura d'emmagatzematge, que difereix (infiltració lenta) la incorporació de l'aigua a la zones no saturada i saturada del carst o sistema càrstic (veure apartat 6, Figura 6.7).

Així, el que podríem definir com a límit o part superior del sistema estaria formada per una diversitat d'aqüífers epicàrstics, generalment de tipus eventual (que tot indica que també tenen un paper important en l'aportació hídrica a l'abocador de la vall de Joan). En el desenvolupament del projecte s'han mostregat dos aqüífers epicàrstics: el del pou de la Mata i el de la Font de les Piques. Aquesta segona aportació és la que s'ha mostregat al llarg del cicle hidrològic 2019-2020: es tracta d'un aqüífer epicàrstic que s'interpreta que pertany al sistema hidrogeològic del Garraf i dins d'aquest al subsistema càrstic de la Falconera.

7.2. Definició de les unitats hidrogeològiques o subsistemes

De manera anàloga a com s'han definit els límits del sistema del Garraf, la definició dels diversos subsistemes que conformen el sistema s'ha fonamentat en criteris geològics i estructurals, hidrològics, hidrogeològics i, d'una manera important, tenint en compte els diferents marcadors utilitzats: ions fonamentals, indicadors de contaminació del nitrogen i sofre, matèria orgànica (TOC), metalls pesants, microcontaminats orgànics, indicadors microbiològics i isòtops.

Les diferents descàrregues naturals a nivell del mar o per sobre del nivell del mar (de l'ordre de 0,5 a 1 m) són fonamentalment la surgència de la Falconera, les surgències d'Aiguadolç i les surgències de Punta Ginesta. Aquestes diferents descàrregues poden ser il·lustratives de sistemes hidrogeològics distints, però relacionats. A l'interior del Bloc del Garraf, a part de les divisòries d'aigües superficials, hi ha divisòries d'aigües subterrànies que delimitarien diferents subsistemes. A més, les descàrregues naturals referides constitueixen surgències de caràcter temporal, que només són l'expressió d'una part de la descàrrega dels subsistemes, doncs una part considerable de la descàrrega és clarament submarina, si més no, en una part important de les surgències. Les imatges de satèl·lit i les fotografies realitzades en episodis de descàrrega importants són molt il·lustratives de la descàrrega submarina (Figura 7.1).

L'anàlisi de les diferents zones de descàrrega (identificació d'on hi ha surgències subaèries o submarines ben determinades) i altres punts d'aigua (fonts, pous i piezòmetres), així com l'anàlisi del seu comportament hidrodinàmic i hidrogeoquímic permet una primera aproximació a les unitats o subsistemes hidrogeològics del Garraf. Els treballs realitzats en aquest estudi han permès definir, com a mínim, tres subsistemes hidrogeològics principals:

- Subsistema occidental, representat per la descàrrega d'Aiguadolç i la transferència lateral d'aigua subterrània des del massís carbonàtic als materials de la depressió de Sant Pere de Ribes-Sitges.
- Subsistema oriental representat per la descàrrega de Punta Ginesta i per la transferència lateral de l'aqüífer carbonàtic als materials detrítics de l'hemidelta sud del Llobregat.
- Subsistema meridional, representat per la descàrrega càrstica de la Falconera.

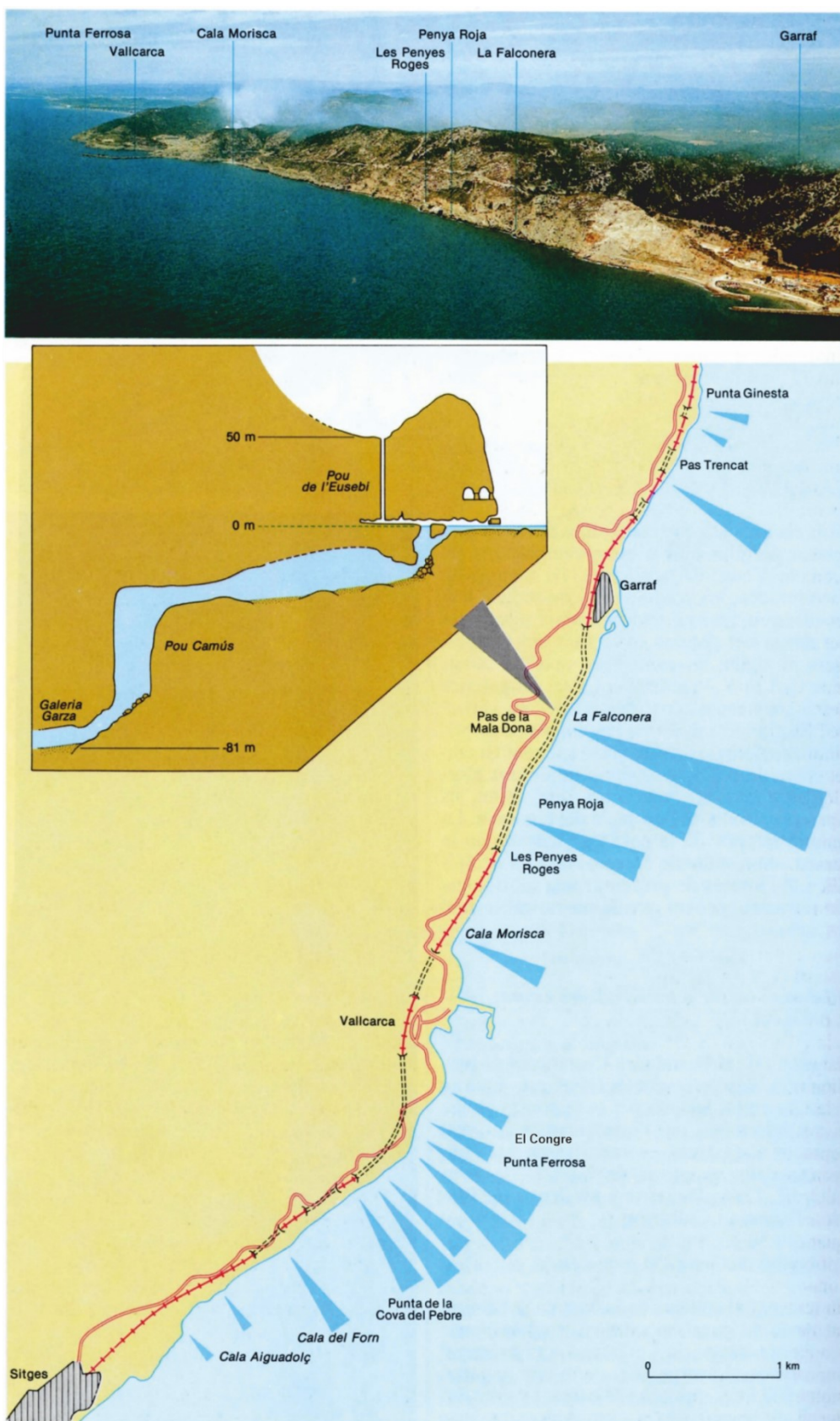


Figura 7.1. Surgències de les Costes del Garraf: d'Aiguadolç a Punta Ginesta (Cervelló i Freixes, 1992)

Com ja s'ha esmentat quan s'han definit els límits del sistema hidrogeològic del Garraf, la descàrrega occidental del massís del Garraf d'Aiguadolç pot tenir continuïtat més a l'oest amb les surgències dels Balmins, platja de Sant Sebastià i el penya-segat del Baluard i, més enllà, fins a les descàrregues d'aigua dolça de la Punta de les Coves, però no es disposa de dades hidrològiques suficients i definitives per a assegurar que els referits punts formin part de la descàrrega natural occidental del Bloc del Garraf.

Més al nord i terra endins d'Aiguadolç, hi hauria les estructures en distensió que delimiten la depressió de Sant Pere de Ribes-Sitges, on es pot definir una transferència lateral d'aigua subterrània des del massís carbonàtic als materials de la depressió. Aquesta transferència lateral és poc coneguda (amb informació limitada) i requeriria un aprofundiment en el seu coneixement per tal de situar amb més definició l'abast de la contaminació en aquest sector. Això és important, doncs 7 km al nord-est hi ha la plana Novella que constitueix un dels àmbits contaminats de l'aqüífer.

El límit oriental és molt complex i a part de la descàrrega de Punta Ginesta, podrien existir altres sistemes de menor entitat. En aquest sector hi ha una important estructura de distensió en blocs (Cretaci i Juràssic), on es poden reconèixer diverses cavitats amb nivell d'aigua com l'avenc de les Granotes, la cova Fumada i la cova del Centenari (aquesta darrera fou un dels punts del mostreig general del projecte), que posen de manifest l'existència d'una descàrrega per transferència lateral de l'aqüífer carbonàtic als materials detrítics de l'hemidelta sud del Llobregat.

A uns centenars de metres de la surgència de Punta Ginesta i amb possible relació amb aquesta hi ha la surgència del Pas Trencat que, molt probablement, podria representar la descàrrega permanent del subsistema de Punta Ginesta, mentre que la surgència homònima representaria el seu sobreexidor. Igual que en el cas d'Aiguadolç, en aquest sector, també es té referència de l'existència de surgències de caràcter submarí (Cervelló i Freixes, 1992) (Figura 7.1).

A l'oest de la població del Garraf, hi ha el subsistema càrstic de la Falconera amb una surgència temporal i una de permanent mar endins (aproximadament a 1,5 km i a una fondària d'uns 12-15 m sota el nivell mar; aquest subsistema ocuparia la part central i, bona part del sector oriental del Garraf i tindria un extensió considerable de l'ordre de 45-50 km², sense comptar el sector més septentrional de la conca de Begues, que molt probablement, com a mínim, fins a l'avenc dels Esquirols i de Font i Sagué, també en formaria part. Les principals característiques i peculiaritats en el funcionament del subsistema càrstic de la Falconera en el conjunt del sistema hidrològic del Garraf s'han desenvolupat en l'apartat 6.2.

Cal esmentar que al llarg de la línia de costa, entre la surgència de la Falconera i les surgències d'Aiguadolç hi ha un conjunt de surgències submarines: surgències de Penya Roja i Penyes Roges, situades prop de la Falconera; a uns 500 m del port de Vallcarca hi ha la surgència de la cova del Congre i la de Cala Morisca i més al sud-oest hi ha les surgències de la cova del Pebre i Calaform. Es desconeix la relació entre aquestes diferents surgències i els subsistemes descrits, però aquestes són l'expressió d'una evolució cap un flux subterrani-submarí de tipus difús.

Finalment, comentar que la descàrrega hídrica subterrània al nord (depressió del Penedès) i al nord-est (Baix Llobregat) seria molt limitada. Les fonts d'Armena, de Sant Ponç i "Font Santa" evidencien una certa transferència subterrània des les unitats carbonàtiques juràssico-cretàciques més septentrionals del massís als materials detrítics de la depressió del Penedès, però aquestes transferències laterals estarien relacionades amb una unitat hidrogeològica de menor consideració.

Els resultats de la piezometria que aquí es presenta indiquen que en el límit nord, i just a tocar amb la depressió del Penedès, el flux té un clar component cap al sud-oest o cap el sud, és a dir, cap a la Depressió de Sant Pere de Ribes o bé cap el mar; posant de manifest una difluència en la direcció de flux en el sector occidental i central, mentre que en el sector oriental la direcció de flux presenta un clar component cap al sud-oest vers al mar. En tots els casos el gradient hidràulic és força suau i mostra una superfície piezomètrica força planera representativa, en general, d'un domini del flux de tipus difús, tanmateix la disposició de les isopiezes en el sector central i oriental, suggereix la coexistència d'un flux preferencial que coincidiria amb la direcció d'estructures de drenatge com les descrites en l'apartat 7.2. anterior: els eixos de drenatge Esquerra-Falconera i Abocador (captura càrstica del fons del vas) – Falconera.

Els perfils geològics regional 01 i 02 presentats en l'apartat 4 de geologia es presenten aquí reinterpretats amb criteris hidrogeològics (Figures 7.3).

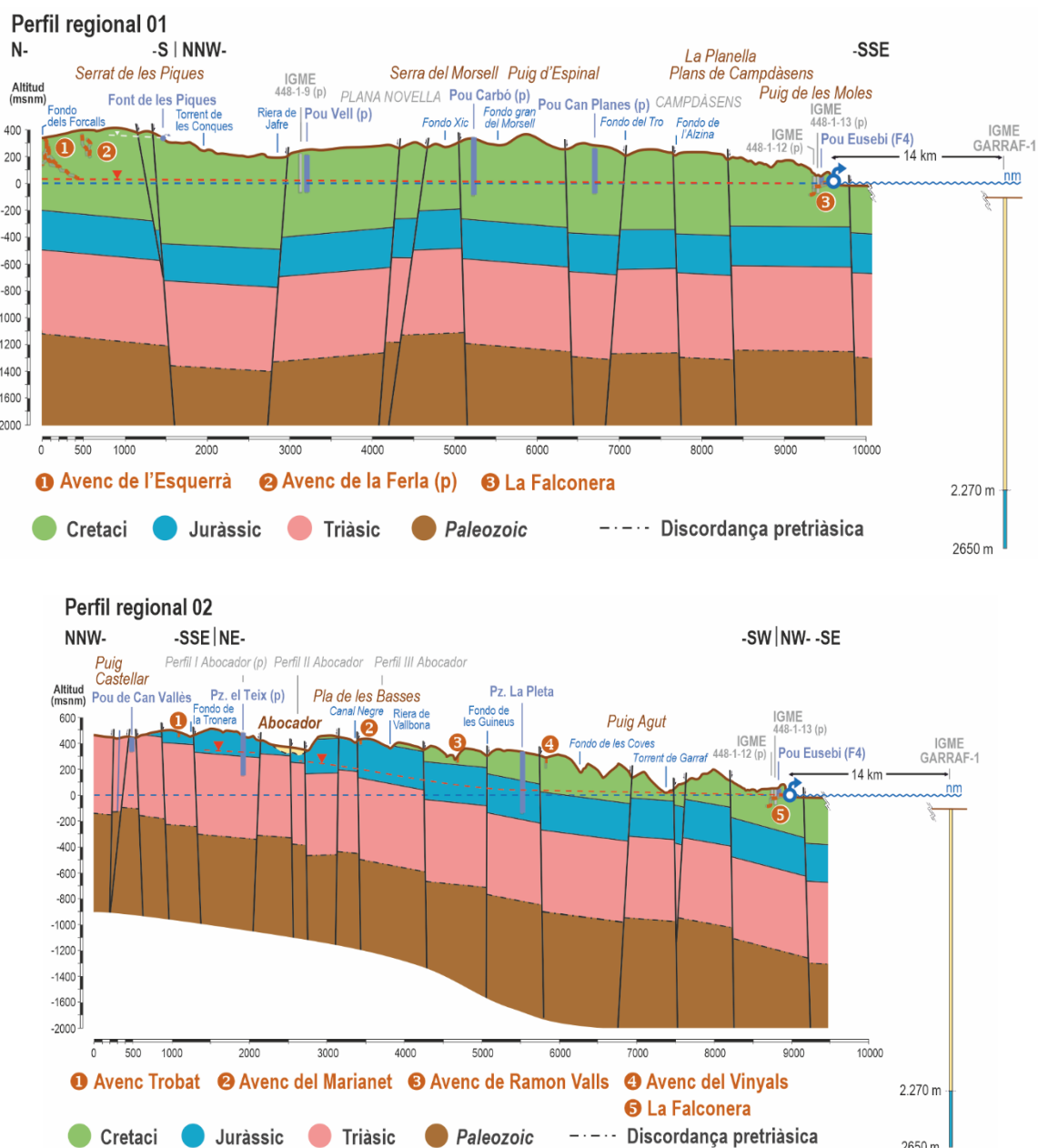


Figura 7.3. Perfil hidrogeològic regional 01: Esquerrà-Falconera. I perfil hidrogeològic regional 02: Abocador-Falconera.

Ambdós perfils són particularment il·lustratius de l'estructura en blocs que caracteritza el massís del Garraf. Aquesta estructura en blocs determina que a vegades les connexions o relacions hidrogeològiques entre els materials carbonàtics del Juràssic i Cretaci situats en diferents blocs no siguin fàcils i mostrin un cert grau de complexitat alhora d'interpretar el flux subterrani i la mobilització/transferència de contaminants.

El Perfil hidrogeològic regional 01 de l'avenc de l'Esquerrà a la surgència de la Falconera permet realitzar nombrosos consideracions sobre el sistema càrstic de la Falconera. Aporta informació relativa a l'estructura geològica i sobre el límit inferior de l'estructura vaclusiana (circulació profunda) que ha de trobar-se a una profunditat com a molt d'uns 800 m. Es veu molt bé com el nivell piezomètric, aproximadament la isopieza de 45 m talla la base de l'avenc de l'Esquerrà, que constitueix una important estructura de drenatge vertical amb estructures a la part inferior tipus escorrentia subterrània (vegeu l'apartat 6). El tall també facilita la visualització de l'avenc de la Ferla que es representatiu de nombroses cavitats que encara tenen el paper de drens verticals a la zona no saturada del sistema. També mostra la morfologia superficial dels fondos i la situació dels antics pous d'explotació de la plana Novella: Vell i Carbó, així com del pou actiu de Can Planes, que forma part de la xarxa d'observació piezomètrica actual. El tall també permet l'observació de la aqüífer epicàrstic de la font de les Piques amb el nivell piezomètric a la part superior de la zona no saturada. Aquest aqüífer epicàrstic és el que s'ha tingut com a referència en l'estudi desenvolupat al Garraf.

El Perfil hidrogeològic regional 02 de l'abocador de la vall de Joan a la surgència de la Falconera aporta informació doblement interessant. D'una banda perquè informa de la disposició de la macroestructura geològica de l'interior del massís al mar (basculament dels materials del Mesozoic i particularment del carbonats del Juràssic i Cretaci cap al sud-oest (i cap a l'oest), existint doncs una estructura favorable a la circulació subterrània cap sud-oest.). Aquesta macroestructura segur que ha estat un dels factors importants en la definició del potencial de carstificació i tanmateix del gradient hidràulic que va determinar els processos de carstificació del sistema càrstic de la Falconera. I d'una altra banda, perquè permet observar el dispositiu de la descàrrega càrstica: la surgència de a Falconera en els materials del Cretaci, mentre que la part d'aigua amunt del sistema (on es troba l'abocador i límit oriental del sistema) l'estructura de drenatge profunda es desenvolupa a les dolomies del Juràssic. El tall així mateix permet la visualització del nivell piezomètric a la base de l'abocador: aquesta situació indica clarament que l'abocador i els materials carbonàtics de la base de l'abocador formen part de la zona no saturada del sistema amb les estructures càrstiques pròpies: principalment tipus escorrentia subterrània amb drens de geometria inclinada o subhoritzontal i també drens verticals. El tall així mateix permet visualitzar cavitats càrstiques pretèrites no funcionals (avenc Ramon Valls,...), la morfologia superficial abrupta dels fondos i la situació del piezòmetre de la Pleta que talla una important estructura de buits càrstics i es desenvolupa tant en el Cretaci com en el Juràssic. Finalment, el tall mostra la situació del piezòmetre del Teix que en aquests moments (observacions de camp de juny de 2021) indica un nivell piezomètric originat per la importació hídrica de capçalera relacionada possiblement amb els aqüífers epicàrstics (fons de les Terradelles-vall de Joan). Aquest tall, en definitiva, també contribueix a interpretar l'estructura de tipus vaclusià que sembla caracteritzar el sistema càrstic de la Falconera.

7.4. Balanç hídric: càlcul de la descarregà total al mar i a la Depressió de Sant Pere de Ribes-Sitges

Per aproximar un balanç hídric del sistema hidrogeològic del Garraf s'ha dut a terme, en primer lloc un balanç hidrometeorològic de l'àmbit del massís del Garraf (disposant de les dades meteorològiques de l'estació del Rascler) per tal d'obtenir la funció d'entrada (infiltració).

Els diferents paràmetres que intervenen en el balanç hídric que aquí es presenta es detallen en la Figura 7.4 i en l'Annex 01/08). Cal emfatitzar que la única informació objectiva que s'ha pogut introduir en el balanç hídric per al càlcul de la infiltració (o volum d'entrada al sistema hidrogeològic del Garraf) ha estat la precipitació, mentre que la resta de paràmetres s'han calculat a partir de dades indirectes o d'aproximacions al medi. A més, un cop coneguda la funció d'entrada (infiltració) la funció de sortida (descàrrega al mar i a la Depressió de Sant Pere de Ribes-Sitges) s'ha establert a partir del coneixement de les característiques hidrogeològiques del Garraf (permeabilitat /transmissivitat del medi, gradient, gruix de la zona saturada...). Per tant aquests resultats s'han d'entendre com una aproximació més al volum d'aigua que circula en el massís del Garraf i defineix la seva descàrrega natural.

El balanç realitzat indica que la descàrrega total al mar i a la Depressió de Sant Pere de Ribes-Sitges és de 31 hm³, és a dir, del mateix ordre que les calculats en altres balanços hídrics realitzats anteriorment amb valors que se situen entre 25 i 39 hm³.

La descàrrega submarina i la descàrrega a la Depressió de Ribes-Sitges s'haurien d'investigar amb major profunditat d'acord amb els objectius de conèixer els impactes de l'abocador en les aigües subterrànies d'una banda a la Depressió on existeixen nombrosos aprofitaments mitjançant captacions verticals i d'una altra banda també al litoral marí amb l'objectiu de conèixer l'impacte a l'ecosistema litoral marí.

En efecte, més enllà dels esforços realitzats en aquest projecte s'hauria d'aprofundir en la caracterització d'ambdues descàrregues des del punt de vista de la qualitat de l'aigua i la contaminació. A les planes de Sant Pere de Ribes i Sitges s'hauria de programar un mostreig sistemàtic i suficientment exhaustiu que permeti situar el grau de l'impacte de la contaminació aportada per l'aqüífer del Garraf. En el cas de la plana de Sant Pere de Ribes amb l'objectiu d'incloure o excloure aquest àmbit geogràfic del territori afectat per la contaminació i en el cas de la plana de Sitges (pou Comissaria) per veure si l'afecció que ja es coneix és important o no. Finalment, considerant la importància de la descàrrega submarina a les Costes del Garraf, també és necessari programar una primera aproximació per veure el grau d'afecció de l'ecosistema marí litoral i la seva biodiversitat.

La descàrrega submarina de les Costes del Garraf és fa ben visible en les imatges de satèl·lit (Figura 7.5). Al litoral de Sitges també sembla que es fa evident la descàrrega submarina (Figura 7.6).

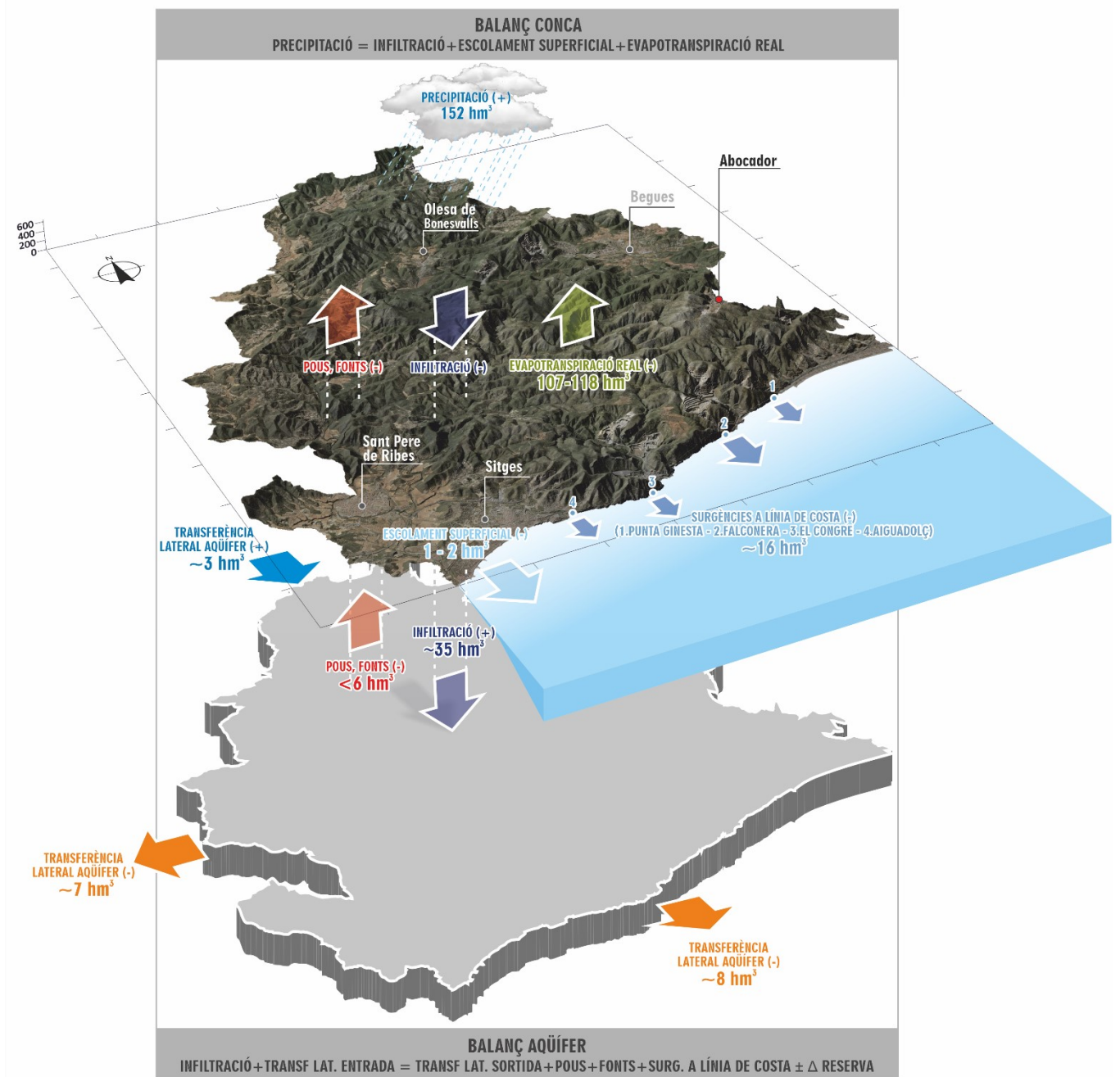


Figura 7.4. Balanç hídric del sistema hidrogeològic del Garraf (Bloc del Garraf).

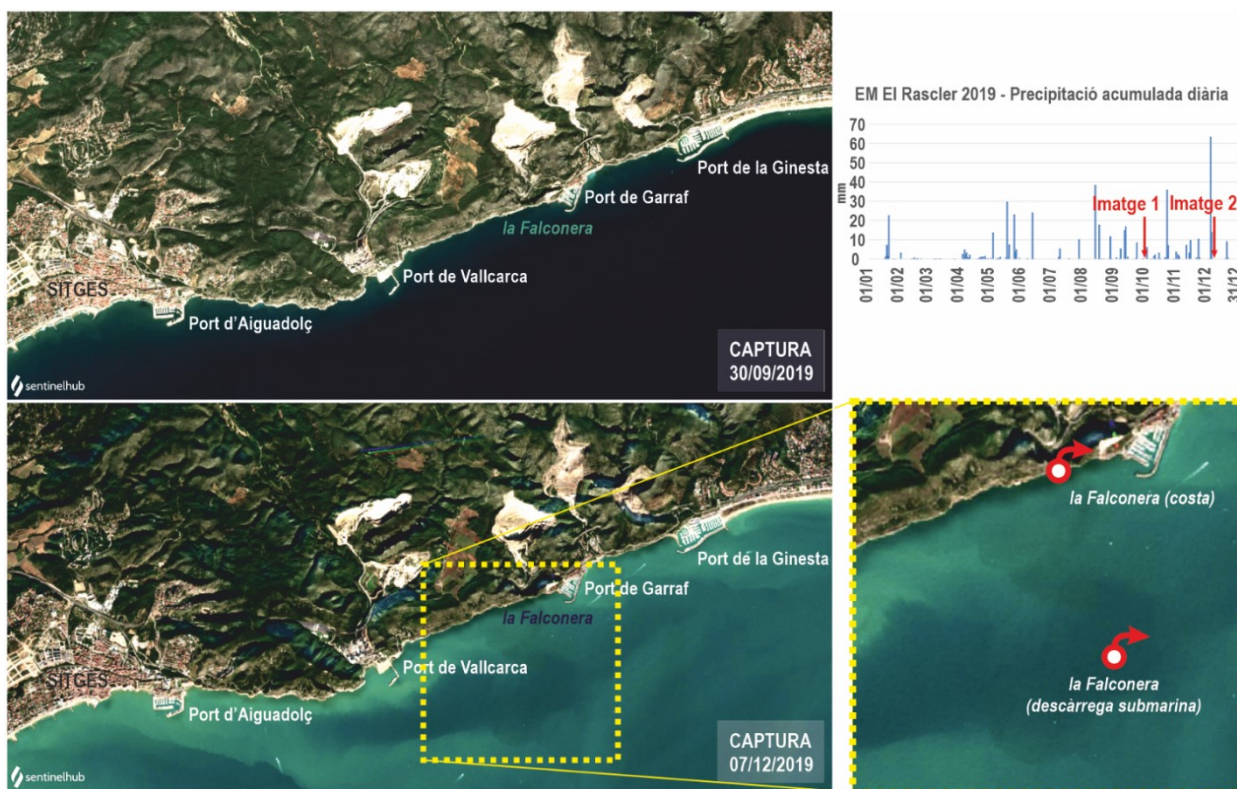


Figura 7.5. Imatges de satèl·lit de les Costes de Garraf: d'Aiguadolç a Punta Ginesta. Abans i després de l'episodi de pluja del 5 de desembre de 2019.



Figura 7.6. Descàrrega submarina davant de la població de Sitges (fotografia Eduard Terrado).

7.5. Evolució geodinàmica recent i actual de la línia de costa

A partir de la definició del Bloc del Garraf, des del punt de vista de la hidrologia subterrània, com a un sistema obert al mar amb una descàrrega principalment submarina amb un flux generalitzat de tipus difús (de la que el subsistema càrstic de la Falconera en seria una excepció), té interès conèixer l'evolució del nivell del mar recent i actual i altres característiques de l'aigua de la costa catalana.

La dades que es disposa dels registres actuals del nivell del mar a la costa catalana (Estartit), indiquen que després de l'ascens del nivell del mar relacionat amb el darrer període glacioeustàtic, el nivell continua ascendent (Figura 7.7) i que la temperatura de l'aigua (mesurada a diferents profunditats) del litoral català també està augmentant (Figura 7.8).

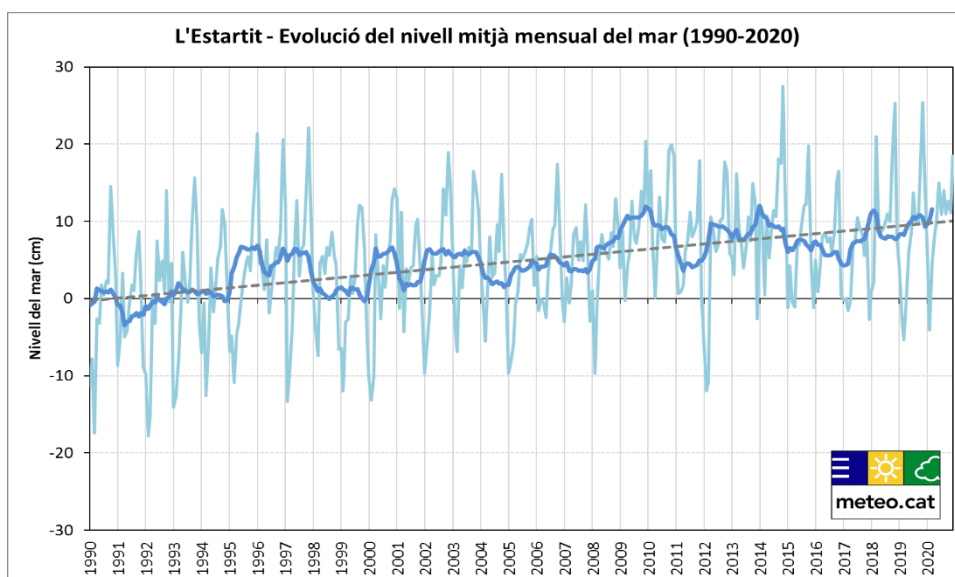


Figura 7.7. Augment del nivell del mar a l'estació de mesura de l'Estartit de l'any 1990 al 2020

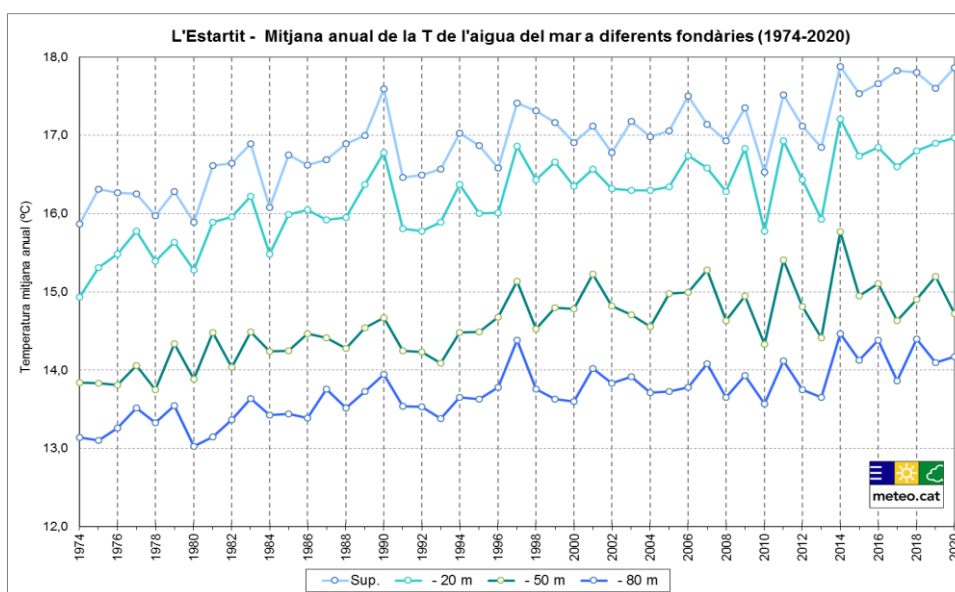


Figura 7.8. Evolució de la temperatura del mar a diferents fondàries (1974-2020) a l'Estartit (SMC).

Aquests augments del nivell de mar i de la temperatura estan estretament relacionats amb l'escalfament global o canvi climàtic (veure apartat 5. Clima). Aquestes tendències condicionaran en les properes dècades, tant els processos geodinàmics de les Costes del Garraf com la hidrologia subterrània de Bloc del Garraf. Les observacions de camp recents a les Costes del Garraf confirmen les tendències explicades. A la Figura 7.9 es pot veure la surgència de la Falconera fa 100 anys: a la base de la surgència hi ha una platja de còdols i a la Figura 7.10 es pot veure que actualment la Falconera desemboca directament al mar. A la Punta de les Coves es pot veure com a la base de la cova del Gegant hi havia una platja de còdols i sorres (Figura 7.11) que actualment no hi es (Figura 7.12). El conjunt d'aquestes imatges expliquen molt bé l'ascens del nivell del mar a les Costes del Garraf aquests darrers 100 anys.

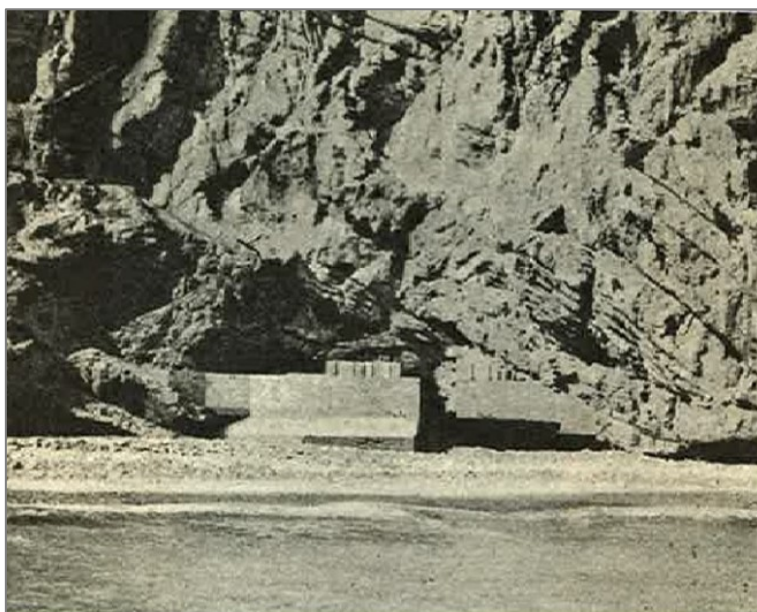


Figura 7.9. La surgència de la Falconera fa més de 100 anys. Platja de còdols ben desenvolupada (Fotografia M. Faura i Sans).



Figura 7.10. La Falconera en l'actualitat. La descarrega del rierol és realitza directament al mar (Fotografia de J.M. Cervelló).



Figura 7.11. Punta de les Coves i cova del Gegant fa quasi 100 anys amb una ben desenvolupada platja de sorres i còdols (Fotografia del Centre Excursionista Barcelonès, any 1928).

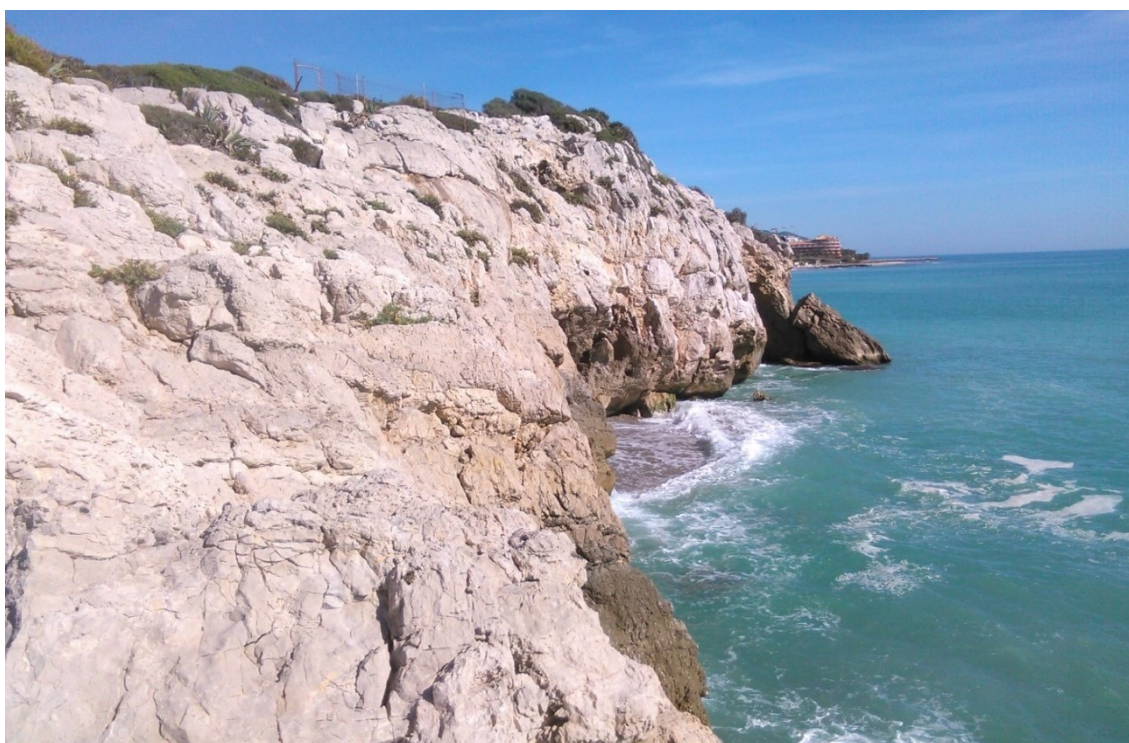


Figura 7.12. Punta de les Coves i cova del Gegant en l'actualitat sense platja (Fotografia de Josep M. Cervelló).

En els mesos de novembre de 2020 i de febrer, març, abril i maig de 2021, en el transcurs dels treballs de topografia, s'han observat processos de sedimentació a la boca i galeries de la surgència de la Falconera de manera que s'ha modificat significativament la sortida del rierol, amb un augment del nivell del flux de sortida de quasi 1 m a les galeries interiors. Dipòsits detrítics de sorres, graves i blocs d'aquestes característiques no s'havien observat mai. És possible que aquests processos ja indiquin la influència de noves condicions geodinàmiques al litoral (Figura 7.13).



Figura 7.13. Canvis importants a l'interior de la surgència de la Falconera amb la formació de dipòsits de sorres i graves. La línia il·luminada del sostre a la fotografia de l'esquerra (12/11/2020) es correspon amb la línia marcada per l'ombra al sostre de la fotografia de la dreta (05/05/2021). (Observacions i fotografies de Josep Ma. Cervelló).

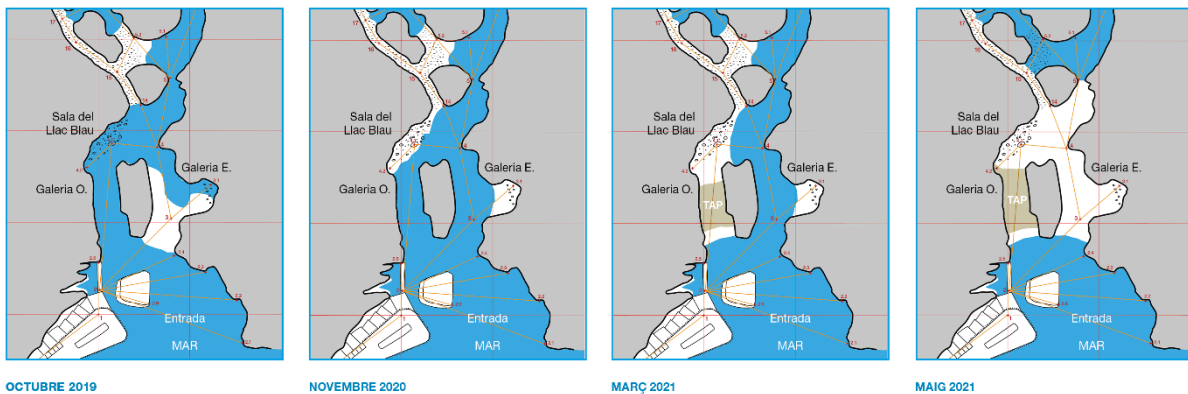


Figura 7.14. Evolució de l'estat de les galeries durant el període en que s'han realitzat els treballs de topografia (octubre 2019 – maig 2021).

L'aportació relativa al coneixement del clima i les precipitacions i el canvi climàtic al Garraf i la seva influència ja s'ha explicat sintèticament a l'apartat de clima i precipitació. Així l'escalfament global o canvi climàtic té i tindrà diferents implicacions que es necessari considerar: episodis de precipitació de major intensitat, ascens progressius del nivell del mar, major incidència de la intrusió salina tant qualitativament com quantitativa. En definitiva, una transició més marcada d'un sistema termodinàmicament obert cap un de més tancat (Freixes, 2014).

8. Qualitat de l'aigua i contaminació

8.1. Introducció

La monitorització i caracterització química de les aigües subterrànies ha permès i permetrà, entre d'altres aspectes, establir l'origen i les dinàmiques de flux i transport de contaminants al sistema hidrogeològic del Garraf. Els següents apartats presenten, de forma sintètica, els resultats obtinguts en l'anàlisi química multiparamètrica, les derivades quant a origen i transferència dels contaminants i, finalment, una aproximació als àmbits geogràfic i hidrogeològic impactats.

8.1.1. La xarxa d'observació: els punts d'aigua

La relació de punts estudiats i les seves característiques geològiques i/o hidrològiques s'han sintetitzat en les Taules 8.1 i 8.2.

Taula 8.1. Punts d'aigua estudiats o punts de control. Característiques bàsiques.

DENOMINACIÓ	X (UTM ETRS89)	Y (UTM ETRS89)	Z (UTM ETRS89)	TIPUS	SUBTIPIUS	FONDÀRIA (m)	COTA FONTS (msnm)	DIÀMETRE (mm)	PROF NIVELL AIGUA (m)
Aiguadolç	401874	4565683	0	Surgència marina	-	0	0	-	0
Cova del Centenari	413127	4569153	5	Surgència marina	-	0	5	-	5
el Congre	403973	4565469	0	Surgència marina	-	0	0	-	0
Falconera 0	407157	4567017	0	Surgència marina	-	0	0	-	0
Falconera 1	407158	4567025	0	Surgència marina	-	0	0	-	0
Falconera 2	407161	4567039	0	Surgència marina	-	0	0	-	0
Falconera 3	407162	4567070	0	Surgència marina	-	0	0	-	0
Falconera 4 (Pou Eusebi)	407122	4567113	73	Pou	Obert amb galeria	51,6	21,4	2700	48
Falconera 5	407150	4567135	0	Surgència marina	-	0	0	-	0
Font de les Piques	402923	4573805	313	Font	-	0	314,7	-	0
Pou Can Planes	405501	4569320	262	Pou	Sondeig entubat	336	-73	220	-
Pou Can Vallés	410002	4574452	456	Pou	Sondeig entubat	115	340	1000	-
Pou Carbó	405086	4570792	344	Pou	Obert	426	-82	-	-
Pou Comissaria Sitges	400224	4566347	32	Pou	Obert	-	-	1100	23,6
Pou de la Mata	406807	4568925	277	Pou	Obert	3	272,9	1000	2
Pou Fontanillas	405916	4568047	227	Pou	Sondeig entubat	320	-93,5	300	230
Pou Garraf poble	408059	4567824	31	Pou	Sondeig entubat	45	-8	250	35
Pou Hilarí	405065	4567423	58	Pou	Sondeig entubat	70	0,2	2000-300	52,3
Pou Mihail (Mas Quadrell)	403987	4567930	80	Pou	Sondeig entubat	-	-	-	-
Pou No.1	404869	4567303	50	Pou	Sondeig entubat	50	0	300	53,7
Pou Piedras y derivados	411856	4570996	177	Pou	Sondeig entubat	305	-127	178	-
Pou Rat Penat (esportiu)	410206	4568596	11	Pou	Sondeig entubat	-	-	-	-
Pou Rat Penat (riera)	410182	4568788	19	Pou	Obert	24	-5	1100	17,2
Pou Samitier	403806	4568096	107	Pou	Sondeig entubat	137	-22	180	-
Pou UTE	405227	4567216	60	Pou	Sondeig entubat	120	-0,5	300	57,1
Pou Vell	404040	4572488	214	Pou	Sondeig entubat	275	-53	400	194,4
Punta Ginesta	409529	4568029	0	Surgència marina	-	0	0	-	0
PZ Pitxot	408363	4570677	484	Piezòmetre	Sondeig entubat	596	-112	320-250-193	490
PZ Pleta	409151	4569764	342	Piezòmetre	Sondeig entubat	487	-145	230	340
PZ SE	411246	4571793	202	Piezòmetre	Sondeig entubat	310	-108	320-250-193	61,42
PZ Teix	409998	4572902	474	Piezòmetre	Sondeig entubat	330	144	320-220	Sec
PZ Vallgrassa	405933	4571083	279	Piezòmetre	Sondeig entubat	416	-137	230	278,75
T12 (LP)	410394	4572281	365	Pou llixiviats	Sondeig entubat	20	345	-	-
T19 (LP)	410093	4572183	400	Pou llixiviats	Sondeig entubat	20	380	-	-
TB (LB)	410965	4572054	233	Pou llixiviats	Obert	5	228	-	-
BI (ESA)	410456	4572266	352	Bassa pluvials	-	0	0	-	-

Taula 8.2. Punts d'aigua estudiats o punts de control. Característiques geològiques.

DENOMINACIÓ	GEOL EDAT 1	GEOL EDAT 2	MATERIALS	OBS. GEOLOGIA
Aiguadolç	Cretaci inferior	Valanginià-Hauterivià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Cova del Centenari	Juràssic superior	Kimmeridgià	Dolomicrites i dolosparsites	En falla normal dins el Juràssic
el Congre	Juràssic superior	Kimmeridgià	Dolomicrites i dolosparsites	-
Falconera 0	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Falconera 1	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Falconera 2	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Falconera 3	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Falconera 4 (Pou Eusebi)	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Falconera 5	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Font de les Piques	Cretaci inferior	Aptià	Margocalcàries, margues i calcàries	Aqüífer epicàrstic de la font de les Piques
Pou Can Planes	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Pou Can Vallès	Triàsic mitjà	Ladinià	Calcàries i brexes calcàries	-
Pou Carbó	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Pou Comissaria Sitges	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	Cobriment Quaternari; aqüífer cretàcic al fons
Pou de la Mata	Cretaci inferior	Aptià	Margocalcàries, margues i calcàries	Aqüífer epicàrstic de la Serra de Coma Roja
Pou Fontanillas	Cretaci inferior	Aptià	Margocalcàries, margues i calcàries	-
Pou Garraf poble	Cretaci inferior	Aptià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Pou Hilarí	Cretaci inferior	Aptià	Margocalcàries, margues i calcàries	-
Pou Mihail (Mas Quadrell)	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Pou No.1	Cretaci inferior	Aptià	Margocalcàries, margues i calcàries	-
Pou Piedras y derivados	Juràssic superior	Kimmeridgià	Dolomicrites i dolosparsites	-
Pou Rat Penat (esportiu)	Juràssic superior	Kimmeridgià	Dolomicrites i dolosparsites	Cobriment Quaternari; aqüífer juràssic al fons
Pou Rat Penat (riera)	Juràssic superior	Kimmeridgià	Dolomicrites i dolosparsites	Cobriment Quaternari; aqüífer juràssic al fons
Pou Samitier	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Pou UTE	Cretaci inferior	Aptià	Margocalcàries, margues i calcàries	-
Pou Vell	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
Punta Ginesta	Juràssic superior	Kimmeridgià	Dolomicrites i dolosparsites	-
PZ Pitxot	Cretaci inferior	Barremià i Aptià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques; margocalcàries i margues	-
PZ Pleta	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
PZ SE	Sèrie triàsica	-	Lutites, gresos, dolomies i calcàries	-
PZ Teix	Juràssic superior	Kimmeridgià	Dolomicrites i dolosparsites	A partir de 173 m de prof. unitats del Triàsic
PZ Vallgrassa	Cretaci inferior	Barremià	Calcàries micrítiques i bioclàstiques	-
T12 (LP)	-	-	-	-
T19 (LP)	-	-	-	-
TB (LB)	-	-	-	-
BI (ESA)	-	-	-	-

El mapa de la Figura 8.1 inclou la totalitat dels punts d'aigua estudiats. Els diferents punts d'aigua corresponen a lixiviats de l'abocador, aigües subterrànies, aigües d'escorrentia superficial de l'abocador i aigua de mar (Falconera 0). Dels lixiviats s'ha de distingir entre els mostrejats al pou-registre situat abans que el flux (de lixiviats) desguassi a la bassa de lixiviats (aportació de lixiviats situada a la base i part baixa de l'abocador) i els lixiviats mostrejats en pous situats a la superfície de l'abocador; concretament s'han mostreat els pous de lixiviat situats a les terrasses 12 i 19 (T12 i T19). El pou de lixiviats de la T19 s'ha mostreat sistemàticament al llarg del cicle hidrològic 2019-2020. En les aigües subterrànies hi ha una diversitat de punts: surgències situades a la mateixa línia de costa i per sobre del nivell del mar (Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta), surgència de la cova del Congre (conduïda amb aportació d'aigua dolça per sota del nivell del mar), surgència de la cova del Centenari (torre Barona) que desguassa a l'hemidelta sud del Llobregat, pous d'explotació, piezòmetres i punts d'aigua situats en aqüífers epicàrstics.

En els mostreigs general i del cicle hidrològic i de la xarxa piezomètrica antiga AMB s'han realitzat les determinacions de paràmetres bàsics següents:

Camp:

Cabal o nivell, conductivitat a 20° C, pH, potencial Redox(Eh), oxigen dissolt (O₂ i) i temperatura in situ.

Laboratori:

Conductivitat a 20 °C, TSD, pH, Potencial Redox.

HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ i K⁺.

Silicats (SiO₄²⁻), CO₃²⁻, NH₄⁺ (Amoni), NO₃⁻ (Nitrats), NO₂²⁻ (Nitrits), Duresa Total (Ca²⁺, Mg²⁺), Alcalinitat (en mg CaCO₃/L), o-Fosfat(P), Fòsfor (P).

TOC, DBO₅, DQO, TSD (Residu Sec a 105°C), Matèries en suspensió, Terbolesa, Nitrogen amoniacal, Nitrogen Total, Nitrogen-Nitrits (N), Sulfits, Sulfurs Totals, Fluorurs, Cianurs Totals.

Estany, Mercuri, Silici, Alumini, Bari, Bor, Cadmi, Cobalt, Coure, Crom, Ferro, Manganés, Níquel, Plom, Zenc, Antimoni, Arsènic, Beril-li, Molibdè, Seleni, Titani, Vanadi.

8.1.2. El mostreig general: una primera aproximació

Els resultats del mostreig general constitueixen una primera aproximació a les característiques qualitatives dels diferents punts d'aigua considerats (lixiviats, surgències, epicarst, pous i piezòmetres) i la seva contaminació.

És particularment remarcable el contrast de la mineralització dels diferents tipus d'aigua mostrejats. Per exemple els lixiviats en la seva condició d'aigües residuals de l'abocador poden presentar mineralitzacions molt elevades, amb una conductivitat màxima de 63.610 µS/cm, com succeeix al pou de lixiviats de la T19. Les conductivitats també són elevades al pou de lixiviats de la T12 amb 26.110 µS/cm i al pou-registre de la bassa de lixiviats amb 32.900 µS/cm. Així els lixiviats juntament amb les aigües de mar (Falconera 0) i els punts d'aigua subterrània que reben una forta influència de la intrusió marina, com succeeix a la surgència de la Falconera, constitueixen les aigües més mineralitzades de l'estudi realitzat al Garraf.

També hi ha aigües de baixa mineralització com passa amb els punts d'aigua dels aquífers epicàrstics: Font de les Piques (604 µS/cm). Els pous presenten mineralitzacions de baixes a elevades segons la influència de la intrusió marina: els pous de Can Vallès (834 µS/cm), "Piedras y derivados" (649 µS/cm) no observen cap influència, però els pous de Rat Penat-esportiu (967 µS/cm), Rat Penat-riera (752 µS/cm), Comissaria (1.203 µS/cm); pou Fontanillas (1.728 µS/cm, Carbó (2.140 µS/cm), Samitier (3.486 µS/cm) indiquen l'existència de salinització i els piezòmetres de Vallgrassa (930 µS/cm) i Pleta (1.248 µS/cm) també, però menys important. Les surgències, en general, observen una major influència de la intrusió marina i presenten aigües més mineralitzades, menys marcada a Aiguadolç (3.526 µS/cm) i més elevada a Punta Ginesta (7.984 µS/cm). Els punts de la Falconera: F1, F2, F3 i F4 i F5, tots ells situats a l'eix de drenatge del sistema càrstic o bé en relació amb aquest, reben un forta influència de la intrusió marina, en determinats períodes del cicle els valors de conductivitat s'apropen als de l'aigua de mar (>50.000 µS/cm) i en

determinats períodes de curta durada es mesuren conductivitats d'aigua de mar. En absència o amb un feble flux de descàrrega càrstica la Falconera es veu envaïda completament per aigua de mar (com succeeix en l'exploració realitzada amb el robot Sparus), mentre que en plena descàrrega de l'aqüífer càrstic els valors de conductivitat són de 1.500 a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i preval la incidència de les aigües càrstiques. Més endavant s'analitzarà l'evolució de la salinitat de la surgència de la Falconera segons l'estat de funcionament del sistema.

Diagrama Piper. Des del punt de vista químic hi ha diferents tipus d'aigua. La diversitat de conductivitats mesurades ja indica que les composicions poden ser molt diferents. Les aigües d'un medi hidrogeològic carbonàtic o càrstic són bicarbonatades càlciques, no obstant al Garraf només alguns punts d'aigua tenen aquesta composició. La influència de la intrusió marina és tan marcada que la majoria de punts d'aigua siguin surgències, pous o piezòmetres presenten en la seva composició aquesta influència. El diagrama de Piper (Figura 8.2) facilita la classificació de les aigües i confirma un predomini d'aigües clorurades sulfatades sòdico potàssiques per la importància que té la salinització originada per la intrusió salina.

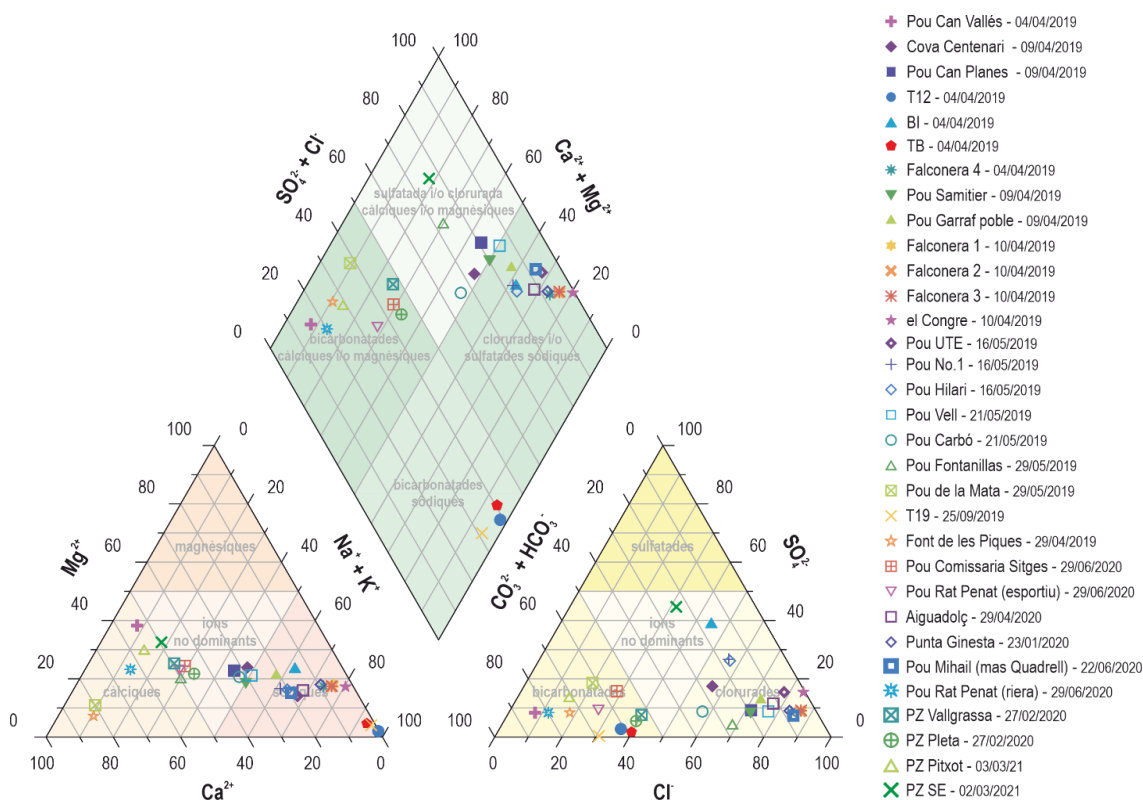


Figura 8.2. Diagrama de Piper dels punts d'aigua estudiats.

Així, les surgències situades a la línia de costa es caracteritzen per una salinització significativa: amb menor influència a Aiguadolç i Punta Ginesta i més marcada, sobretot temporalment, a la Falconera. Mentre que les aigües bicarbonatades càlciques es limiten als aquífers epicàrstics i a alguns pous no afectats pels processos de salinització. Els lixiviats per la seva singular matriu composicional observen una classificació pròpia i particular (vegeu el pous de lixiviats T12 i T19) i una elevada mineralització o salinitat (Figures 8.2 i 8.3).

Els diagrames de Stiff faciliten una lectura molt explícita de la diversitat composicional de les aigües estudiades (Figura 8.3). La morfologia dels diagrames és molt il·lustrativa de les característiques químiques

de l'aigua. Els diagrames dels llixiviats són originals i diferents de la resta de punts d'aigua (pou de llixivat T19, T12 i Bassa de Llixiviats); al pou de llixivat T19 com a conseqüència de continguts importants en sodi, potassi i clorurs (part superior del diagrama) i de calci i bicarbonats (part inferior del diagrama) el diagrama observa quatre puntes ben marcades. Mentre que els diagrames que corresponen a aigües marines, o a aigües subterrànies de forta influència marina per la intrusió, no observen les puntes de la part inferior o no son tan marcades ja que les concentracions en bicarbonats i calci no són importants. En síntesi, els punts d'aigua amb influència de la intrusió marina són molt evidents: surgències d'Aiguadolç, Punta Ginesta, Falconera, Congre i Cova del Centenari, pous de Mas Quadrell, Samitier, UTE, Hilari, nº 1, Fontanillas, Garraf-poble i fins i tot, els situats més al nord: pous del Carbó i Vell. Els piezòmetres de Vallgrassa i Pleta també indiquen, en un grau menor, la influència de la salinitat. El piezòmetre del Pitxot té l'aigua molt poc mineralitzada, comparable amb l'aqüífer epicàrstic de la font de les Piques i no observa influència de la intrusió salina. Els pous de Can Vallès i "Piedras y derivados" no observen influència de la intrusió salina i òbviament les fonts de les Piques i de la Mata, situades en aqüífers epicàrstics, tampoc.

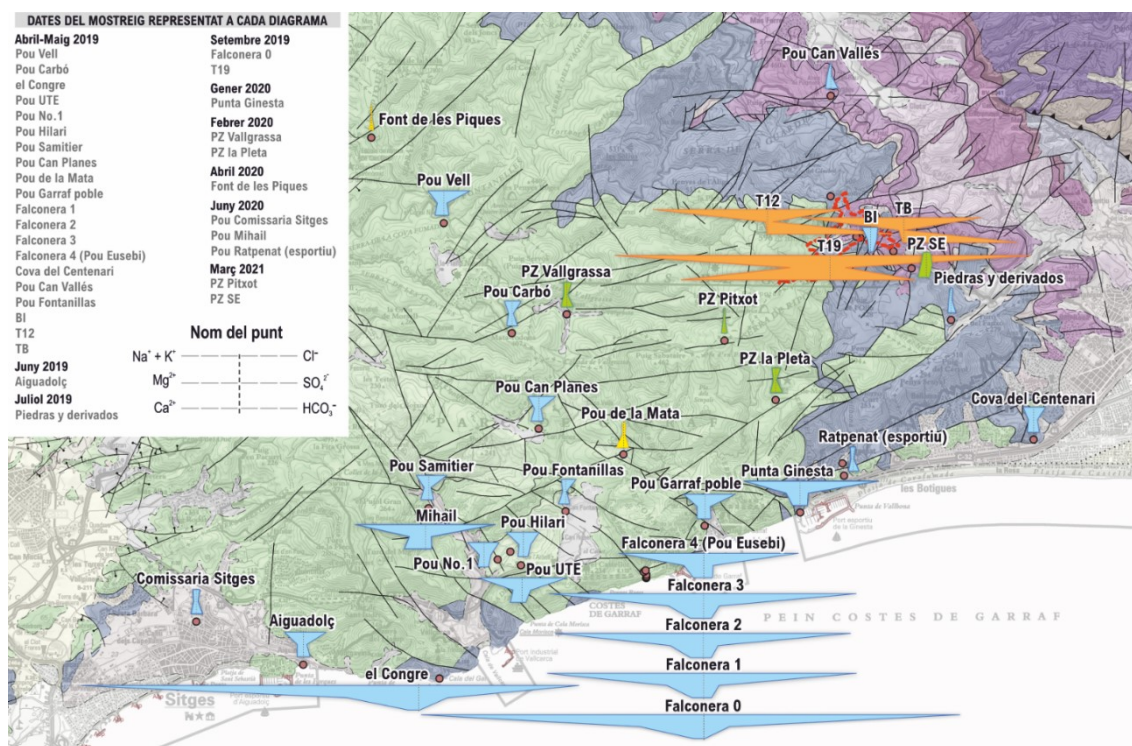


Figura 8.3. Diagrames de Stiff dels punts d'aigua estudiats.

Els resultats del mostreig general dels microcontaminats orgànics, isòtops i microbiologia es poden consultar al primer informe realitzat (Metodologia i estat de situació) i als primers informes específics realitzats sobre el microcontaminats orgànics, isòtops i microbiologia, que es troben als annexos del primer informe. En aquest document final també s'inclouen els resultats del mostreig general i del cycle hidrològic (2019-2020) de la microbiologia.

8.2. Paràmetres bàsics (dades de camp, ions fonamentals, indicadors de contaminació i metalls solubles)

8.2.1. Lixiviats

Les analítiques de les aigües residuals de l'abocador de la vall de Joan faciliten una aproximació a les substàncies químiques que constitueixen l'origen de la contaminació de les aigües subterrànies del sistema hidrogeològic del Garraf. La diversitat de substàncies químiques inorgàniques i orgàniques dels lixiviats defineix una matriu que és possible reconèixer en menor o major grau en la contaminació de les aigües subterrànies (SHG).

L'estudi dels lixiviats s'ha realitzat en dos tipus de punts, d'una banda al pou-registre que existeix a la sortida o descàrrega del flux de lixiviats situat aigua avall de l'abocador, just abans de la bassa de lixiviats i d'una altra a partir del mostreig i anàlisi dels pous de lixiviats, situats a la superfície de la part central i occidental de l'abocador. A grans trets aquests dos tipus de lixiviats -pou i bassa- presenten característiques químiques diferents, perquè responen a etapes d'evolució completament diferents. El lixiviats del pou-registre ha experimentat una evolució completa i en el corresponent "screening" i en les analítiques no s'hi trobaren microcontaminants orgànics en concentracions significatives, mentre que en els pous de lixiviats l'espectre de compostos inorgànics i particularment de compostos orgànics observa una enorme diversitat gairebé inabastable. Recordem que els pous de lixiviats estudiats estan situats en una part de l'abocador de gran activitat reactiva relacionada amb l'incendi profund i els processos de piròlisi que s'hi produeixen (metanogènesi incompleta). De pous de lixiviats (o d'extracció de gas metà) n'hi ha varis centenars i segons la seva proximitat amb els processos de biocombustió i piròlisi poden presentar característiques químiques diferents, és a dir, hi ha un fort gradient entre les zones més actives (temperatures més elevades >100 °C) i zones laterals menys actives (veure apartat 9) en conseqüència, ha d'existir una marcada heterogeneïtat en la composició química dels diferents pous de lixiviats.

De les dades dels mostreigs i determinacions analítiques del projecte es poden sintetitzar les observacions següents:

Els valors de les conductivitats dels pous de lixiviats T19, T12 i Bassa de lixiviats són elevats (Taula 8.3), els valors són comparables, però també observen diferències. La conductivitat mitjana de T19 és 50.073 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i la màxima 63.610 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aquest valor és clarament superior al de l'aigua de mar del litoral del Garraf, mentre que els valors mitjans del pou T12 i Bassa de lixiviats són 23.955 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i 31.125 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivament. Així, la mineralització o salinitat és important en tots ells, però, en el contingut iònic i com veurem més endavant en l'orgànic, també hi ha diferències quantitatives de consideració.

Dels ions majoritaris es pot afirmar que els pous T19, T12 i Bassa observen importants concentracions en clorur, sodi i potassi. El pou T19 és el que presenta les màximes concentracions en clorur amb 15.129 mg/L i en sodi amb 8.660 mg/L i unes mitjanes en clorur de 9.786 mg/L i en sodi de 6.380 mg/L. La mitjana en potassi és de 2.068 mg/L i el valor màxim de 3.119 mg/L.

Les concentracions de bicarbonat també són importants en els dos pous de lixiviats T19 i T12 i a la Bassa amb mitjanes de 19.124 mg/L, 9.774 mg/L i 20.662 mg/L, respectivament. El calci té una concentració elevada en el pou T19 amb un màxim de 63.117 mg/L i concentracions molt baixes al pou T12 i Bassa. El magnesi presenta concentracions elevades a la T19 amb un màxim de 1.039 mg/L, però menys importants a T12 i Bassa.

El sulfat és elevat al pou de la T19 amb una mitjana de 990 mg/L, mentre que al pou de la T12 la mitjana és de 232 mg/L, i a la Bassa hi ha un màxim molt baix amb 21 mg/L.

Dels indicadors de contaminació s'ha de remarcar les elevades concentracions en amoni i TOC.

La mitjana d'amoni al pou de lixiviat T19 és de 4.220 mg/L, al pou de lixiviat T12 de 3.223 mg/L i a la Bassa de 2.431 mg/L.

Les concentracions mitjanes de TOC són al pou de lixiviat T19 de 15.922 mg/L, al pou de lixiviat T12 de 1.258 mg/L i a la Bassa: 2.081 mg/L. El valor més elevat en TOC és al pou T19 amb 37.640 mg/L.

Aquestes elevades concentracions en amoni i TOC als lixiviats fan que aquests dos paràmetres tinguin una forta incidència en la contaminació de les aigües subterrànies i, en definitiva, siguin molt bons marcadors de la contaminació que s'observa en els diferents punts d'aigua del sistema hidrogeològic del Garraf.

Els valors també elevats en nitrogen amoniacal als pous T19 i T12 i a la Bassa de lixiviats confirmen els resultats comentats per a l'amoni.

Els valors de fòsfor són elevats als pous de lixiviat T19 i T12 amb mitjanes de 20.853 mg/L i de 14.912 mg/L, respectivament.

Els metalls solubles mereixen una anàlisi detinguda pel caràcter contaminant i tòxic que els caracteritza. Tant els pous de lixiviat T19 i T12 com el pou-registre de la Bassa de lixiviats tenen continguts variables en metalls solubles que és necessari considerar (Taula 8.3).

A T19, T12 i Bassa hi ha concentracions mitjanes considerables en diferents metalls solubles; les mitjanes més elevades són: en estany (T19, 92 µg/L), alumini (Bassa, 4255 µg/L), antimoni (Bassa, 21,6 µg/L), arsènic (Bassa, 248 µg/L), titani (T12, 379 µg/L), vanadi (T12, 246 µg/L), coure (Bassa, 115 µg/L), níquel (T12, 193 µg/L) plom (T19, 125 µg/L), zenc (T19, 296 µg/L), cobalt (T12, 58 µg/L) i crom (T19, 355 µg/L).

Al pou T19 les concentracions en mercuri amb una mitjana de 3,9 µg/L i un màxim de 11 µg/L són molt inferiors a les de quasi tots els metalls esmentats, però, per la seva toxicitat s'han de tenir en consideració.

També s'ha d'insistir en la presència de molibdè al pou T19 amb un màxim de 16 µg/L i de seleni amb un màxim de 17 µg/L. El cadmi hi és en molt baixes concentracions.

Les concentracions mitjanes en ferro (174.271 µg/L), manganés (5.474 µg/L), bor (17.756 µg/L) i bari (1.322 µg/L) són més aviat elevades (pous T19 i T12 i Bassa). El pou T19 observa la concentració màxima en ferro amb 680.000 µg/L.

Dels pous de lixiviats T12 i T19 i de la bassa es disposa de dades dels anys 2019 i 2020 (Taula 8.3) i, concretament de la bassa del 2006 al 2018 (Figura 8.4).

Taula 8.3. a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls als punts de control dels llixiviats entre l'abril de 2019 i el setembre de 2020.

a) PARÀMETRES DE CAMP

	POU T19				POU T12				BASSA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
pH (u.pH)	7,43	5,90	8,56	8	7,80	7,70	7,90	2	8,35	8,30	8,40	2
CONDUCTIVITAT (µS/cm)	50073	41290	63610	8	23955	21800	26110	2	31125	29350	32900	2

b) IONS MAJORITARIS

	POU T19				POU T12				BASSA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
BICARBONATS (mg/L)	19124	11018	27325	7	9774	8174	11374	2	20662	14213	27110	2
CLORURS (mg/L)	9786	5595	15129	7	2993	2810	3175	2				
SULFATS (mg/L)	990	49	1627	7	232	195	268	2		<50	21	2
CALCI (mg/L)	2029	10	6317	7	12	11	13	2		<30	51	2
MAGNESI (mg/L)	417	82	1039	7	35	27	43	2	89	74	103	2
SODI (mg/L)	6380	4960	8660	7	2912	2351	3473	2	3852	3823	3880	2
POTASSI (mg/L)	2068	1472	3119	7	871	741	1001	2	1233	1075	1390	2

c) INDICADORS DE CONTAMINACIÓ

	POU T19				POU T12				BASSA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
AMONI (mg/L)	4220	2340	5901	7	3223	1963	4483	2	2431	1840	3022	2
TOC (mg/L)	15922	2202	37640	8	1253	1192	1314	2	2081	1912	2250	2
NITRATS (mg/L)		<0,5	41,0	7	2,8	2,2	3,4	2		<0,5	2,7	2
NITRITS (mg/L)		<0,05	6,8	8		<0,05	1,4	2		<0,1	0,1	2
NITROGEN AMONICAL (mg/L)	3200	1820	4588	7	1430	1333	1526	2	1890	1430	2350	2
FÒSFOR (µg/L)	20853	1991	29079	5	14912	11187	18637	2				
SILICI (mg/L)	88	65	143	5	25	23	26	2				
SULFURS (mg/L)		<0,05	10,5	7	30,3	17,5	43,0	2		<0,05	0,2	2

d) METALLS

	POU T19				POU T12				BASSA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
ESTANY (µg/L)	92	27	195	5	46	40	51	2				
MERCURI (µg/L)	3,9	0,0	11,0	7	1,4	0,8	1,9	2		1,1	<3	2
ALUMINI (µg/L)	2005	227	9200	7	335	271	398	2	4255,0	460,0	8050,0	2
BARI (µg/L)	1322	765	1930	7	328	249	407	2	615	560	670	2
BOR (µg/L)	17756	1670	58800	7	4340	3636	5043	2		9280	9280	1
CADMI (µg/L)		0,0	<1	7		<1	<1	2		1,0	<50	2
COBALT (µg/L)	52	14	83	5	58	40	75	2				
COURE (µg/L)		<5	333	7		<5	8,0	2	115	29	200	2
CROM (µg/L)	355	50	477	7	332	275	388	2	334	320	347	2
FERRO (µg/L)	174271	3160	680000	8	1049	871	1226	2	8335	2970	13700	2
MANGANÈS (µg/L)	5474	26	20700	8	30	23	36	2	141	70	211	2
NÍQUEL (µg/L)		<50	155	7	193	157	228	2	129	117	140	2
PLOM (µg/L)		<50	125	7		<1	<1	2		<50	21	2
ZINC (µg/L)	296	32	782	7	29	26	31	2	128	106	150	2
ANTIMONI (µg/L)		<10	53	7		<2	5,0	2	21,6	21,2	22,0	2
ARSÈNIC (µg/L)	211	81	327	7	196	195	197	2	248	191	304	2
BERIL-LI (µg/L)		<5	<5	5		<5	<5	2				
MOLIBDÈ (µg/L)		<5	16	5		<5	<5	2				
SELENI (µg/L)		<1	17,0	7		<2	9,0	2		<10	7,0	2
TITANI (µg/L)	170	60	352	5	379	65	692	2				
VANADI (µg/L)	43	29	54	5	246	64	428	2				

Taula 8.4: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls al punt de control de la bassa de lixiviats entre els anys 2006 i 2018.

a) PARÀMETRES DE CAMP

	BASSA 2006-2018			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
pH (u.pH)	8,41	7,32	8,70	35
CONDUCTIVITAT ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	31056	17300	41738	35

b) IONS MAJORITARIS

	BASSA 2006-2018			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
BICARBONATS (mg/L)	12477	1300	20733	26
CLORURS (mg/L)	4110	2537	5892	34
SULFATS (mg/L)		<25	213	25
CALCI (mg/L)	91	37	673	25
MAGNESI (mg/L)	84	56	128	25
SODI (mg/L)	3512	580	4845	22
POTASSI (mg/L)	1503	876	2204	26

c) INDICADORS DE CONTAMINACIÓ

	BASSA 2006-2018			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
AMONI (mg/L)	3017	681	4860	35
TOC (mg/L)	2795	1262	6037	26
NITRATS (mg/L)		<1	5,7	25
NITRITS (mg/L)		<0,03	3,0	24
NITROGEN AMONICAL (mg/L)	1973	529	3378	8
SULFURS (mg/L)		<0,5	53	25

d) METALLS

	BASSA 2006-2018			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
MERCURI (µg/L)		<2	7,0	25
ALUMINI (µg/L)		<300	2900,0	26
BARI (µg/L)		<1000	1900	26
BOR (µg/L)	6911	2900	11000	26
CADMI (µg/L)		<50	300	28
COURE (µg/L)		<100	1950	26
CROM (µg/L)	461	200	1950	28
FERRO (µg/L)	4674	1800	22000	26
MANGANÈS (µg/L)		<100	9000	26
NÍQUEL (µg/L)		<100	400	26
PLOM (µg/L)		<50		28
ZINC (µg/L)		<200	22000	26
ANTIMONI (µg/L)		<100	16700	25
ARSÈNIC (µg/L)		<20	390	27
SELENI (µg/L)		<1	7,0	25

Els lixiviats constitueixen qualitativament la funció d'entrada de la contaminació a l'aqüífer i la seva incorporació al subsòl de naturalesa càrstica per impermeabilització insuficient del substrat carbonàtic i càrstic de l'abocador és palesa, com es comentarà detingudament en l'apartat dedicat a l'abocador de la vall de Joan. Les observacions hidrològiques del carst de la vall de Joan i del sistema càrstic de la Falconera, així com de les aproximacions geofísiques des de la tomografia i la magnetotel·lúrica realitzades a l'abocador i al massís en general corroboren l'impacte dels lixiviats en les aigües subterrànies (Caldwell i Reith, 1993; Freixes, 2014; Geoservei, 2019; Martí et al., 2021).

Dels lixiviats com a font contaminant més important al Garraf s'ha d'insistir en els elevats continguts en matèria orgànica, que ha estat avaluada segons diferents indicadors: DQO, DBO₅ i TOC i també es necessari considerar les elevades concentracions en amoni (NH₄⁺), així mateix constatades per les determinacions en nitrogen amoniacal (NH₃-N). Els continguts en alguns metalls solubles dels lixiviats també es reconeixen en les aigües subterrànies contaminades, per tant, conèixer la càrrega en metalls en els pous de lixiviats i al pou registre de la bassa, és una referència indispensable. Finalment, conèixer els continguts en microcontaminats orgànics dels pous de la T19 i T12 i la definició d'uns marcadors robusts ha estat fonamental.

En darrer terme és molt important remarcar que la composició dels lixiviats pot ser molt diferent segons es consideri una part o altra de l'abocador. En primer lloc és necessari distingir entre el pou registre i els pous de lixiviats (o de gas) i, en segon lloc els pous de lixiviats han de presentar característiques diferents depenent de la seva situació. Els pous de lixiviats situats a la zona de major intensitat dels processos de biocombustió i piròlisi tindran unes característiques composicionals, mentre que els situats a distintes distàncies, presentaran unes composicions diferents segons sigui la major o menor influència del nucli incendiats de l'abocador; també hi pot influir la naturalesa de determinats residus.

En definitiva, existeix un gradient de baix a dalt de l'abocador i també de la parts central a les laterals que s'ha de reflectir en la composició de la diversitat de pous de lixiviats; la termometria il·lustra molt bé el gradient i també els mapes d'isolínies que indiquen una forta variabilitat en les concentracions de CH₄, CO₂, SH₂ i CO (veure apartat 9).

L'abocador es caracteritza per una heterogeneïtat en la distribució i composició dels seus residus i la intensitat dels processos que els afecten (biocombustió i piròlisi) que també es tradueix en una composició diversa dels lixiviats. Les dades de què es disposa només són una primera aproximació a la composició heterogènia dels lixiviats de l'abocador.

8.2.2. Surgències

8.2.2.1. Surgències del front marí de Garraf: Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta

Al front marí del Garraf les tres surgències més importants de tipus temporal situades poc per sobre del nivell del mar són la Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta. Primerament cal remarcar el caràcter càrstic de la surgència de la Falconera amb cabals que poden anar d'uns pocs L/s a 1,5-2 m³/s; el sistema de la Falconera seria l'únic amb un evident funcionament càrstic del Garraf al menys a partir de les dades que actualment es disposa. A Aiguadolç existeixen diversos brolladors (platja, penya-segat, caleta d'Aiguadolç), cadascun dels punts de descàrrega aporta com a molt alguns L/s i el conjunt en situació d'aigües altes aporta un cabal d'algunes desenes de L/s. La surgència de Punta Ginesta també és complexa, és a dir, està formada per diferents brolladors que en conjunt aporten unes desenes de L/s. Es tracta de surgències de tipus temporal amb descàrrega permanent de tipus submarí. El flux és càrstic a la surgència de la Falconera, mentre que a Aiguadolç i Punta Ginesta és més aviat de tipus difús.

La Taula 8.5 mostra els valors màxims, mitjanes i mínims per als paràmetres de camp, ions fonamentals, indicadors de contaminació i metalls solubles comparant les tres surgències.

Taula 8.5: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls a les surgències més importants del front marí del Garraf entre l'abril de 2019 i el setembre de 2020.

a) PARÀMETRES DE CAMP

	FALCONERA 4				FALCONERA 3				FALCONERA 1				AIGUADOLÇ				PUNTA GINESTA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
pH (u.pH)	6,75	6,26	7,09	16	7,20	6,19	7,97	6	7,01	6,91	7,26	6	6,78	6,60	7,18	5	6,89	6,67	7,20	4
CONDUCTIVITAT (µS/cm)	12262	1448	36000	16	29153	4639	58370	6	7092	1632	18680	6	3526	2140	4765	5	7984	7346	9088	4
TEMPERATURA (°C)	19,1	17,6	20,8	16	21,0	18,1	25,5	6	18,6	17,6	19,2	6	19,2	18,3	20,3	5	18,7	18,3	18,9	4
POTENCIAL REDOX (mV)	43,6	-200,2	138,2	16	47,7	-287,0	189,0	6	-88,6	-253,1	70,0	6	69,5	-37,9	122,8	5	131,5	109,8	150,0	4
OXIGEN DISSOLT (mg/L)	3,97	1,25	6,68	11	4,22	1,70	6,65	5	5,01	3,62	6,40	2	4,03	1,46	6,15	5	4,60	2,86	7,29	3

b) IONS MAJORITARIS

	FALCONERA 4				FALCONERA 3				FALCONERA 1				AIGUADOLÇ				PUNTA GINESTA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
BICARBONATS (mg/L)	369	167	561	14	303	127	512	6	400	210	521	5	444	374	573	4	489	403	579	3
CLORURS (mg/L)	6440	244	23100	16	13151	1251	24504	6	2016	259	5767	5	967	843	1117	4	2378	2052	2952	3
SULFATS (mg/L)	938	56	3087	14	1741	202	3205	6	296	66	781	5	189	172	228	4	337	284	423	3
CALCI (mg/L)	229	90	447	14	318	157	452	6	153	105	248	5	134	121	152	4	137	116	157	2
MAGNESI (mg/L)	459	28	1451	14	842	99	1520	6	161	24	473	5	81	76	90	4	155	132	177	3
SODI (mg/L)	3545	141	12246	14	6612	728	11746	6	1233	120	3755	5	510	429	705	4	1196	1061	1331	2
POTASSI (mg/L)	121	7	377	14	230	26	409	6	42	5	118	5	23	20	31	4	57	57	57	2

c) INDICADORS DE CONTAMINACIÓ

	FALCONERA 4				FALCONERA 3				FALCONERA 1				AIGUADOLÇ				PUNTA GINESTA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
AMONI (mg/L)	18,4	0,5	116,0	17	11,9	0,1	46,0	6	20,5	3,9	44,0	6	15,7	7,7	38,5	4	16,9	9,4	22,6	3
TOC (mg/L)	17,4	1,0	70,0	17	13,9	1,3	48,0	6	30,1	11,5	50,1	6	7,6	2,3	21,0	4	5,7	3,4	9,4	3
NITRATS (mg/L)		<1	4,8	15		<50	25,0	5		<2,5	12,2	6		<1	11,0	4		<5	6,9	3
NITRITS (mg/L)		<0,05	6,3	15		<0,05	0,6	6		<0,05	<0,6	2		<0,05	0,1	4		<0,05	0,1	3
NITROGEN AMONICAL (mg/L)	14,2	0,4	90,0	15	9,3	0,1	36,3	6		34,3	34,3	1	4,8	0,2	6,9	4	13,1	7,3	17,6	3
FÒSFOR (µg/L)		<50	700	14		<50	<50	6		<50	600	5		<50	<50	4		<50	500	3
SILICI (mg/L)	2,2	0,3	3,9	14	1,6	0,2	3,5	6	2,7	2,2	3,6	5	3,4	2,9	4,2	4	3,2	2,9	3,4	3
SULFURS (mg/L)		<0,1	6,1	15		<0,1	2,5	6		<0,1	0,6	5		<0,1	<0,1	4		<0,1	<0,1	3

d) METALLS

	FALCONERA 4				FALCONERA 3				FALCONERA 1				AIGUADOLÇ				PUNTA GINESTA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
ESTANY (µg/L)		<5	<5	14		<5	<5	5		<10	<10	4		<5	<5	3		<5	<10	3
MERCURI (µg/L)		<0,2	4,5	11		<0,2	1,3	6		<0,2	<0,2	1		<0,2	0,5	4		<0,2	0,2	2
ALUMINI (µg/L)		<20	48,0	14		<20	<20	6		<20	<100	5		<20	1,5	4		<20	<100	3
BARI (µg/L)	24,0	8,0	37,0	14	16,3	5,0	29,0	6		<50	31,0	5	28,3	20,0	36,0	4		<50	40,0	3
BOR (µg/L)	1540,3	76,0	4637,0	14	2536,8	244,0	4759,0	6		<100	1293,0	5	223,5	191,0	273,0	4	695,7	510,0	849,0	3
CADMI (µg/L)		<1	<5	14		<1	<1	6		<1	<5	5		<1	<1	4		<1	<5	3
COBALT (µg/L)		<1	1,8	11		<1	<1	6		<1	<1	1		<1	3,6	4	3,7	2,2	5,2	2
COURE (µg/L)		<5	20,0	14		<5	24,0	6		<20	8,0	5		<5	<5	4		<5	5,0	3
CROM (µg/L)		<5	5,0	14		<5	<5	6		<20	5,0	5		<5	<5	4		<5	<20	3
ESTRONCI (µg/L)	696,7	430,0	870,0	3					615,0	250,0	930,0	4						770,0	770,0	1
FERRO (µg/L)		<20	300,0	15		<20	188,0	6		<100	110,0	6		<20	156,0	4		<20	<100	3
MANGANÈS (µg/L)	161,4	8,0	399,0	15		<5	394,0	6		<20	170,0	6		<5	1610,0	4		<20	1218,0	3
NÍQUEL (µg/L)		<2	3,0	14		<2	4,0	6		<20	2,0	5		<2	10,0	4		<20	11,0	3
PLOM (µg/L)		<1	<20	14		<1	<1	6		<1	<20	5		<1	<1	4		<1	<20	3
ZINC (µg/L)		<5	43,0	14		<5	9,0	6		<5	<50	5		<5	<5	4		<5	<50	3
ANTIMONI (µg/L)		<2	4,7	15		<2	3,0	6		<2	<5	5		<2	5,0	4		<2	<5	3
ARSÈNIC (µg/L)		<2	18,0	15		<2	9,0	6		<20	8,0	5		<2	9,0	4		<2	<20	3
BERIL·LI (µg/L)		<5	<10	15		<5	<5	6		<5	<10	5		<5	<5	4		<5	<10	3
MOLIBDÈ (µg/L)		<5	17,0	15		<5	16,0	6		<5	<20	5		<5	7,0	4		<5	<20	3
SELENI (µg/L)		<2	15,0	15		<2	14,0	6		<2	<20	5		<2	1,6	4		<2	<20	3
LITI (µg/L)		<10	20,0	3						<10	20,0	4						40,0	40,0	1
TITANI (µg/L)		<5	23,3	15		<2	9,9	6		<5	11,1	5		<5	3,1	4		<5	<5	3
VANADI (µg/L)		<5	15,3	15		<2	<5	6		<10	5,0	5		<5	3,2	4		<5	<20	3

8.2.2.2. Surgència de la Falconera

A la surgència de la Falconera s'han mostregjat sis punts diferents: F0, F1, F2, F3, F4 i F5, però els mostreigs sistemàtics del programa del cicle hidrològic (2019-2020) s'han realitzat en F1 i F3, que en determinades situacions es poden considerar equivalents, i a F4 (pou Eusebi), que és una finestra artificial que connecta amb la zona saturada (veure apartat 6.2) i es mostreja habitualment a partir del bombament que es fa des del pou Eusebi. L'interès d'F4 o pou Eusebi és que es tracta d'un punt que ha format part de la infraestructura de control de l'abocador des de fa molts anys i es disposa de dades històriques.

Els resultats analítics a la surgència de la Falconera observen sistemàticament la influència de la salinitat de l'aigua de mar. Aquesta influència d'una banda es pot produir a partir de la incidència de l'onatge a l'interior de la surgència o bé per l'existència d'un flux d'aigua marina cap a l'interior de l'aquífer i d'una altra banda perquè en el flux de la descàrrega càrstica, fins i tot en els moments que l'energia de la resposta és més elevada (cabals entre 1,5 m³/s i 2 m³/s) sempre una part de la mineralització respon a la salinitat de l'aigua de mar. La dilució que introdueix la recàrrega és molt important, però a la descàrrega sempre hi ha una salinitat d'origen marí que està relacionada amb la intrusió marina. Això és una conseqüència de la importància que té la intrusió marina en el sistema càrstic de la Falconera, doncs el considerable

desenvolupament de l'estructura de drenatge afavoreix que l'aigua salada s'endinsi fins a parts molt internes (aigua amunt) de l'aquífer.

La temperatura de l'aigua a la surgència, a part d'informar de la temperatura del flux de descàrrega, ens indica la major o menor influència de la aigua de mar a l'interior de l'estructura de drenatge. Les temperatures més elevades: 25,5 °C (en el període d'estiu) tenen a veure amb una incidència marina més marcada amb conductivitats pròpies d'aigua de mar: 58.830 $\mu\text{S/cm}$.

Les conductivitats mitjanes a la Falconera són elevades: F4 (12.262 $\mu\text{S/cm}$), F3 (29.153 $\mu\text{S/cm}$) i a F1 (7.090 $\mu\text{S/cm}$) i indiquen la influència de l'aigua de mar. Mentre que els valors mínims a F1 i F4 amb 1.632 $\mu\text{S/cm}$ i 1.448 $\mu\text{S/cm}$, respectivament, són un reflex de la mineralització de l'aigua en plena descàrrega càrstica.

Els valors màxims dels ions clorur, sodi i potassi estan en estreta relació amb la influència de l'aigua de mar. Els clorurs màxims són a F4: 23.100 mg/L, a F3: 24.504 mg/L i a F1: 5.767 mg/L; aquest valor de F1, molt inferior als de F3 i F4, respon a la incidència de les aigües de la descàrrega càrstica en aquest punt. Amb els valors de sodi i potassi succeeix el mateix.

Les concentracions mitjanes en potassi són tant a F4 (121 mg/L), a F3 (230 mg/L) com a F1 (118 mg/L) explicables a partir de la influència de les aigües càrstiques que aporta el sistema de la Falconera, mentre que els valors mínims (F4: 7 mg/L, F3: 26 mg/L i F1: 5 mg/L) són molt baixos i tot que és evident l'efecte de dilució de l'aportació càrstica, són difícils d'interpretar. Com es veurà més endavant a l'aquífer epicàrstic de la Font de les Piques el valor màxim analitzat de potassi és inferior a 1 mg/L.

Els valors màxims de sulfats també observen valors que s'apropen als valors de l'aigua de mar (F4: 3087 mg/L, F3: 3205 mg/L), mentre que els 781 mg/L d'F1 expressen la influència de la descàrrega càrstica i segurament el desenvolupament de processos sulfatoreducció.

Les dades dels indicadors de contaminació a les surgències del sistema hidrogeològic del Garraf tenen un interès rellevant en el coneixement de l'impacte dels lixiviats. Els indicadors de major interès són l'amoni i el TOC.

A la surgència de la Falconera els valors de les mitjanes en amoni s'han de considerar importants en els tres punts de mostreig: F4: 18,4 mg/L, F3: 11,9 mg/L i F1: 20,5 mg/L. Les determinacions en nitrogen amoniacal registren concentracions elevades i confirmen els resultats obtinguts en l'amoni.

El valors de les mitjanes en TOC són a F4: 17,4 mg/L, a F3: 13,9 mg/L i a F1: 30,1 mg/L.

De metalls solubles és disposa de dades dels punts F1, F3 i F4 de la surgència de la Falconera. Els valors màxims mesurats són:

Mercuri: 4,5 $\mu\text{g/L}$, alumini: 48 $\mu\text{g/L}$, el cobalt: 1,8 $\mu\text{g/L}$, coure: 20 $\mu\text{g/L}$, crom: 5 $\mu\text{g/L}$, níquel: 3 $\mu\text{g/L}$, zenc: 43 $\mu\text{g/L}$, antimoni: 4,7 $\mu\text{g/L}$, arsènic 18 $\mu\text{g/L}$, molibdè: 17 $\mu\text{g/L}$; seleni: 15 $\mu\text{g/L}$, liti: 20 $\mu\text{g/L}$, titani 23,3 $\mu\text{g/L}$ i vanadi 15 $\mu\text{g/L}$, ferro: 300 $\mu\text{g/L}$ i manganès: 399 $\mu\text{g/L}$.

Aquests valors són il·lustratius de la incidència dels lixiviats en les aigües del sistema càrstic de la Falconera; alguns estan per sobre dels valors fixats per les normatives i en el cas dels metalls, que no tenen fixat un límit, tampoc s'hi haurien de trobar en les concentracions determinades per les anàlisis.

8.2.2.3. Surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta

Les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta estan situades als extrems occidental i oriental respectivament del front litoral marí que defineixen les costes del Garraf. Ambdues observen un funcionament temporal i no és senzill disposar d'una explicació sobre quin és el procés o mecanisme que determina i origina el seu funcionament. La incidència de la intrusió marina és menor a Aiguadolç i més marcada a Punta Ginesta, però en ambdues és molt inferior a la que presenta la surgència de la Falconera. I això es tradueix molt bé en els valors de les mitjanes de clorur, sodi, potassi i sulfat de les dues surgències.

A Aiguadolç la mitjana en clorur és 967 mg/L, la de sodi és 510 mg/L, la de potassi és 23 mg/L i la de sulfat és 189 mg/L. Mentre que a Punta Ginesta aquests valors són significativament superiors: la mitjana en clorur és 2.378 mg/L, la de sodi és 1.196 mg/L, la de potassi és 57 mg/L i la de sulfat és 337 mg/L.

Les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta, com succeeix a la Falconera, també observen contaminació en amoni i TOC. Els valors d'amoni tenen unes mitjanes de 15,7 mg/L a Aiguadolç i de 16,9 mg/L a Punta Ginesta i, encara que inferiors, són comparables amb els obtinguts a la Falconera. Mentre que els valors de les mitjanes en TOC de 7,6 mg/L a Aiguadolç i de 5,7 mg/L a Punta Ginesta, tot i que cal que es tinguin en consideració des del punt de vista de la contaminació, són significativament inferiors als de la Falconera.

El valors d'amoni d'Aiguadolç i Punta Ginesta han estat confirmats per les determinacions realitzades en nitrogen amoniacal.

Els valors d'amoni i TOC registrats a les surgències d'Aiguadolç i de Punta Ginesta, per les seves implicacions en la qualitat de l'aigua en particular i ambientals en general, s'han de tenir en consideració.

Els metalls solubles a Aiguadolç són els següents:

Mercuri: 0,5 µg/L, alumini: 1,5 µg/L, el cobalt: 3,6 µg/L, coure: <5 µg/L, crom: <5 µg/L, níquel: 10 µg/L, zenc: <5 µg/L, antimoni: 5 µg/L, arsènic: 9 µg/L, molibdè: 7 µg/L; seleni: 1,6 µg/L, titani: 3,1 µg/L i vanadi 3 µg/L, ferro: 156 µg/L i manganès: 1610 µg/L.

Els metalls solubles a Punta Ginesta són els següents:

Mercuri: 0,2 µg/L, cadmi: < 1 µg/L, cobalt: 5,2 µg/L, níquel: 11 µg/L, antimoni: < 5 µg/L, liti: 40 µg/L, titani: < 5 µg/L, ferro: 156 µg/L i manganès: 1610 µg/L. L'alumini, el coure, el crom, zenc, seleni, vanadi, molibdè i arsènic sempre estan per sota els límits de detecció (veure taula 8.5).

8.2.3. Epicarst

L'aqüífer epicàrstic estudiat en el cicle hidrològic 2019-2020 és el de la font de les Piques (Taula 8.6), surgència de molt poc cabal que arriba a assecar-se, situada al nord de la plana Novella. La conductivitat és la més baixa de tots els punts d'aigua mostrejats (juntament amb el PZ Pitxot) en l'estudi realitzat al Garraf amb una mitjana de 604 µS/cm. Les mitjanes dels components de l'equilibri calcocarbònic són: bicarbonat (249 mg/L), calci (83 mg/L) i magnesi (2,1 mg/L). La mitjana en sulfat és 11,1 mg/L. El clorur té un màxim de 16,8 mg/L i el sodi una mitjana de 6,2 mg/L. Es tracta de les aigües menys mineralitzades de la diversitat de punts d'aigua mostrejats i analitzats al Garraf.

L'amoni té un màxim de 0,3 mg/L i el TOC de 2,1 mg/L.

Els metalls solubles a l'epicarst de la font de les Piques estan pràcticament tots per sota del límits de detecció de les metodologies analítiques emprades i elements com el mercuri, antimoni i arsènic estan per sota dels límits normatius.

Els punts d'aigua dels aquífers epicàrstics no poden presentar, ni contaminació originada per l'abocador, ni tampoc cap influència de la intrusió marina. La seva situació a la part superior de la zona no saturada de materials carbonàtics del Cretaci i Juràssic, que formen l'aquífer els aïlla completament de la influència d'ambdues fonts "contaminants".

Taula 8.6: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls a les surgències més importants del front marí del Garraf entre abril de 2019 i setembre de 2020.

a) PARÀMETRES DE CAMP					b) IONS MAJORITARIS			
					FONT DE LES PIQUES			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
pH (u.pH)	7,49	7,04	8,18	6	BICARBONATS (mg/L)			
					249	116	384	4
CONDUCTIVITAT (µS/cm)	604	590	621	6	CLORURS (mg/L)			
						<25	16,8	4
TEMPERATURA (°C)	17,3	15,3	20,6	6	SULFATS (mg/L)			
					11,1	10,2	13,0	4
POTENCIAL REDOX (mV)	81,6	10,4	199,0	6	CALCI (mg/L)			
					83	41	131	6
OXIGEN DISSOLT (mg/L)	4,97	1,98	6,48	4	MAGNESI (mg/L)			
					2,1	1,8	2,3	6
					SODI (mg/L)			
					6,2	5,9	6,9	6
					POTASSI (mg/L)			
						0,0	<1	6

c) INDICADORS DE CONTAMINACIÓ				
	FONT DE LES PIQUES			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
AMONI (mg/L)		<0,1	0,3	4
TOC (mg/L)		<2	2,1	4
NITRATS (mg/L)		<1	<3	4
NITRITS (mg/L)				
NITROGEN AMONICAL (mg/L)				
FÒSFOR (µg/L)		<50	600	4
SILICI (mg/L)	2,2	2,0	2,6	4
SULFURS (mg/L)		<0,1	<0,1	4

d) METALLS

	FONT DE LES PIQUES			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
ESTANY (µg/L)		<5	<10	3
MERCURI (µg/L)		<0,2	<0,2	2
ALUMINI (µg/L)		<20	<100	4
BARI (µg/L)		<50	8,0	4
BOR (µg/L)		<50	<100	4
CADMI (µg/L)		<1	<5	4
COBALT (µg/L)		<1	<1	2
COURE (µg/L)		<5	<20	4
CROM (µg/L)		<5	<20	4
ESTRONCI (µg/L)	60,0	50,0	70,0	2
FERRO (µg/L)		<20	<100	4
MANGANÈS (µg/L)		<5	<20	4
NÍQUEL (µg/L)		<2	<20	4
PLOM (µg/L)		<1	<20	4
ZINC (µg/L)		<5	<50	4
ANTIMONI (µg/L)		<2	<5	4
ARSÈNIC (µg/L)		<2	<20	4
BERIL·LI (µg/L)		0,0	<5	4
MOLIBDÈ (µg/L)		<5	<20	4
SELENI (µg/L)		<2	<20	4
LITI (µg/L)		<10	<10	2
TITANI (µg/L)		<5	<5	4
VANADI (µg/L)		<5	<20	4

8.2.4. Pous Carbó, Samitier, Fontanillas i UTE

Les dades que se sintetitzen a continuació corresponen a dos pous amb una significativa incidència de la contaminació per lixiviats: Carbó i Samitier i a dos pous en què aquesta influència és menor, però que com veurem és necessari tenir en consideració: Fontanillas i UTE (Taula 8.7). El mapa de punts d'aigua facilita la situació del quatre pous: Samitier i UTE a Vallcarca i relativament a prop de la línia de costa, el pou Carbó

al SE de la plana Novella i el pou Fontanillas a la plana de Campdàsens (Figura.8.1). Es tracta o tractava de pous d'abastament d'aigua potable amb usos complementaris de tipus ramader com l'abeurament de bestiar en el cas del pou Samitier; el pou UTE és un pou de servei de les pedreres de Vallcarca.

D'aquests quatre pous n'hi ha dos: Samitier i UTE, situats a Vallcarca, que reben una major influència de la intrusió marina com es pot veure amb les dades de les mitjanes de clorur, sodi, potassi i sulfat. Al pou Samitier les mitjanes són les següents: clorur: 718 mg/L, sodi: 352 mg/L, potassi: 10,1 mg/L i sulfat: 135 mg/L (Figura 8.3).

Al pou UTE les mitjanes són les següents: clorur: 1.381 mg/L, sodi: 829 mg/L, potassi: 15 mg/L i sulfat: 450 mg/L.

Al pou Samitier l'amoni té una mitjana de 3,1 mg/L i un màxim de 9 mg/L i el TOC té una mitjana de 3,3 mg/L i un màxim de 19,5 mg/L.

Al pou Carbó l'amoni té una mitjana de 3,7 mg/L i un màxim de 14,1 mg/L i el TOC té una mitjana de 2,5 mg/L i un màxim de 7,6 mg/L.

En els pous Samitier i Carbó les concentracions en nitrogen amoniacal verifiquen els resultats analítics de l'amoni.

Taula 8.7: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls als pous Carbó, Samitier, Fontanillas i UTE entre l'abril de 2019 i el setembre de 2020.

a) PARÀMETRES DE CAMP

	POU CARBÓ				POU SAMITIER				POU FONTANILLAS				POU UTE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
pH (u.pH)	7,21	7,06	7,44	11	7,12	6,91	7,41	11	7,19	6,95	7,45	8	7,24	7,04	7,52	8
CONDUCTIVITAT (µS/cm)	2140	1607	2893	11	3486	1375	4675	11	1728	1643	1848	8	4666	3743	6514	8
TEMPERATURA (°C)	20,0	19,1	21,0	11	19,1	16,0	23,1	11	16,2	11,8	19,1	8	18,1	15,1	21,1	8
POTENCIAL REDOX (mV)	-12,4	-67,6	56,8	10	92,8	-0,9	237,0	10	80,0	32,2	158,0	8	71,7	60,2	103,1	8
OXIGEN DISSOLT (mg/L)	3,72	2,20	5,29	6	2,61	0,04	8,15	8	1,74	0,02	7,84	7	5,46	1,19	7,37	6

b) IONS MAJORITARIS

	POU CARBÓ				POU SAMITIER				POU FONTANILLAS				POU UTE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
BICARBONATS (mg/L)	348	153	553	10	334	171	409	10	259	238	279	8	288	235	363	8
CLORURS (mg/L)	459	312	573	10	719	174	1180	10	433	315	484	8	1381	772	1809	8
SULFATS (mg/L)	93	64	121	10	136	89	217	10	34	28	38	8	450	380	525	8
CALCI (mg/L)	109	42	153	10	155	71	178	10	167	150	187	8	205	25	252	8
MAGNESI (mg/L)	43	28	55	10	59	27	84	10	38	29	42	8	97	73	115	8
SODI (mg/L)	237	156	340	10	352	95	607	10	119	92	145	8	829	411	1079	8
POTASSI (mg/L)	9,0	6,8	14,0	10	10,1	1,9	19,0	10	2,2	2,0	2,4	8	15	12	19	8

c) INDICADORS DE CONTAMINACIÓ

	POU CARBÓ				POU SAMITIER				POU FONTANILLAS				POU UTE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
AMONI (mg/L)	3,7	0,4	14,1	11	3,1	0,2	9,0	11	0,2	0,1	0,6	8	0,2	0,1	0,4	8
TOC (mg/L)	2,5	0,7	7,6	11	3,3	0,7	19,5	11	3,2	0,5	19,3	8	3,1	0,7	18,3	8
NITRATS (mg/L)	6,0	2,9	8,8	11	16,1	3,4	37,1	11	23,1	21,0	26,0	8	<1	19,0	8	
NITRITS (mg/L)		<0,05	1,3	11		<0,05	0,5	11		<0,05	<0,5	8		<0,05	0,1	8
NITROGEN AMONICAL (mg/L)	3,1	0,3	11,0	10	2,6	0,2	7,0	10		<0,1	0,5	8	0,1	0,1	0,3	8
FÒSFOR (µg/L)		<50	500	10		<50	800	10		<50	60	8		<50	<200	8
SILICI (mg/L)	3,0	2,5	3,9	10	4,0	3,5	4,7	10	5,2	4,6	5,8	8	4,7	3,8	5,7	8
SULFURS (mg/L)		<0,1	<0,1	10		<0,1	<0,1	10		<0,1	<0,1	8		<0,1	<0,1	8

d) METALLS

	POU CARBÓ				POU SAMITIER				POU FONTANILLAS				POU UTE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
ESTANY (µg/L)	<5	<10	9		<5	<10	9		<5	<10	7		<5	<10	7	
MERCURI (µg/L)	<0,2	0,8	7		<0,2	0,3	8		<0,2	0,5	7		<0,2	0,4	7	
ALUMINI (µg/L)	<20	<100	10		<20	<100	10		<20	<100	8		<20	<100	8	
BARI (µg/L)	<50	30,0	10		<50	94,0	10		<50	97,0	8		<50	70,0	8	
BOR (µg/L)	<100	138,0	10		<100	234,0	10		<100	145,0	8		<100	236,0	8	
CADMI (µg/L)	<1	<5	10		<1	<5	10		<1	<5	8		<1	<5	8	
COBALT (µg/L)	<1	1,8	7		<1	<1	8		<1	<1	7		<1	<1	7	
COURE (µg/L)	<5	<20	10		<5	<20	10		<5	<20	8		<5	<20	8	
CROM (µg/L)	<5	<20	10		<5	<20	10		<5	<20	8		<20	23,0	8	
ESTRONCI (µg/L)	486,7	280,0	780,0	3	645,0	540,0	750,0	2		950,0	950,0	1			0	
FERRO (µg/L)	<20	1170,0	11		<20	25,0	11		<20	<100	8		<20	<100	8	
MANGANÈS (µg/L)	<20	199,0	11		<5	109,0	11		<5	75,0	8		<5	<20	8	
NÍQUEL (µg/L)	<2	2,0	10		<2	6,0	10		<2	6,0	8		<2	<20	8	
PLOM (µg/L)	<1	1,2	10		<1	<20	10		<1	<20	8		<1	<20	8	
ZINC (µg/L)	<50	830,0	10		<50	144,0	10	181,4	7,0	481,0	8		<5	8,0	8	
ANTIMONI (µg/L)	<2	<5	10		<2	<5	10		<2	<5	8		<2	<5	8	
ARSÈNIC (µg/L)	<2	<20	10		<2	<20	10		<2	<20	8		<2	<20	8	
BERIL-LI (µg/L)	<5	<10	10		<5	<10	10		<5	<10	8		<5	<10	8	
MOLIBDÈ (µg/L)	<2	<20	10		<2	<20	10		<2	<20	8		<2	<20	8	
SELENI (µg/L)	<2	<20	10		<2	<20	10		<2	<20	8		<2	9,0	8	
LITI (µg/L)	<10	<10	3		<10	10,0	2		20,0	20,0	1		<10	<10	1	
TITANI (µg/L)	<2	<5	10		<2	<5	10		<2	<10	8		<2	<20	8	
VANADI (µg/L)	<2	<20	10		<2	<20	10		<2	<20	8		<2	<10	8	

Al pou Fontanillas la mitjana en amoni és de 0,2 mg/L i el màxim de 0,6 mg/L. La mitjana en TOC és 3,2 mg/L i el valor màxim 19,3 mg/L. Al pou UTE, la mitjana d'amoni és 0,2 mg/L i la mitjana en TOC és 3,1 mg/L i el valor màxim en TOC de 18,3 mg/L.

Els pous Carbó i Samitier observen una clara contaminació en amoni i TOC, i encara que la contaminació dels pous Fontanillas i UTE és menys important, puntualment hi ha concentracions en TOC, que cal tenir en consideració. Així al pou Fontanillas hi ha més que indicis de contaminació amb concentracions d'amoni de 0,6 mg/L i de TOC de 19,3 mg/L i com es veurà més endavant també hi ha microcontaminants orgànics: Bisfenol A, i al pou UTE també hi ha TOC en concentracions elevades i presència de microcontaminats orgànics.

Molt a prop del pou Samitier hi ha el pou Mas Quadrell nº 8 o Migheil, que també presenta contaminació en amoni i TOC .

Els metalls solubles màxims al pou Carbó son els següents:

Mercuri: 0,8 µg/L; bari: 30 µg/L; bor: 138 µg/L; cobalt: 1,8 µg/L; estronci 780 µg/L, ferro: 1.170 µg/L; manganés: 199 µg/L; níquel 2 µg/L; plom 1,2 µg/L; zenc: 830 µg/L. L'estany, alumini, cadmi, coure, crom, antimoni, arsènic, beril·li, molibdè, seleni, liti, titani i vanadi son inferiors al límit de detecció.

Els metalls solubles màxims al pou Samitier son els següents:

Mercuri: 0,3 µg/L; bari: 94 µg/L; bor: 234 µg/L; cobalt: 1,8 µg/L; estronci: 759 µg/L; ferro: 25 µg/L; manganés: 109 µg/L; níquel 6 µg/L; zenc: 144 µg/L. i liti: 10 µg/L. L'estany, alumini, cadmi, cobalt, coure, crom, plom, antimoni, arsènic, beril·li, molibdè, seleni, titani i vanadi són inferiors al límit de detecció.

Els metalls solubles màxims al pou Fontanillas són els següents:

Mercuri: 0,5 µg/L; bari: 97 µg/L; bor: 145 µg/L; estronci: 950 µg/L; manganés: 75 µg/L; níquel 6 µg/L; zenc: 481 µg/L. i liti: 20 µg/L. L'estany, alumini, cadmi, cobalt, coure, crom, ferro, plom, antimoni, arsènic, beril·li, molibdè, seleni, titani i vanadi són inferiors al límit de detecció.

Els metalls solubles màxims al pou UTE són els següents:

Mercuri: 0,4 µg/L; bari: 70 µg/L; bor: 236 µg/L; crom: 23 µg/L; zenc: 8 µg/L i seleni: 9 µg/L. L'estany, alumini, cadmi, cobalt, coure, ferro, plom, antimoni, arsènic, beril·li, molibdè, titani i vanadi són inferiors al límit de detecció.

La taula 8.8 amb TOC i amoni facilita la comparació dels pous Carbó, Samitier, UTE, Fontanilles, Can Planas i Vell. Té l'interès de constatar que els mesos de juny i juliol de 2020 els valors del TOC augmenten significativament en els pous de Samitier, UTE i Fontanillas (entre 18,3 i 19,5 mg/L) coincidint també amb l'elevat TOC: 29,9 mg/L de juny de 2010 del pou de la Comissaria de Sitges (descàrrega a la plana quaternària de Sitges).

Taula 8.8: Amoni i TOC als diferents pous mostrejats. Síntesi comparativa.

		Amoni (mg/L)	TOC (mg/L)			Amoni (mg/L)	TOC (mg/L)		
Pou Carbó	21/05/2019	1,4	0,9	Samitier	09/04/2019	0,22	0,71		
	23/07/2019	1,3	0,7		29/05/2019	3,02	2,1		
	26/09/2019	1,3	0,9		23/07/2019	3,49	1,7		
	24/10/2019	9,64	4,3		26/09/2019	4,1	2		
	20/11/2019	14,1	7,6		29/10/2019	3,05	1,5		
	16/12/2019	7,6	3,3		20/11/2019	9	4,1		
	18/02/2020	1	0,9		16/12/2019	1,63	1		
	04/05/2020	1,4	4,4		25/02/2020	5,34	1,3		
	27/05/2020	0,4	1		27/05/2020	<0,1	1		
	14/07/2020	1,3	2,1		16/07/2020	0,3	19,5		
	29/09/2020	1	1		29/09/2020	0,4	1		
			Amoni (mg/L)		TOC (mg/L)			Amoni (mg/L)	TOC (mg/L)
Pou Vell	21/05/2019	0,84	0,6	UTE	16/05/2019	0,28	1,6		
	23/07/2019	0,28	0,25		23/07/2019	0,18	0,7		
	26/09/2019	0,15	0,8		26/09/2019	0,15	0,8		
	24/10/2019	0,18	0,6		24/10/2019	0,14	0,9		
	20/11/2019	0,33	0,7		19/11/2019	0,14	0,7		
	16/12/2019	0,37	0,7		17/12/2019	0,39	1,2		
	21/07/2020	0,05	1		25/02/2020	0,09	0,9		
	29/09/2020	0,1	1		22/06/2020	0,1	18,3		
			Amoni (mg/L)		TOC (mg/L)			Amoni (mg/L)	TOC (mg/L)
	Can Planes	09/04/2019	0,17		0,93	Fontanilles	29/05/2019	0,15	0,8
15/07/2019		0,19	0,9	23/07/2019	0,58		0,6		
18/02/2020		1,93	0,5	26/09/2019	0,13		0,8		
26/05/2020		0,8	5	24/10/2019	0,19		2,1		
20/07/2020		0,3	2,8	20/11/2019	0,14		1		
30/09/2020		0,2	17	16/12/2019	0,26		0,6		
				25/02/2020	0,22		0,5		
			22/06/2020	0,05	19,3				

8.2.5. Xarxa Piezomètrica Antiga

En aquesta xarxa de control hi havia punts situats al sud de l'abocador: pou de la pedrera de Punta Ginesta i pou Rat Penat, al sud-oest: Falconera 4 (o pou Eusebi), al sud-est: pou de Castelldefels i a l'est: font de la Xatarra (la Sentiu) i pou de Can Barri.

Les dades històriques de la xarxa d'observació antiga aporten informació de referència i permeten constatar per a un període de quasi 20 anys l'existència de contaminació relacionada amb l'abocador de la vall de Joan en determinats punts d'observació, particularment a Falconera 4 (o pou Eusebi) (calcàries del Cretaci). Per la complementaritat amb la surgència de Punta Ginesta és necessari referir els pous de Punta Ginesta (calcàries del Cretaci) i Rat Penat (dolomies del Juràssic). A continuació s'expliquen les dades històriques de Falconera 4 (1999-2018), pou de Punta Ginesta (1999-2009) i pou Rat Penat (1999-2002).

Les dades del període 1999-2018 del punt F4 (o pou Eusebi) de la surgència de la Falconera aporten informació geoquímica i de la contaminació del tot coherent amb l'obtinguda en el marc d'aquest projecte els anys 2019 i 2020. A remarcar de nou la forta incidència de la intrusió marina en aquest sistema càrstic amb valors màxims de conductivitat de 55.130 µS/cm, clorurs de 23.707 mg/L, sodi de 11.970 mg/L, potassi de 445 mg/L i sulfat de 3.196 mg/L propis d'aigua de mar. També hi ha una presència important dels marcadors amoni i TOC. L'amoni amb una mitjana de 14,2 mg/L i un màxim de 43 mg/L. El TOC amb una mitjana de 5,5 mg/L i un màxim de 14 mg/L. (Taula 8.9).

En el pou de la pedrera de Punta Ginesta s'observa una incidència important de la intrusió marina (clorurs: 4.301 mg/L i sodi: 1.807 mg/L). L'amoni presenta un màxim de 0,3 mg/L, per sota de la normativa, i un TOC amb un màxim de 3 mg/L.

El pou Rat Penat, observa una influència menor de la intrusió marina, un amoni amb un màxim de 0,1 mg/L i un TOC amb un màxim de 3 mg/L

Taula 8.9: Resultats dels paràmetres analitzats a l'antiga xarxa de control.

	FALCONERA 4 (1999-2018)				PUNTA GINESTA (1999-2009)				RAT PENAT (1999-2002)			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
pH (u.pH)	7,21	6,60	8,30	154	7,38	6,60	8,78	54	7,43	7,13	7,91	23
CONDUCTIVITAT (µS/cm)	11316	1036	55130	156	2898	349	13359	54	889	349	1577	23
BICARBONATS (mg/L)	402	227	590	27	366	288	462	5	354	354	354	1
CLORURS (mg/L)	3610	160	23707	156	737	34	4301	54	121	34	279	23
SULFATS (mg/L)	545	8	3196	48	159	35	549	8	53	35	75	4
CALCI (mg/L)	218	130	523	32	127	70	234	8	101	70	129	4
MAGNESI (mg/L)	218	43	1318	32	71	18	227	8	28	18	38	4
SODI (mg/L)	1640	221	11970	32	442	21	1807	8	54	21	84	4
POTASSI (mg/L)	61	0,1	445	40	11	0,4	77	16	1,5	0,4	2,9	10
AMONI (mg/L)	14,2	0,5	43,0	33		<0,1	0,1	8		<0,1	0,1	4
TOC (mg/L)	5,5	0,0	14,0	40		<5	3,0	16		<1	3,0	10
NITRATS (mg/L)		<1	32,9	46		<10	11,0	8	6,8	3,5	9,6	4
NITRITS (mg/L)		<0,03	2,40	30		<0,1	0,20	8		<0,01	0,03	4
SULFURS (mg/L)		<0,007	0,10	28		<0,1	0,12	8		<0,1	<0,1	4

8.2.6. Nous piezòmetres: PZ Vallgrassa, PZ Pleta, PZ Pitxot, PZ Abocador SE i PZ Teix

En el marc del projecte s'han excavat cinc nous piezòmetres. Algunes de les seves característiques constructives bàsiques es presenten a la taula 8.10. La seva ubicació es pot observar a la Figura 8.1.

Taula 8.10. Característiques constructives bàsiques dels nous piezòmetres.

TOPÒNIM	MUNICIPI	UTM X	UTM Y	COTA Z (msnm)	DATA CONSTR.	FONDÀRIA POU (m)	DIÀM. TUB extern/intern (mm)	TRAM RAN. (m)	BOMBA	PROF. SENS. NIVELL (m)
Pz. Vallgrassa	BEGUES	405931	4571078	279,5	Oct/2019	416,0	193/185/4	288-408	GRUNDFOS SP5-75N de 7.5 Kw	395,0
Pz. La Pleta	SITGES	409151	4569769	341,5	Set-Oct/2019	487,0	193/185/4	363-483	GRUNDFOS SP7-86N de 11 kW	437,0
Pz. El Teix	BEGUES	409999	4572901	474,0	Ago-Set/2020	330 (185)	168/160/4 114/107/3,5 sense tub	35-180	-	No hi ha sensor de nivell instal·lat
Pz. Abocador SE	GAVÀ	411247	4571793	203,0	Jul-Ago/2020	310	193/185/4 sense tub	130-160	GRUNDFOS SP7A-31 de 4 Kw	164,0
Pz. El Pitxot	SITGES	408370	4570656	483,0	Set-Oct/2020	593,0	250/240/5 (de 0-180 m) 193/185/4	475-485 500-530 550-593	GRUNDFOS SP7A-100 de 13 Kw	544,0

A continuació és faciliten els resultats de les dades de camp, ions fonamentals, indicadors de contaminació i metalls solubles dels piezòmetres de Vallgrassa, Pleta, Pitxot i Abocador SE (Taula 8.11).

Taula 8.11: a) Paràmetres de camp; b) Ions majoritaris; c) Indicadors de contaminació i d) Metalls als piezòmetres excavats en el marc del projecte.

a) PARÀMETRES DE CAMP

	VALLGRASSA				LA PLETA				PITXOT				ABOCADOR SE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
pH (u.pH)	7,31	7,09	7,46	4	7,12	7,00	7,24	2	7,07			1	7,02			1
CONDUCTIVATAT (µS/cm)	1085	825	1474	4	1137	1071	1203	2	598			1	1498			1
TEMPERATURA (°C)	18,8	17,8	19,4	4	17,5	17,1	17,9	2								
POTENCIAL REDOX (mV)	-59,0	-75,1	-45,6	3	2,8	2,8	2,8	1	-101,1			1	-72,7			1
OXIGEN DISSOLT (mg/L)		1,12	1,12	1												

b) IONS MAJORITARIS

	VALLGRASSA				LA PLETA				PITXOT				ABOCADOR SE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
BICARBONATS (mg/L)	240	143	409	4	296	159	440	4	147			1	197			1
CLORURS (mg/L)	166	78	295	4	177	120	244	4	18,5			1	153			1
SULFATS (mg/L)	32	19	45	4	49	33	65	4	22,3			1	290			1
CALCI (mg/L)	84	48	124	4	103	81	129	4	71,8			1	174			1
MAGNESI (mg/L)	30	19	41	4	27	23	33	4	23,2			1	68,8			1
SODI (mg/L)	52	23	77	4	66	39	93	4	19,9			1	70,2			1
POTASSI (mg/L)	1,6	1,2	1,9	4	2,7	1,9	3,2	4	1,31			1	4,06			1

c) INDICADORS DE CONTAMINACIÓ

	VALLGRASSA				LA PLETA				PITXOT				ABOCADOR SE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
AMONI (mg/L)	1,3	0,3	3,6	4	0,9	0,3	2,0	4	0,011			1	0,42			1
TOC (mg/L)	1,0	1,0	1,1	4	5,8	1,0	11,6	4	4,2			1	2,88			1
NITRATS (mg/L)		<3	2,8	4		<1	<3	4	<0,5			1	20,6			1
NITRITS (mg/L)		<0,05	<0,6	4		<0,05	<0,6	4								
NITROGEN AMONIACAL (mg/L)	1,0	0,2	2,8	4	0,7	0,2	1,5	4	<0,10			1	0,33			1
FÒSFOR (µg/L)		<50	600	4	500	0	900	4								
SILICI (mg/L)	2,3	1,7	2,9	4	2,0	1,4	2,6	4								
SULFURS (mg/L)		<0,1	<0,1	4		<0,1	<0,1	4	<0,05			1	<0,05			1

d) METALLS

	VALLGRASSA				LA PLETA				PITXOT				ABOCADOR SE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
ESTANY (µg/L)		<5	<10	4		<5	<10	4								
MERCURI (µg/L)		<0,2	<0,2	1		<0,2	<0,2	1	0,28			1	0,16			1
ALUMINI (µg/L)		<20	<100	4		<5	<100	4	9,04			1	<1,0			1
BARI (µg/L)		<50	34,0	4		<50	30,0	4								
BOR (µg/L)		<50	<100	4		<10	<100	4	73,4			1	120			1
CADMI (µg/L)		<1	<5	4		0,0	<5	4								
COBALT (µg/L)		2,3	2,3	1		2,7	2,7	1								
COURE (µg/L)		<5	<20	4		<5	<20	4	0,28			1	0,72			1
CROM (µg/L)		<5	<20	4		<2	<20	4	0,19			1	0,13			1
ESTRONCI (µg/L)	360,0	210,0	620,0	3	246,7	240,0	260,0	3								
FERRO (µg/L)		<20	<100	4		<100	208,0	4	65,8			1	3,33			1
MANGANÈS (µg/L)		<20	375,0	4		<20	460,0	4	149			1	173			1
NÍQUEL (µg/L)		<20	3,0	4		<20	5,0	4								
PLOM (µg/L)		<1	<20	4		0,0	<20	4								
ZINC (µg/L)		<50	390,0	4		<50	767,0	4								
ANTIMONI (µg/L)		<2	<5	4		<2	<5	4	0,25			1	0,24			1
ARSÈNIC (µg/L)		<2	<20	4		<2	<20	4	<0,10			1	<0,10			1
BERIL-LI (µg/L)		<5	<10	4		<5	<10	4								
MOLIBDÈ (µg/L)		<5	<20	4		<5	<20	4	1,82			1	0,92			1
SELENI (µg/L)		<2	<20	4		<2	<20	4	0,32			1	0,53			1
LITI (µg/L)		<10	<10	3		<10	<10	3								
TITANI (µg/L)		<5	<5	4		<5	<5	4	1,21			1	0,39			1
VANADI (µg/L)		<5	<20	4		<5	<20	4	<0,10			1	<0,10			1

Els piezòmetres de Vallgrassa i la Pleta presenten característiques químiques comparables amb 1.474 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i 1.203 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivament. Ambdós piezòmetres indiquen una influència menor de la intrusió salina (Figura 8.3).

Vallgrassa té una mitjana d'amoni de 1,3 mg/L i un màxim de 3,6 mg/L; mentre que la Pleta té una mitjana de 0,9 mg/L i un màxim de 2 mg/L. Es tracta de valors d'amoni poc per sobre del límit, però que cal tenir en consideració el context hidrogeològic de Garraf en què es troben els piezòmetres.

A Vallgrassa la mitjana en TOC és 1 mg/L i el màxim de 1,1 mg/L; mentre que a la Pleta la mitjana en TOC és 5,8 mg/L i el màxim de 11,6 mg/L. Al PZ la Pleta sembla que el TOC indica una incidència de la contaminació més marcada que a Vallgrassa.

El valor màxim de cobalt a Vallgrassa és 2,3 $\mu\text{g}/\text{L}$ i de 2,7 $\mu\text{g}/\text{L}$ a La Pleta. El valor màxim de níquel a Vallgrassa és 3 $\mu\text{g}/\text{L}$ i de 5 $\mu\text{g}/\text{L}$ a La Pleta. El valor màxim de zenc a Vallgrassa és 390 $\mu\text{g}/\text{L}$ i de 767 $\mu\text{g}/\text{L}$ a La Pleta.

El piezòmetre del Pitxot, observa, com ja s'ha comentat, unes característiques força particulars: no es trobà carstificació en l'excavació del sondeig. La roca és massissa en els quasi 600 m de fondària del sondeig. A la profunditat de 490 m hi ha un nivell d'aigua amb poc cabal, però suficient per al bombament i el mostreig. La mineralització de l'aigua és molt baixa amb 598 $\mu\text{S}/\text{cm}$, comparable a la de l'aqüífer epicàrstic de la font de les Piques. No té influència de la intrusió marina. Els valors en els metalls solubles següents: alumini, titani, seleni, vanadi, molibdè, mercuri, coure i crom són baixos o molt baixos. Mentre que el bor té 73,4 $\mu\text{g}/\text{L}$, el ferro 65,8 $\mu\text{g}/\text{L}$ i el manganès 149 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Taula 8.11).

El piezòmetre Abocador SE, queda fora dels límits de l'abocador i al sud-est d'aquest equipament (Figura 8.1). Travessa materials del Triàsic. La conductivitat és 1.498 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El clorur és de 153 mg/L, el sodi de 70,2 mg/L i el sulfat de 290 mg/L semblen indicar una certa salinització de l'aigua, però poc important. Aquesta salinització podria relacionar-se amb els materials del Triàsic (Keuper i Muschelkalk mig) que la podrien aportar. No sembla que la salinització que s'observa al piezòmetre tingui a veure amb la intrusió salina: d'una banda per la situació del piezòmetre i de l'altra perquè el pou proper : "Piedras y derivados" no presenta intrusió salina.

L'amoni és 0,42 mg/L i el TOC és 2,88 mg/L.

Els metalls solubles presenten valors baixos o molt baixos (antimoni: 0,24 $\mu\text{g}/\text{L}$, arsènic: inferior a 0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$, alumini: inferior a 1 $\mu\text{g}/\text{L}$, titani: 0,39 $\mu\text{g}/\text{L}$, seleni: 0,53 $\mu\text{g}/\text{L}$, vanadi: inferior a 0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$, molibdè: 0,92 $\mu\text{g}/\text{L}$, mercuri: 0,16 $\mu\text{g}/\text{L}$, coure 0,72 $\mu\text{g}/\text{L}$ crom: 0,13 $\mu\text{g}/\text{L}$, bor: 120 $\mu\text{g}/\text{L}$, ferro: 3,33 $\mu\text{g}/\text{L}$ i manganès: 173 $\mu\text{g}/\text{L}$).

8.2.7. Les aigües marines litorals de la costa del Garraf

Es disposa de les analítiques del punt Falconera 0 (F0) (mostra presa a 5 m de la boca de la surgència de la Falconera) (Taula 8.12) i de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua per al període 2018-2020 (Taula 8,13).

A part de l'interès en disposar d'analítiques completes d'aigua de mar (F0) amb diferents objectius (estudi de la contaminació, coneixement de la intrusió marina, metodologia en l'aproximació isotòpica,...) en el context del Garraf, les dades de l'ACA tenen l'interès de facilitar una primera aproximació a la qualitat

ecològica de diferents àmbits definits a l'espai marí litoral: Mar-Platja, Mar-Camp Mitjà i Zona Rocosa (Taula 8.13).

Les dades del punt Falconera 0 (veure figura 8.1 i apartat 6.2) responen clarament a la composició de l'aigua de mar, però reflecteixen una influència poc marcada de la contaminació que origina la surgència de la Falconera. La taula 8.12 sintetitza les característiques més bàsiques i els ions fonamentals. El pH: 8,3 és alcalí i la conductivitat: 54.680 $\mu\text{S/cm}$ és la pròpia de l'aigua de mar. Les concentracions en ions fonamentals responen molt bé a la composició de l'aigua de mar (bicarbonat: 139 mg/L, clorur: 19.200 mg/L, sulfat: 2.608 mg/L, calci: 442 mg/L, magnesi: 1.647 mg/L, sodi: 13.514 mg/L i potassi: 399 mg/L).

Els metalls solubles també indiquen una certa influència, però poc marcada de l'aportació de la Falconera (Mercuri: 1,6 $\mu\text{g/L}$, arsènic: 2,2 $\mu\text{g/L}$, molibdè: 11 $\mu\text{g/L}$, seleni: 15 $\mu\text{g/L}$, ferro: 28 $\mu\text{g/L}$, bor: 3.478 $\mu\text{g/L}$; alguns metalls: estany, bari, coure, crom, manganès, zenc i beril·li presenten concentracions inferiors a 5 $\mu\text{g/L}$; l'antimoni inferiors a 2 $\mu\text{g/L}$; i el cadmi i el cobalt inferiors a 1 $\mu\text{g/L}$.

Taula 8.12: Components majoritaris, indicadors de contaminació i metalls al punt Falconera 0 (aigua de mar) el dia 25/09/2019.

FALCONERA 0 (25/09/2019)		MITJANA	
		pH (u.pH)	8,30
AMONI (mg/L)	0,26	CONDUCTIVITAT ($\mu\text{S/cm}$)	54680
TOC (mg/L)	1,5	BICARBONATS (mg/L)	139
NITRATS (mg/L)	<50	CLORURS (mg/L)	19202
NITRITS (mg/L)		SULFATS (mg/L)	2608
NITROGEN AMONIAL (mg/L)		CALCI (mg/L)	442
FÒSFOR ($\mu\text{g/L}$)	<50	MAGNESI (mg/L)	1647
SILICI (mg/L)	0,22	SODI (mg/L)	13514
SULFURS (mg/L)	<0,1	POTASSI (mg/L)	399
	MITJANA		MITJANA
ESTANY ($\mu\text{g/L}$)	<5	NÍQUEL ($\mu\text{g/L}$)	<2
MERCURI ($\mu\text{g/L}$)	1,6	PLOM ($\mu\text{g/L}$)	<1
ALUMINI ($\mu\text{g/L}$)	<20	ZINC ($\mu\text{g/L}$)	<5
BARI ($\mu\text{g/L}$)	<5	ANTIMONI ($\mu\text{g/L}$)	<2
BOR ($\mu\text{g/L}$)	3474,0	ARSÈNIC ($\mu\text{g/L}$)	2,2
CADMI ($\mu\text{g/L}$)	<1	BERIL·LI ($\mu\text{g/L}$)	<5
COBALT ($\mu\text{g/L}$)	<1	MOLIBDÈ ($\mu\text{g/L}$)	11,0
COURE ($\mu\text{g/L}$)	<5	SELENI ($\mu\text{g/L}$)	15,0
CROM ($\mu\text{g/L}$)	<5	LITI ($\mu\text{g/L}$)	
ESTRONCI ($\mu\text{g/L}$)		TITANI ($\mu\text{g/L}$)	6,4
FERRO ($\mu\text{g/L}$)	28,0	VANADI ($\mu\text{g/L}$)	2,7
MANGANÈS ($\mu\text{g/L}$)	<5		

Taula 8.13: Resultats de diferents paràmetres fisicoquímics i biològics determinats als punts de control de l'Agència Catalana de l'Aigua a l'àmbit de la costa del Garraf (dades extretes de l'aplicació interactiva SDIM de la pàgina web de l'ACA).

PRIMERA LÍNIA DE MAR

	Platja - Sitges - de la Ribera (2017-2018)				Platja - Sitges - de Garraf (2017-2018)			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
AMONI (mg/L)	0,04	0,01	0,07	12	0,11	0,02	0,48	12
CLOROFIL-LA a (mg/m ³)	1,8	0,4	7,2	12	1,5	0,1	5,8	12
FOSFATS (mg PO ₄ /L)	0,0	0,0	0,0	12	0,0	0,0	0,0	12
NITRATS (mg/L)	0,1	0,1	0,3	12	0,1	0,0	0,2	12
NITRITS (mg/L)	0,0	0,0	0,0	12	0,0	0,0	0,0	12
SALINITAT (psu)	37,7	37,3	38,0	16	37,7	37,0	38,0	16
SILICATS (mg/L)	0,1	0,0	0,3	12	0,1	0,0	0,2	12

CAMP MITJÀ

	Camp mitjà - Sitges - Vallcarca (2018)			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
AMONI (mg/L)	0,07	0,00	0,33	6
CLOROFIL-LA a (mg/m ³)	0,6	0,1	1,2	6
FOSFATS (mg PO ₄ /L)	0,0	0,0	0,0	6
NITRATS (mg/L)	0,1	0,0	0,2	6
NITRITS (mg/L)	0,0	0,0	0,0	6
SALINITAT (psu)	37,7	36,7	38,2	6
SILICATS (mg/L)	0,1	0,0	0,1	6

CAMP MITJÀ i ZONA ROCOSA

	Camp mitjà - La Falconera (2017-2018)		Camp mitjà - Sitges (2017-2018)		Zona Rocosa - Sitges (2017-2018)	
	MITJANA	n	MITJANA	n	MITJANA	n
Índex MEDOCC-EQR (macroinvertebrats)	0,77	2				
EQR (qualitat ecològica)			0,2	2		
Índex CARLIT-EQR (macroalgues)					0,525	2

A continuació s'incorpora l'avaluació que realitza l'Agència Catalana de l'Aigua sobre el litoral de les Costes de Garraf: **Sitges** [Massa d'aigua costanera] *Informe a 2018 (dades 2013 – 2018)*:

“L'estat general d'aquesta massa d'aigua (MA) és Dolent (amb incertesa), pels incompliments de qualitat dels indicadors biològics (macroalgues i fanerògames marines: posidònia) i dels indicadors fisicoquímics

de condicions generals (nutrients) a línia de costa, que no arriben al Bon Estat. Els elements de qualitat biològica: fitoplàncton i macroinvertebrats assoleixen els llistats de qualitat establerts. La MA C23 està situada a la conca de les rieres del Garraf, i rep la influència directa de les rieres i aqüífers càrstics del Garraf (La Falconera) amb aportacions d'aigües subterrànies i d'escorrentia que suposen una pressió significativa sobre la qualitat de la MA costanera. A la MA també s'aboquen les aigües residuals tractades a l'EDAR Sitges (Garraf). El perfil submarí batimètric de la MA és molt suau, fet que afavoreix el confinament de les aigües costaneres i per tant redueix la dilució i dispersió de les aportacions terra-mar. Pel que fa a l'estat químic, en cap ocasió s'han mesurat concentracions de les substàncies regulades per sobre dels llistats de Bon estat. Tot i l'estat general Dolent (amb incertesa), totes les zones de bany d'aquesta MA, compleixen amb els objectius de qualitat de la Directiva 2006/7/CE, relativa a la gestió de la qualitat de les aigües de bany. També la MA és apta per altres usos (pesca, aqüicultura, etc.)”.

8.3. Estudi isotòpic de les aigües subterrànies

En aquest apartat es presenten els resultats analítics de les mostres recollides en es mostreig estacional (cicle hidrològic 2019-2020) del projecte “**Estudi isotòpic de les aigües subterrànies del sector del Garraf**”.

L'objectiu del treball és comprovar l'eficàcia de diverses anàlisis isotòpiques per traçar la presència de lixiviats de dipòsit de residus urbans en procés de clausura de la Vall d'en Joan en les aigües subterrànies de la zona del Garraf. Per assolir aquest objectiu s'ha fet una anàlisi multi-isotòpica, que s'ha combinat amb els resultats de la caracterització geoquímica. El projecte s'ha plantejat com un estudi estacional al llarg d'un any hídric. En aquest segon informe es presenten els resultats de caracterització estacional.

La proposta d'anàlisi multi-isotòpica s'ha realitzat seleccionant alguns dels components dels lixiviats que han demostrat bibliogràficament i en un estudi previ (Otero, Carrey, and Herrero-Martín 2019) ser bons traçadors de l'origen de la contaminació de lixiviats d'abocadors en aigües subterrànies: aigua ($\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$); compostos nitrogenats ($\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$); carboni inorgànic dissolt ($\delta^{13}\text{C}$), i triti ($\delta^3\text{H}$, isòtop radioactiu) de l'aigua. S'ha realitzat també l'anàlisi de sofre i oxigen del sulfat dissolt ($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ i $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$), ja que, tot i que els lixiviats dels abocadors presenten concentracions molt baixes en sulfat, la composició isotòpica de S i O de sulfat pot indicar la presència de processos de sulfato-reducció.

Es tracta d'avaluar l'ús dels diferents isòtops proposats com a traçadors d'origen dels lixiviats d'abocadors de residus urbans. Estudiar la seva aplicació per millorar el model conceptual hidrogeològic de la zona d'estudi. En concret per aquest mostreig estacional, un dels objectius es fer un seguiment dels punts de control al llarg d'un cicle hidrològic (informació estacional). La figura 8.1 indica la localització dels punts de mostreig.

Les bases conceptuals i teòriques pels diferents isòtops: aigua, triti, compostos nitrogenats, carboni inorgànic dissolts i sulfats i les tècniques específiques per a l'anàlisi de cadascun dels isòtops es poden trobar completament desenvolupades en els informes precedents (bibliografia...) i en l'informe complet sobre els isòtops que es pot consultar als Annexos Generals d'aquest document.

La metodologia d'enfocament sistèmic ha utilitzat en l'estudi isotòpic com a funció d'entrada les característiques analítiques dels aqüífers epicàrstics de la font de les Piques i del pou de la Mata i totes les característiques químiques dels lixiviats que, com ja s'ha explicat constitueixen la funció d'entrada de la contaminació que s'ha estudiat en el sistema hidrogeològic del Garraf.

8.3.1. Resultats

Els resultats dels paràmetres de camp de les mostres figuren a la Taula S3 de l'annex isotòpic, i els valors de cations i anions majoritaris figuren a la Taula S4 del mateix annex. Les mostres de lixiviats es caracteritzen per una conductivitat molt elevada (38.000 μS) i valors molt elevats de HCO_3^- (16.000 mg/L), NH_4^+ (fins a 3.300 mg/L), TOC (fins 7.300 mg/L). També tenen valors elevats de Cl^- (fins 6.000 mg/L), Na^+ (4.700 mg/L), i K^+ (1.500 mg/L) i continguts baixos en SO_4^{2-} (480 mg/L), Ca^{2+} (700 mg/L), i Mg^{2+} (180 mg/L).

Les mostres dels pous, tant de l'aqüífer càrstic com les mostres recollides als aqüífers epicàrstics mostren conductivitat de baixa a moderada (entre 660 i 6.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) i trets químics variables. Les mostres de les

surgències tenen conductivitat variable (entre 1.400 i 58.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ amb un valor mig de 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) i són clorurats-sòdics.

Els resultats isotòpics es mostren a la Taula S5 de l'annex isotòpic. Els dels lixiviats mostren una composició isotòpica característica en gran part dels isòtops analitzats. Els valors de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ varien entre +8,8 i +18,4 ‰ valors similars als de les aigües residuals. Els valors més característics dels lixiviats són però els de $\delta^{13}\text{C}_{\text{HCO}_3}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ i Triti. La $\delta^{13}\text{C}_{\text{HCO}_3}$ presenta valors positius elevats (+10,3 i +15,5 ‰) i molt diferents tant dels valors comuns en aigües subterrànies (valors negatius entre -12 i -16 ‰), com del valor dels carbonats dissolts marí actual (aproximadament un +1 ‰ (Clark, I. D., Fritz 1997)). Els valors isotòpics de l'aigua ($\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ i $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$) dels lixiviats també tenen una $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ característica (entre -8,1 i -12,0 ‰), i prou diferent dels valors regionals de l'aqüífer (-30 a -40 ‰) i de l'aigua de mar (al voltant de 0 ‰) com per ser bons traçadors (Taula S5, annex isotòpic). Finalment, els valors de Triti mesurats en els lixiviats (entre 111 i 2.076 \pm 58 UT) són molt elevats i també diferents tant dels fons regional (entre 1 i 3) com de l'aigua de mar (0,6). La $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ s'ha determinat per les mostres dels punts de control i es disposa de valors bibliogràfics per l'aigua de mar.

8.3.2. Interpretació dels resultats. Mostres sense dades estacionals

Hi ha un total de 10 mostres que es van analitzar en el mostreig general i no s'han repetit estacionalment: 2 mostres de l'entorn de l'abocador (TB i BI), 5 pous (Pou Garraf, Pou Hilario, Pou n° 1, Pou de la Mata i Pou Samitier (dipòsit)) i 3 surgències (Congre, Cova Centenari, Falconera F-2). La interpretació d'aquestes mostres figura en l'informe "Estudi isotòpic de les aigües subterrànies del Garraf. Informe del mostreig general (abril-maig 2019)".

En aquest apartat s'analitzen els resultats de les mostres noves sense dades estacionals (Mas Quadrell n° 8, Pou Comissaria, Por Rat Penat 1 (riera), Pou Rat Penat (esportiu)) o amb dades limitades a 2 punts (Piedras y derivados). Les dades s'han interpretat en base als mateixos models de barreja entre paràmetres químics i isotòpics descrits en l'informe del mostreig general. Els extrems utilitzats han estat aigua de mar, lixiviats (T12 i T19), i un valor anomenat "funció entrada". Les dades de la química de l'aigua de mar s'ha pres la mostra La Falconera F-0 que es considera aigua de mar, en comptes de ser bibliogràfiques (Millero et al. 2008) (Rozanski, Froehlich, and Mook 2001) com en l'informe anterior. Per realitzar els models de barreja s'ha agafat com a funció d'entrada un promig dels valors de les mostres dels aqüífers epicàrstics (Pou de la Mata i Font de les Piques). S'ha considerat que aquestes mostres poden representar el quimisme de les aigües d'entrada a l'aqüífer.

8.3.2.1. Paràmetres químics

En un model de barreja entre Cl^- i Na^+ (no mostrat) les línies de barreja entre la funció entrada i els lixiviats coincideixen amb la línia de barreja entre la funció entrada i l'aigua de mar, en aquest model les mostres Piedras y derivados, Pou Comissaria i Pou Rat Penat, cauen a prop de la funció entrada i la mostra Mas Quadrell n° 8 té valors elevats de Cl^- i Na^+ compatibles tant amb una influència elevada d'aigua de mar com amb la influència de lixiviats. En els models de barreja realitzats entre Cl^- i SO_4^{2-} (Figura 8.4) es confirma que les mateixes mostres cauen a prop de la funció entrada i la mostra Mas Quadrell n° 8 té valors similars als lixiviats de la T12.

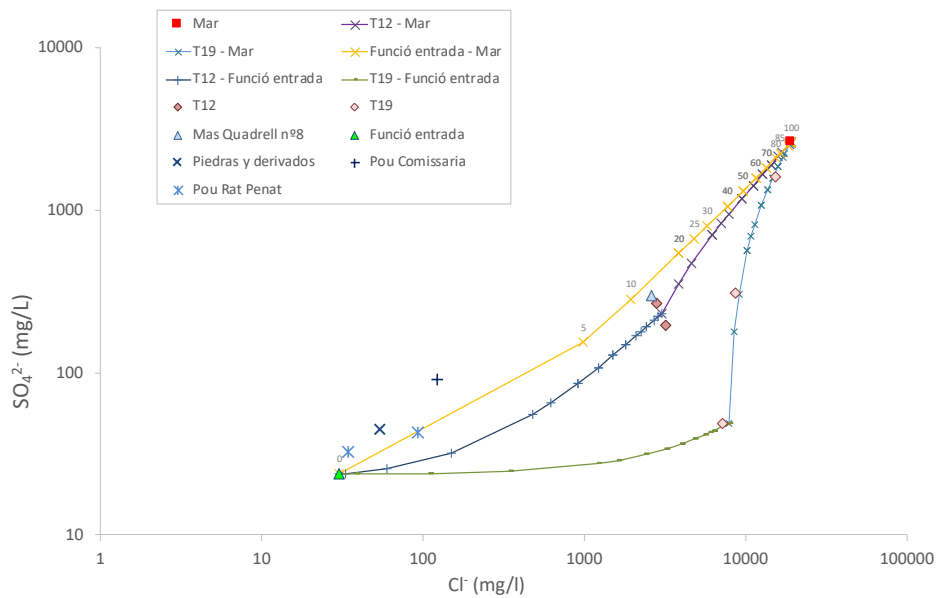


Figura 8.4. Diagrama Cl- vs SO42-. S'han representat les mostres de lixiviats, pous i la mostra F-0 com valor de l'aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats (T19 i T12).

Donat que la concentració en NH4+ en les mostres de Mas Quadrell nº 8 i Pou Rat Penat és inferior al límit de detecció no s'ha pogut aplicar el model de barreja amb dos paràmetres característics dels lixiviats (TOC i NH4+). Totes dues mostres, però, presenten concentracions elevades de TOC. Les mostres de Piedras y derivados tenen continguts molt baixos tant de TOC com d'NH4+ indicant un origen natural, i la mostra Pou Comissaria té continguts elevats de TOC, però molt baixos en NH4+ per tant no està en la línia de barreja amb els lixiviats. S'ha realitzat un model de barreja considerant TOC i B, entre mateixos extrems (Figura 8.5). En aquest diagrama s'observa que les mostres de Piedras y derivados tenen valors propers a la funció entrada. A les mostres Mas Quadrell nº 8 i Pou Comissaria el model suggereix una contribució per part dels lixiviats entre 1 i 4 %. En la mostra Pou Rat Penat no es disposa de l'anàlisi de B.

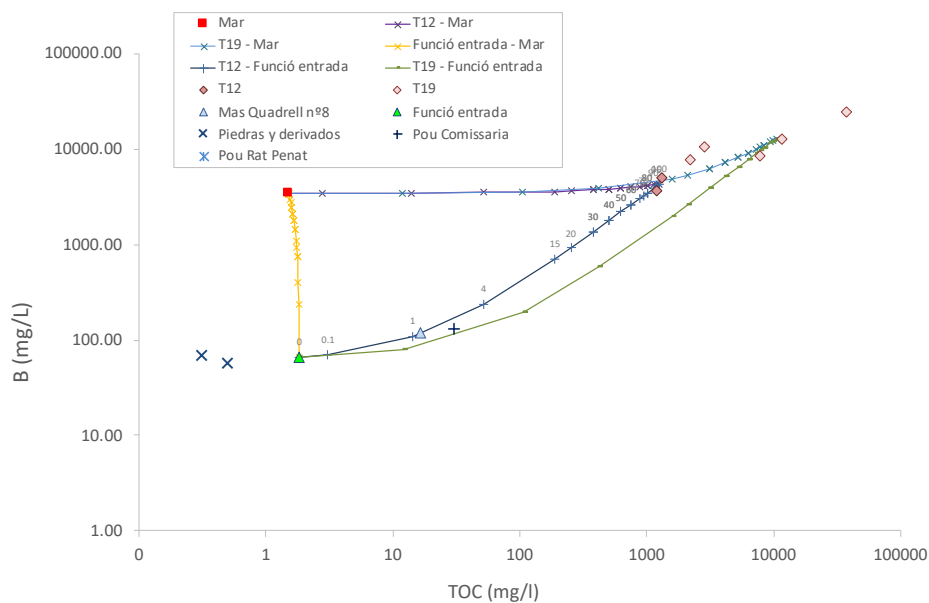


Figura 8.5. Diagrama TOC vs B. S'han representat les mostres de lixiviats, pous, i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (La Falconera F-0) i Lixiviats (T12 i T19).

8.3.2.2. Isòtops de l'aigua

S'han realitzat models de barreja entre els extrems considerats utilitzant la composició isotòpica de $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ de l'aigua (Figura 8.6). Els valors de $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ dels llixiviats també són molt diferents tant de les aigües de la funció entrada com de l'aigua de mar, suggerint que a priori, el $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ pot ser un bon traçador. S'ha afegit al model la línia meteòrica local, calculada amb les dades de la estació de Barcelona (IAEA/WMO 2015).

Les mostres dels pous estudiats es situen a prop de la Línia Meteòrica Local i no s'observa una clara influència dels llixiviats en cap de les mostres. Donada la variabilitat estacional pròpia de la Línia Meteòrica Local no es considera que les mostres tinguin una aportació significativa d'aigua de mar. Els isòtops de l'aigua $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ però poden ser indicadors útils de la presència de llixiviats només si la contribució dels mateixos es com a mínim d'un 5 o 10%.

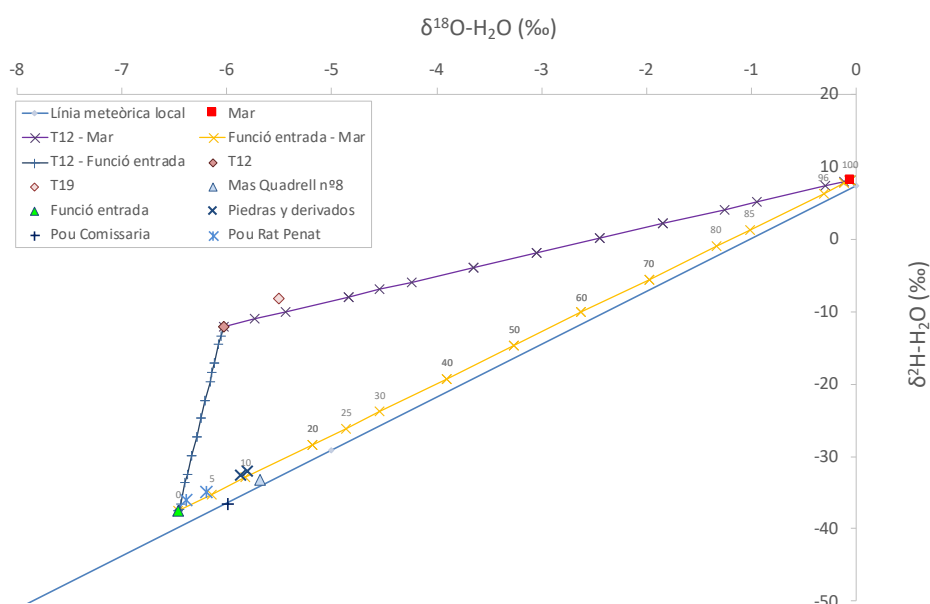


Figura 8.6. Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$, s'han representat les mostres de llixiviats (T19), pous i aigua de mar (La Falconera F-0). S'ha representat també la línia meteòrica local calculada amb dades de Barcelona. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Llixiviats.

Dels paràmetres analitzats, el triti es considera un molt bon indicador de la presència de llixiviats, ja que la elevada concentració en Triti del llixiviats (fins 2000 UT) és molt diferent del contingut en triti en l'aqüífer o en l'aigua de mar. Cal destacar també que els continguts en triti de les dues terrasses mostrejades T12 i T19 són prou diferents (200 i entre 400 i 2000 UT respectivament) com perquè es pugin fer servir com a traçadors específics en estudis de detall. S'han realitzat models de barreja entre Cl i Triti (Figura 8.7).

En la Figura 8.7 s'observa que les mostres de Piedras y Derivados i Mas Quadrell n° 8 tenen valors baixos de Triti, indicant que no hi ha influència de llixiviats. Les mostres de Pou Comissaria i Pou Rat Penat mostren valors més elevats. En els models de barreja realitzats amb els extrems escollits, a les mostres no s'observa influència de llixiviats.

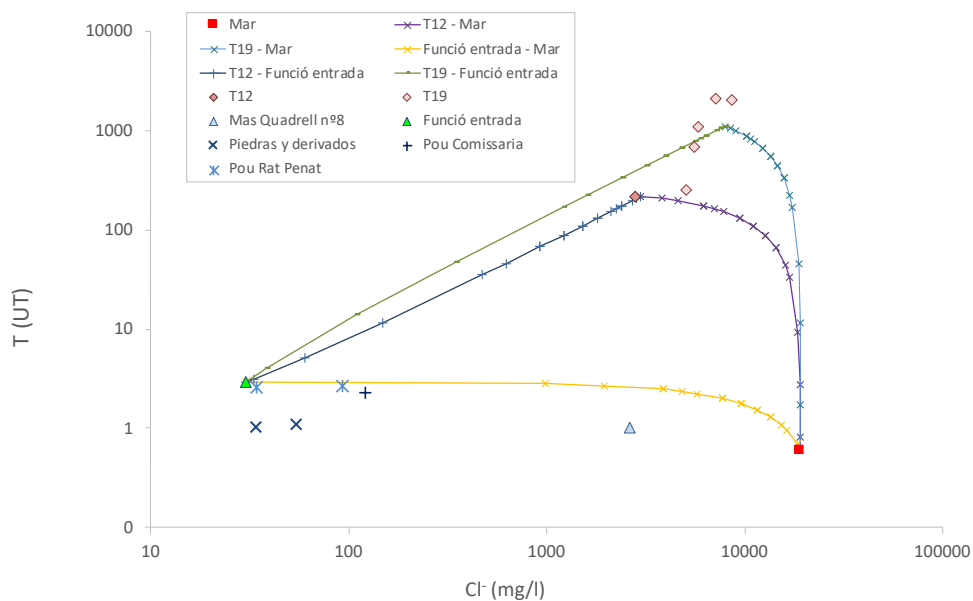


Figura 8.7. Diagrama Cl⁻ vs Triti. S'han representat les mostres de lixiviats, pous i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (La Falconera F-0) i Lixiviats (T12 i T19).

8.3.2.3. Composició isotòpica del Carboni Inorgànic Dissolt

En el model de barreja entre HCO₃⁻ i δ¹³C (Figura 8.8) també es confirma que la mostra de Piedras y derivados mostra valors propers als de la funció entrada. En general les mostres de l'aqüífer tenen valors de δ¹³C típics d'aigües subterrànies, produïts per l'equilibri amb CO₂ del sòl (Clark, I. D., Fritz 1997). No s'ha realitzat la determinació d'aquest paràmetre les mostres Mas Quadrell n° 8, Pou Comissaria i Pou Rat Penat.

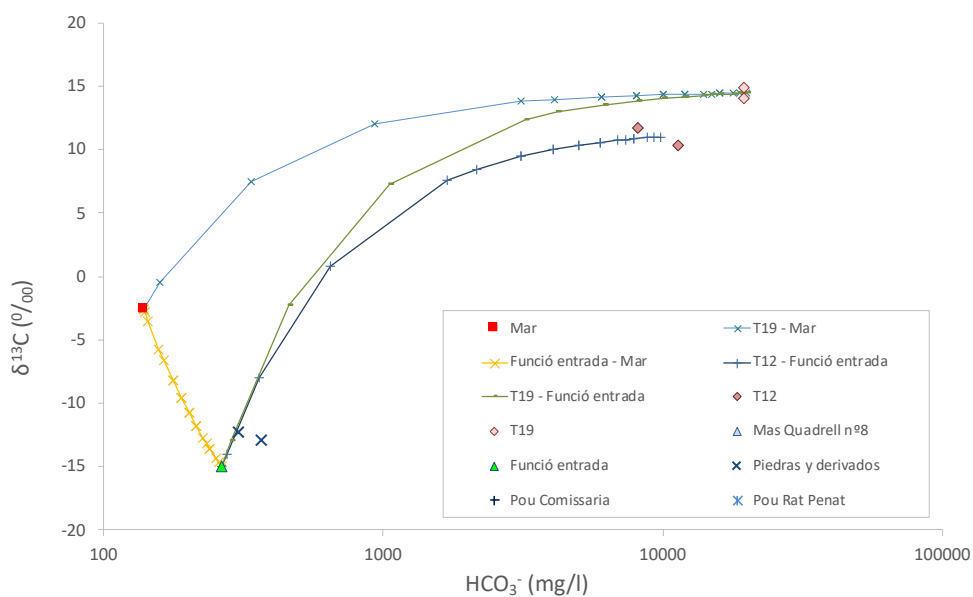


Figura 8.8. Diagrama HCO₃⁻ vs δ¹³C. S'han representat les mostres de lixiviats, pous, i aigua de mar. S'han calculat models de barrejat teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats.

8.3.2.4. Compostos nitrogenats

No es disposa de dades de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ per cap de les mostres, ja que per a totes les mostres la concentració en NH_4^+ es molt baixa o està per sota del límit de detecció i no s'ha pogut determinar la seva composició isotòpica.

Si que s'ha pogut determinar per a totes les mostres la composició isotòpica de N i O del nitrat dissolt. Els resultats s'han representat en un diagrama $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ vs $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ (Figura 8.9). En el mateix gràfic s'han representat els valors bibliogràfics de les possibles fonts de nitrat a les aigües subterrànies i les tendències que s'esperen si es produeixen processos de desnitrificació. També s'ha representat la variació de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ dels lixiviats prenent un valor arbitrari de $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ de +1,5 ‰ a efectes de representació de les mostres.

Els resultats han mostrat un origen orgànic per a la mostra del Pou Commissaria, aquest origen orgànic pot estar relacionat amb la nitrificació de l'amoni dels lixiviats, ja que la seva composició isotòpica està en el rang dels valors dels lixiviats, però des d'un punt de vista isotòpic no es pot descartar un altre origen orgànic, relacionat per exemple, amb aigües residuals. A les mostres Mas Quadrell nº 8, Pou Rat Penat i una de les mostres de Piedras y derivados el nitrat pot tenir un origen natural (la concentració es d'uns 7 mg/L). A una segona mostra de Piedras y Derivados, amb una concentració de 25 mg/L, el nitrat pot estar relacionat amb fertilitzants químics o amb la utilització d'explosius. La mostra està situada en una pedrera i els valors isotòpics de N i O del nitrat dissolt també serien compatibles amb aquest origen, com es va descriure en l'informe previ pels valors dels Pous Hilario i UTE, també localitzats en una zona de pedrera.

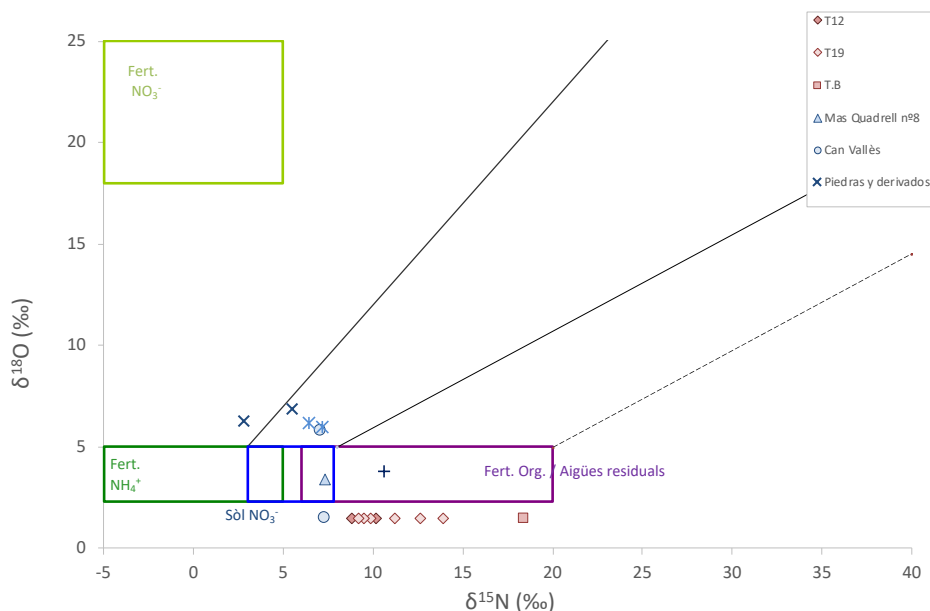


Figura 8.9. Diagrama $\delta^{15}\text{NNO}_3$ vs $\delta^{18}\text{ONO}_3$, s'han representat les mostres. S'ha representat també el rang de variació de $\delta^{15}\text{NNH}_4$ dels lixiviats posant un valor de $\delta^{18}\text{ONO}_3$ de +1,5 ‰ a efectes de representació.

8.3.2.5. Composició isotòpica de sofre i oxigen del sulfat dissolt

Donada la baixa concentració en sulfat dels lixiviats, aquest traçador no es considera útil per determinar la presència de lixiviats a les aigües. En canvi és un traçador útil per determinar el percentatge d'intrusió

marina en una mostra i s'ha proposat el seu us com a possible traçador de processos de sulfato-reducció. Per aquest grup de mostres no s'han realitzat models de barreja i s'han representat les mostres en un diagrama $\delta^{34}\text{S}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ (Figura 8.10) Les mostres de Piedras y Derivados tenen valors lleugerament superiors al sulfat natural del sol, que podrien tenir diversos orígens, com influència d'aigües residuals, de sulfats amb un origen evaporític o d'intrusió marina.

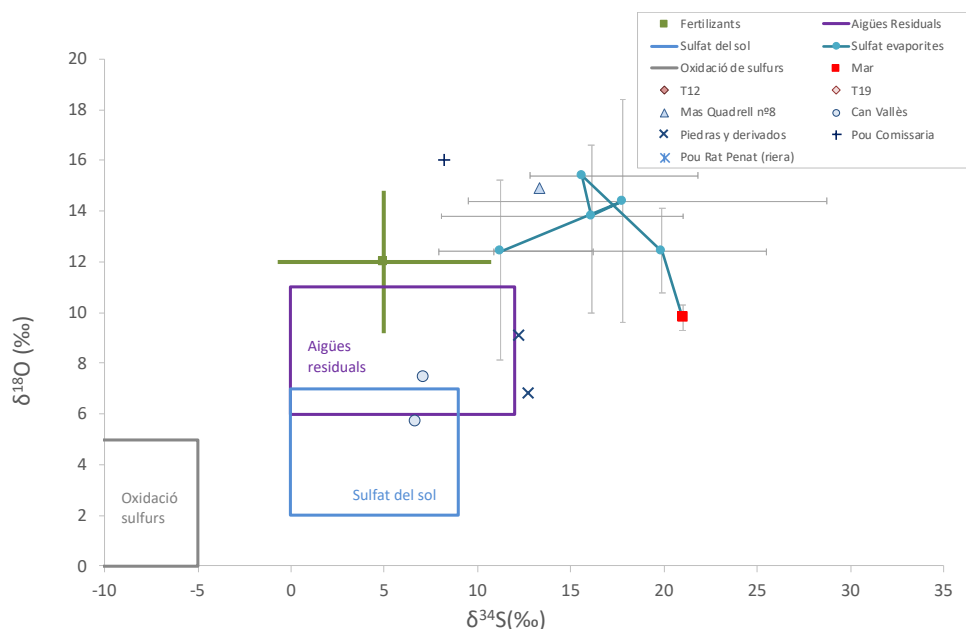


Figura 8.10. Diagrama $\delta^{34}\text{S}$ vs $\delta^{18}\text{O}$. Els valors de les evaporites al llarg dels temps geològics són de (Claypool et al. 1980b), s'ha representat els valors promig, les barres d'error representen el màxim i mínim. Els valors d'oxidació de sulfurs i sulfat del sol són de (Clark, I. D., Fritz 1997). Els valors de fertilitzants són de (Vitòria et al. 2004), en aquest cas el punt representa la mitja dels valors analitzats i les barres representat la desviació estàndard. S'ha inclòs valors de aigües residuals d'estudis inèdits.

Les mostres Mas Quadrell nº 8 i Pou Comissaria tenen valors moderats de $\delta^{34}\text{S}$ però elevats de $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat dissolt. La elevada composició isotòpica de oxigen del sulfat es pot explicar per processos de sulfato reducció, que concordaria amb l'elevat contingut en TOC d'aquestes mostres, fet que seria compatible amb l'arribada de lixiviat. Les mostres del Pou Rat Penat tenen concentració en sulfats baixa (32 a 41 mg/L) i no s'ha realitzat la determinació isotòpica.

8.3.2.6. Resum dels traçadors

En la mostra Piedras y Derivados tots els paràmetres indiquen un origen natural, no presenta concentracions significatives de cap dels paràmetres indicatius de lixiviat. Les mostres de Pou Comissaria, Rat Penat i Mas Quadrell nº 8, presenten continguts elevats en TOC, però baixos d' NH_4^+ . El model de barreja entre TOC i B suggereix que els pous Comissaria i Mas Quadrell nº 8 podrien tenir una contribució de lixiviat entre un 1 i 4 %. La composició isotòpica de N i O del nitrat per al Pou Comissaria és compatible amb un origen lligat a lixiviat, però els Pous Rat Penat i Mas Quadrell nº 8 mostren una composició isotòpica compatible amb nitrat natural i continguts molt baixos en nitrat. Els valors de triti de totes les mostres podrien indicar un origen natural. Els resultats de $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat dissolt de les mostres de Mas Quadrell nº 8 i Comissaria suggereixen la presència de processos de sulfato-reducció, que junt amb l'elevat contingut en TOC podria indicar la presència de lixiviat.

8.3.3. Interpretació dels resultats. Mostres estacionals surgències

Dues mostres de surgències, Congre i Cova Centenari només es van recollir en el mostreig general. En la surgència d'Aiguadolç, es van recollir 5 mostres, i en la surgència de Punta Ginesta es van recollir 4 mostres. El punt de mostreig amb més mostres recollides es a la surgència de La Falconera on s'hi ha recollit 29 mostres. De les mostres de La Falconera una es considera aigua de mar (F-0) i les seves dades s'ha utilitzat com extrem en els models de barreja. Les dades s'han interpretat en base als mateixos models de barreja entre paràmetres químics i isotòpics descrits en la secció 6. Els extrems utilitzats han estat aigua de mar (amb la mostra Falconera-0), lixiviats (T12 i T19), i funció entrada a l'aqüífer, definida a partir de les dades dels aqüífers epicàrstics. En alguns dels gràfics s'hi ha afegit models de barreja addicionals entre els lixiviats (T12) i percentatges de barreja variables de Mar-Funció entrada.

8.3.3.1. Paràmetres químics

En els models de barreja realitzats entre Cl^- - Na^+ , i Cl^- - SO_4^{2-} (Figura 8.11) es veu com la major part de les mostres es poden explicar com una barreja entre funció entrada i aigua de mar. En aquests models es pot estimar el percentatge de barreja amb aigua marina de les mostres de les surgències: per a la mostra de Congre el model de barreja indica un 70 % d'aigua origen marí. Per la mostra de Cova Centenari el percentatge de barreja és en canvi del 2 %. Les mostres de la surgència d'Aiguadolç mostren molt poca variabilitat estacional i un percentatge de barreja d'aigua de mar al voltant de 5%. Les mostres de Punta Ginesta presenten major contribució d'aigua de mar i percentatges variables estacionalment amb un 8 % de contribució a l'Abril-20 i un 15 % al Gener-20. Les mostres recollides a l'entorn de La Falconera mostren una elevada variabilitat estacional amb percentatges de barreja amb aigua de mar que oscil·len entre un 1 i un 100 %. La mostra la evolució estacional del percentatge d'aigua de mar a les surgències fetes amb aquests models.

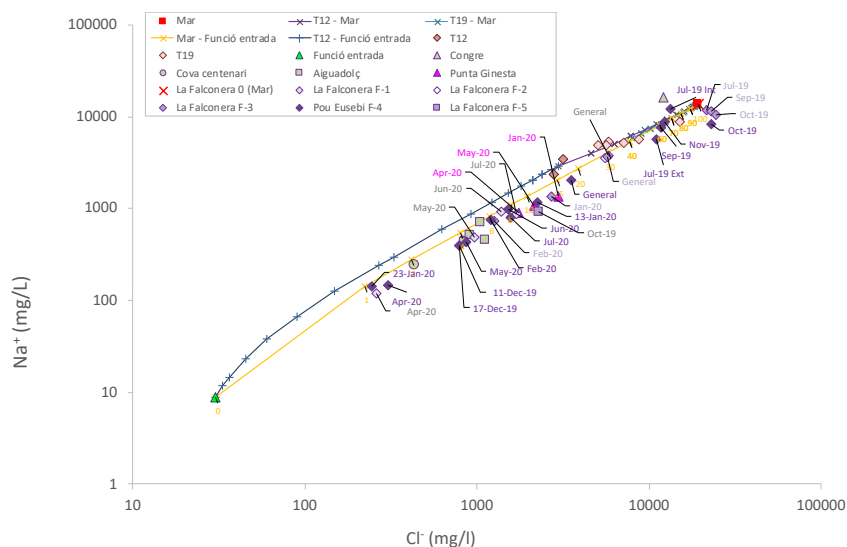


Figura 8.11a. Diagrama Cl^- vs Na^+ . S'han representat les mostres de lixiviats, surgències i el valor teòric de l'aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (Falconera F-0) i Lixiviats.

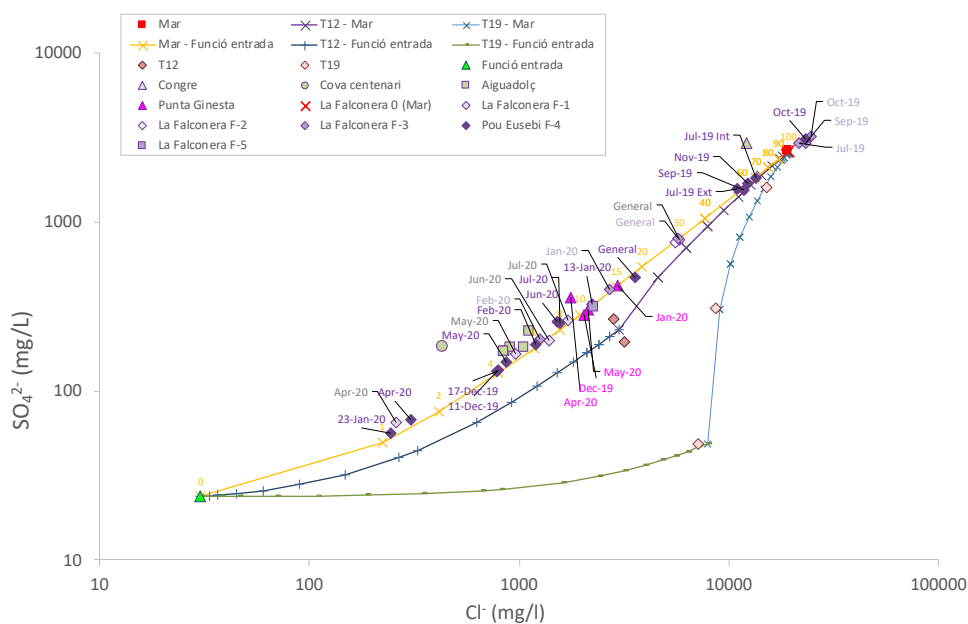


Figura 8.11b. Diagrama Cl⁻ vs SO₄²⁻. S'han representat les mostres de lixiviats, surgències i el valor teòric de l'aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (Falconera F-0) i Lixiviats.

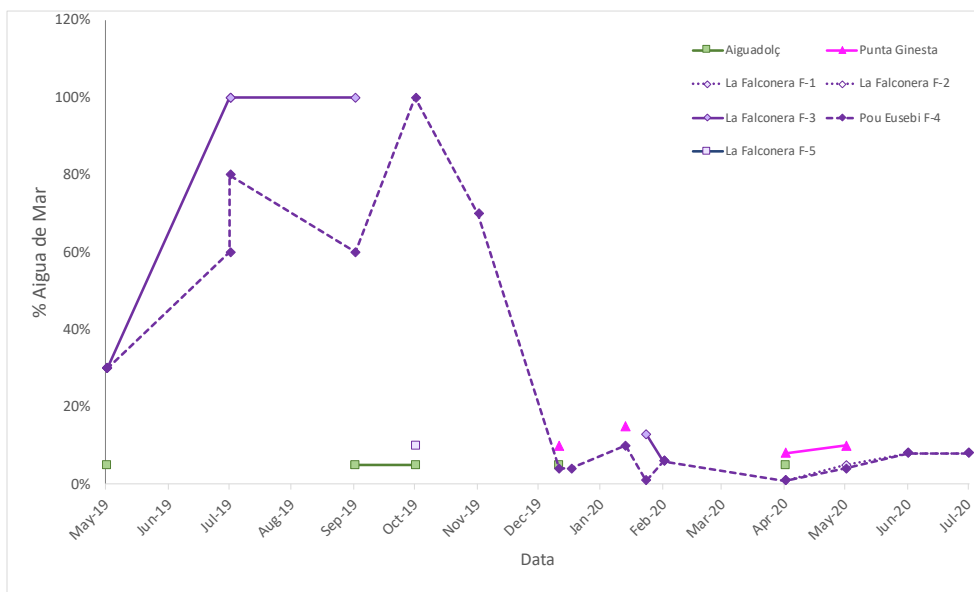


Figura 8.12. Percentatge d'aigua de mar a les surgències calculat a partir dels models de barreja Cl⁻ vs Na⁺.

En un diagrama amb dos paràmetres característics dels lixiviats (TOC i NH₄⁺) s'han realitzat els models de barreja entre mateixos extrems (Figura 8.13). Aquest dos paràmetres mostren valors baixos tant en aigua de mar com en la funció entrada. Les mostres de les surgències es situen en les línies de barreja entre aquests extrems i els lixiviats. La surgència de Cova Centenari té valors compatibles amb la funció entrada. La surgència de el Congre mostra valora propers a l'aigua de mar i la contribució de lixiviats seria inferior al 0,1 %. Les mostres de la surgència d'Aiguadolç mostren poca variabilitat estacional i un percentatge de barreja amb lixiviats d'un 0,2 %. Les mostres de Punta Ginesta presenten un percentatge de lixiviats lleugerament superior i percentatges variables estacionalment amb un 0,2 % de contribució al Gen-20 i un 1 % a l'Abril-20. El percentatge de lixiviats té una relació inversa amb el percentatge d'aigua de mar, al Gen-

20 quan el percentatge d'aigua de mar és màxim el percentatge de lixiviat es mínim i a l'Abril el menor percentatge d'aigua de mar té associat un percentatge superior de lixiviat. A les mostres de la Falconera es pot observar clarament contribució dels lixiviat, que es pot estimar entre un 0,1 i un 2% i també s'observen variacions estacionals, en general la influència dels lixiviat es mínima entre el Jul-19 i el Nov-19 i els valors màxims s'observen en Maig-19 i en Juny i Juliol de 2020. Com en el cas de les mostres d'Aiguadolç, les mostres amb un percentatge molt elevat d'aigua de mar mostren un percentatge de lixiviat inferior al 0,1 %.

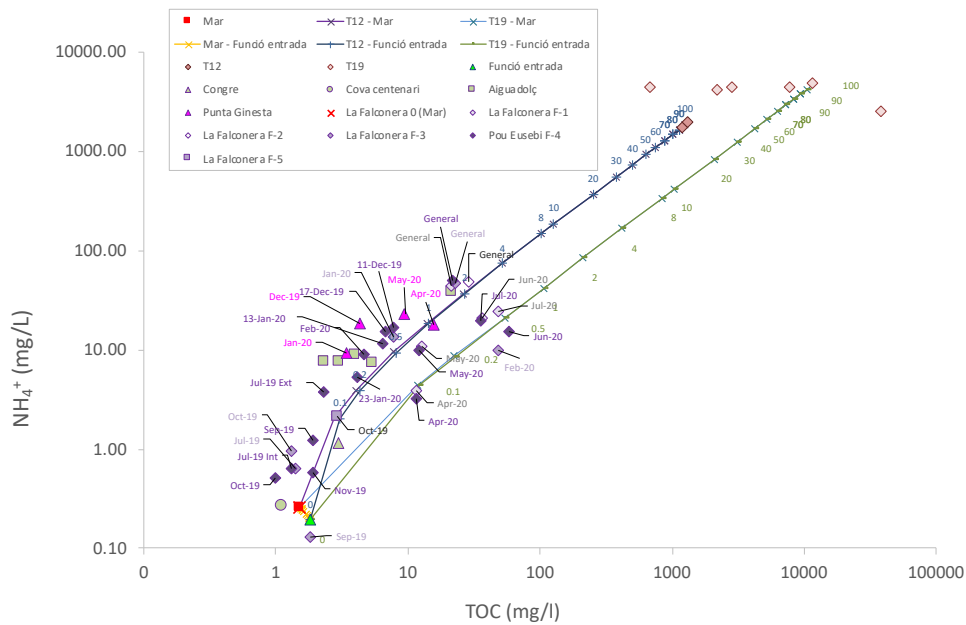


Figura 8.13. Diagrama TOC vs NH₄⁺. S'han representat les mostres de lixiviat, pous, surgències i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviat.

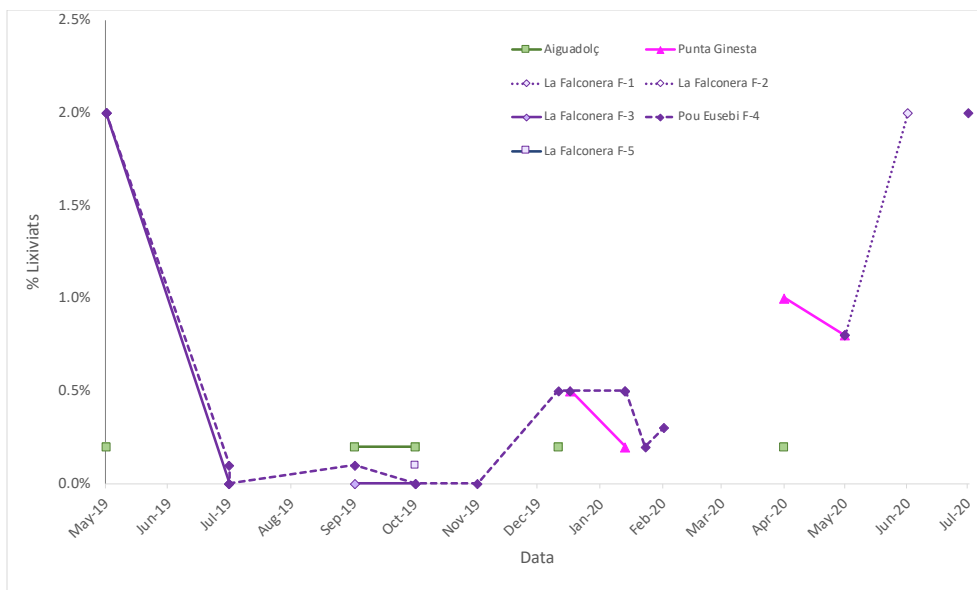


Figura 8.14. Percentatges de barreja de lixiviat per a les mostres de les surgències, calculats amb els models de barreja TOC vs NH₄⁺.

8.3.3.2. Isòtops de l'aigua

S'han realitzat models de barreja entre els extrems considerats utilitzant la composició isotòpica de $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ de l'aigua (Figura 8.15). S'ha representat també la línia meteòrica local, calculada amb les dades de la estació de Barcelona (IAEA/WMO 2015). La mostra de la surgència del Congre té valors de $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ lleugerament més elevats que els teòrics per l'aigua de mar (0 %) i superiors a la surgència de la Falconera F-0, per tant s'ha utilitzat la mostra del Congre com extrem d'aigua de mar.

Les surgències de la Cova Centenari i Aiguadolç tenen valors compatibles amb la funció entrada. Les mostres de Punta Ginesta tenen més variabilitat i si bé no es desvien de la línia meteòrica local, els seus valors de $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ de l'aigua també cauen en la línia de barreja entre la funció entrada i l'aigua de mar. El fet que la composició isotòpica de l'aigua mostri variacions estacionals en l'aqüífer i que a percentatges de barreja amb aigua de mar petits no es pugui distingir entre la línia meteòrica local i la línia de barreja funció entrada-mar fa que aquest no sigui un bon traçador per calcular la contribució d'aigua de mar.

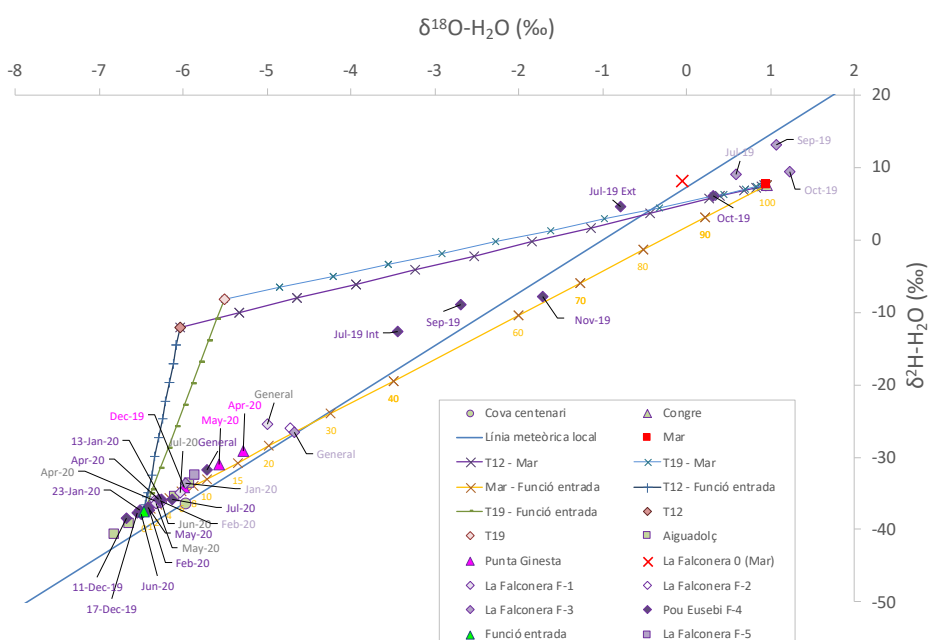


Figura 8.15. Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$, s'han representat les mostres de lixiviats, pous, surgències i aigua de mar. S'ha representat també la línia meteòrica local calculada amb dades de Barcelona. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar (Congre) i Lixiviats.

Les mostres de La Falconera, a les quals els models Cl^- vs Na^+ i Cl^- vs SO_4^{2-} ja indiquen una elevada variabilitat en la contribució d'aigua de mar, es situen en la línia de barreja entre la funció entrada i la mostra d'aigua de mar, amb una contribució propera al 100 % al punt F3 en les mostres de Jul-19, Set-19, Oct-19 i valors entre el 50 i el 80 % per a les mostres del Pou Eusebi (F4) en el mateix període. Com es va descriure en l'informe del mostreig general, una contribució de fins un 2 % de lixiviats no modificaria significativament la composició isotòpica de l'aigua, per tant els isòtops de l'aigua $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ poden ser indicadors útils de la presència de lixiviats si la contribució dels mateixos es com a mínim d'un 5 o 10%. En aquest sentit només la mostra de La Falconera F1 del mostreig general es desvia lleugerament cap a valors de barrejat amb lixiviats.

Dels paràmetres analitzats, el triti es considera un molt bon indicador de la presència de lixiviats, ja que la elevada concentració en Triti del lixiviats (fins 1000 UT) és molt diferent del contingut en triti en l'aqüífer o en l'aigua de mar. S'han realitzat models de barreja entre Cl i Triti (Figura 8.16). S'ha utilitzat com a extrem dels lixiviats els valors de la T12 i la mostra de la terrassa T19 queda fora de escala per la seva elevada concentració. S'ha afegit a més a més, models de barreja entre lixiviats (T12) i percentatges variables de barreja entre la funció entrada i mar (90 % F entrada-10 % mar, 70 % F entrada-30 % mar, 30 % F entrada-70 % mar).

La surgència de Cova Centenari se situa lleugerament per sobre de la línia de barreja entre l'extrem aqüífer i el mar, indicant una contribució baixa de lixiviats (0,2 %). De les mostres d'Aiguadolç només la recollida al Set-19 mostra un percentatge significatiu de contribució de lixiviats (0,8 %). Les quatre mostres de Punta Ginesta analitzades mostren valors de T que indiquen contribució de lixiviats entre 1,5 i 2 %.

Les mostres de la Falconera cauen la llarg de la línia de barreja entre la funció entrada i mar però moltes es desvien d'aquesta línia de barreja cap a valors superiors en T, que indiquen la presència de lixiviats. En aquest cas els percentatges de contribució dels lixiviats per les mostres també varien entre un 0,2 i un 4 % en concordança amb el model TOC vs NH₄⁺. Les mostres amb un percentatge major de lixiviats pertanyen al mostreig general (Abril-Maig-19). Les mostres de Jul-19, Set-19, Oct-19, Nov-19 mostren percentatges d'aigua de mar elevats i no es detecta amb aquest paràmetre la presència de lixiviats, excepte en la mostra recollida la Jul-19 al Pou Eusebi Interior (F-4), que mostra prop d'un 1 % de lixiviats. Les mostres del Des-19 i Gen-20 mostren una major influència de la funció entrada i una contribució de lixiviats de 0,3 %.

Si el model de barreja es realitza entre T i un altre paràmetre característic dels lixiviats, l'NH₄⁺, (Figura 8.16), els percentatges de barreja són similars, entre 0,1 i un 3 %.

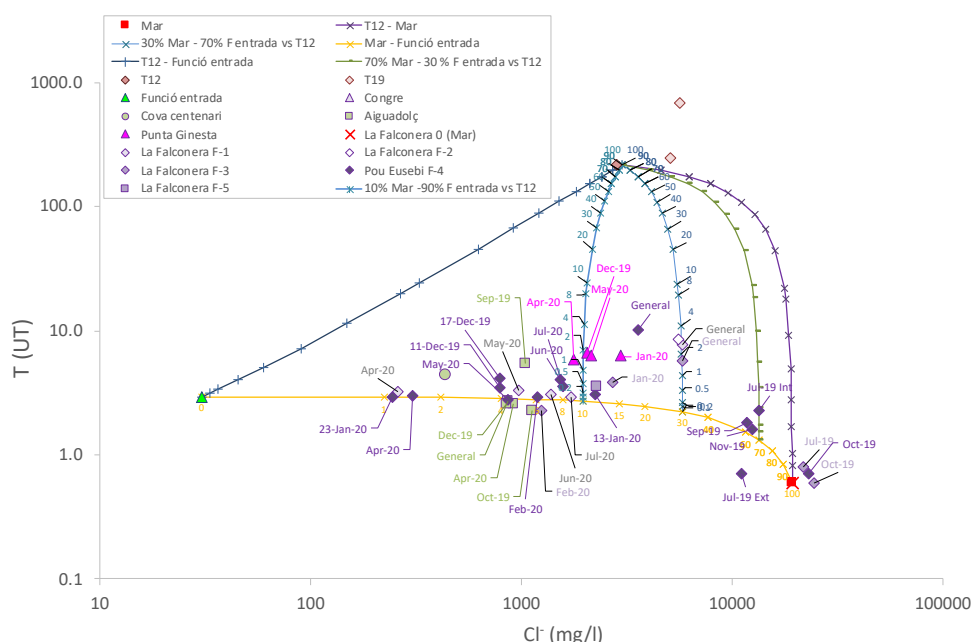


Figura 8.16a. Diagrama Cl vs Triti. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12 i T19), i models entre lixiviats i percentatges de barreja variables entre Funció entrada i Mar.

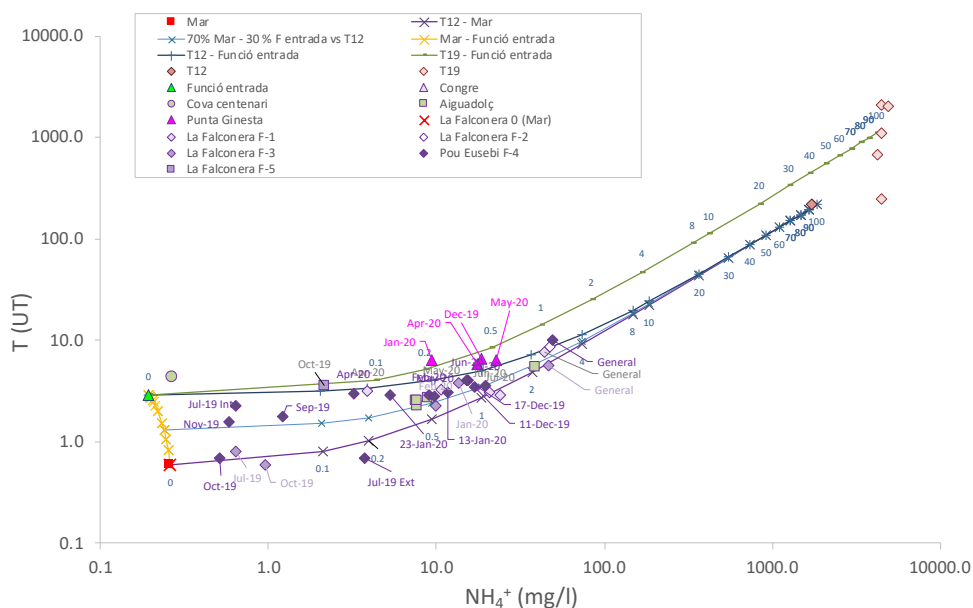


Figura 8.16b. Diagrama NH_4^+ vs T. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12 i T19), i models entre lixiviat i percentatges de barreja variables entre Funció entrada i Mar.

8.3.3.3. Composició isotòpica del Carboni Inorgànic Dissolt

En els models de barreja entre HCO_3^- i $\delta^{13}C$ les mostres es situen entre els extrems de barreja considerats. (Figura 8.17). La mostra de la surgència de Cova del Centenari mostra valors propers a la funció entrada. La mostra de la surgència Congre té valors propers a l'aigua de mar i presenta un 0,1 % de contribució de lixiviat. Les mostres de la surgència d'Aiguadolç també mostren certa contribució dels lixiviat, que oscil·la entre un 0,2 i un 1,5 %. Les mostres de Punta Ginesta també per aquest paràmetre presenten certa influència de lixiviat, entre un 0,5 i un 1 %. També es confirmen els percentatges de barreja observats per a les mostres de La Falconera. Les mostres amb més contribució d'aigua de mar no mostren contribució de lixiviat, excepte la mostra F-3 del Jul-19, on la contribució seria d'un 0,2 %. Les mostres amb més influència de l'extrem aquífer mostren percentatges de barreja amb lixiviat entre 0,2 i 1,5 %. Els valors més elevats es van produir al mostreig de Abril-Maig de 2019.

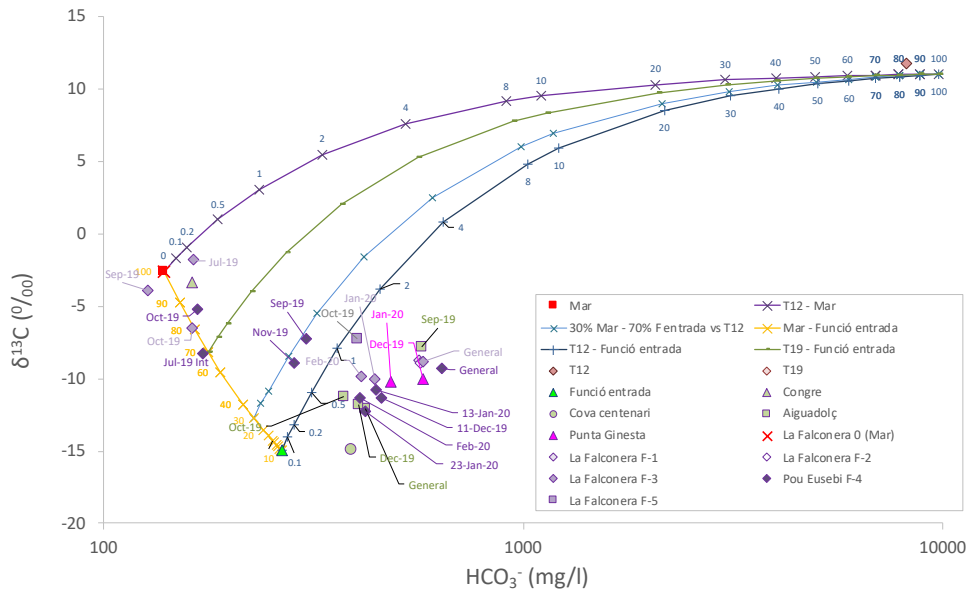


Figura 8.17. Diagrama HCO_3^- vs $\delta^{13}\text{C}$. S'han representat les mostres de lixiviat, pous, surgències i aigua de mar. S'han calculat models de barrejat teòric entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12). S'inclouen de barreja teòrica a diferents % d'aigua de mar i extrem aquífer respecte els lixiviats.

En un diagrama $\delta^{13}\text{C}$ -DIC vs concentració en NH_4^+ (Figura 8.18) es confirmen percentatges de barrejar similars per a totes les mostres.

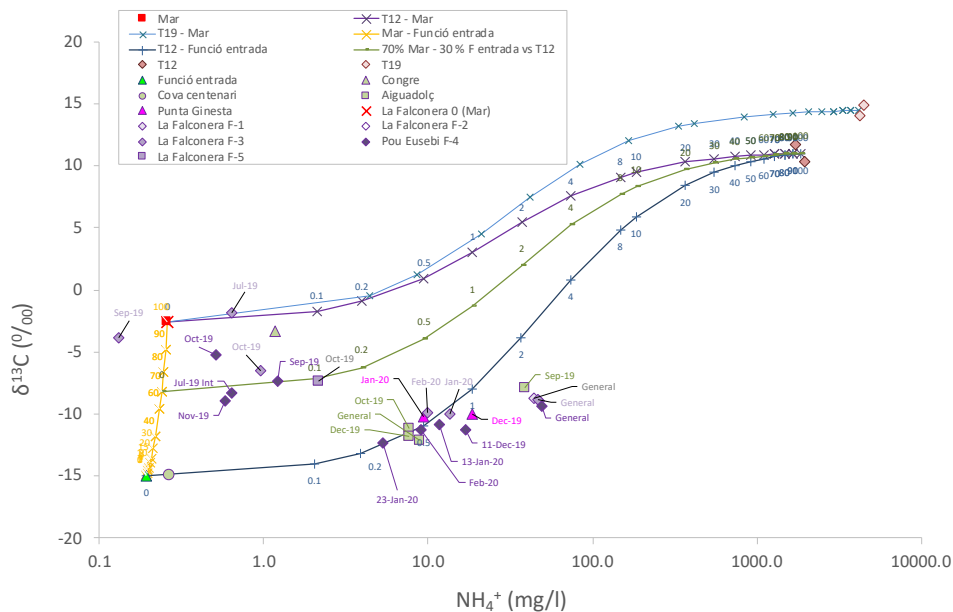


Figura 8.18. Diagrama NH_4^+ vs $\delta^{13}\text{C}$. S'han representat les mostres de lixiviat, pous, surgències i aigua de mar. S'han calculat models de barrejat teòric entre els extrems: Funció entrada, Mar i Lixiviats. S'inclou també un model de barreja entre tres extrems (30% F entrada – 70 % Mar – Lixiviats T12)

8.3.3.4. Compostos nitrogenats

Els resultats de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ han mostrat valors relacionats amb un origen orgànic del nitrogen en les mostres dels llixiviats, amb valors entre + 8,8 ‰ i + 18,4 ‰. Les mostres Congre i Cova Centenari tenen continguts baixos en NH_4^+ i no s'ha pogut determinar la seva composició isotòpica. La mostra d'Aiguadolç té valors constants de concentració en NH_4^+ (10 mg/L) amb $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ variable, dues mostres tenen una composició isotòpica compatible amb la dels llixiviats (Abr-19 i Des-19) i una (Oct-19) té valors inferiors. Les mostres de la surgència de Punta Ginesta mostren més variabilitat en la concentració d'amoni (9 a 22 mg/L) i amb valors compatibles amb els llixiviats en tres mostres. Les mostres de La Falconera tenen concentració d'amoni molt variable (entre inferior al límit de detecció i 50 mg/L). La major part de les mostres analitzades tenen valors de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ en el rang de valors dels llixiviats, fet que confirmaria la influència en concordança amb els resultats dels altres paràmetres. A més, que els valors són coincidents amb els de les terrasses i no amb els de la bassa de llixiviats. Cal destacar però, que pèrdues de xarxa de clavegueram o de fosses sèptiques poden donar composicions isotòpiques similars, però normalment l'amoni nitrifica ràpidament en el sol i el que trobem a les aigües subterrànies són nitrats. El fet de trobar amoni ens indicaria condicions reductores, fet més probable si la contaminació va lligada a llixiviats que presenten condicions fortament reductores.

Tres mostres del Pou Eusebi (Des-19, Jun-20, Jul-20) tenen valors lleugerament inferiors però propers als llixiviats. La mostra de La Falconera F5 mostra valors propers a 0 ‰. Finalment hi ha dues mostres del Pou Eusebi recollides al Gen-20 que tenen $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ molt contrastada, una té una $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ = +3,1 ‰, i l'altra té un valor molt elevat (+32 ‰). Aquestes dues mostres del Pou Eusebi es van recollir en moments molt diferenciats. La mostra amb $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ de +32 ‰ es va mostrejar el 13/01, aquesta mostra té concentració elevada en NH_4^+ i absència de NO_3^- junt amb un Eh baix (13). La mostra amb $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ de +3,1 ‰ es va mostrejar el 23/01, aquesta mostra té 7 mg/L d' NH_4^+ i 4,8 mg/L de NO_3^- amb un Eh més elevat (113).

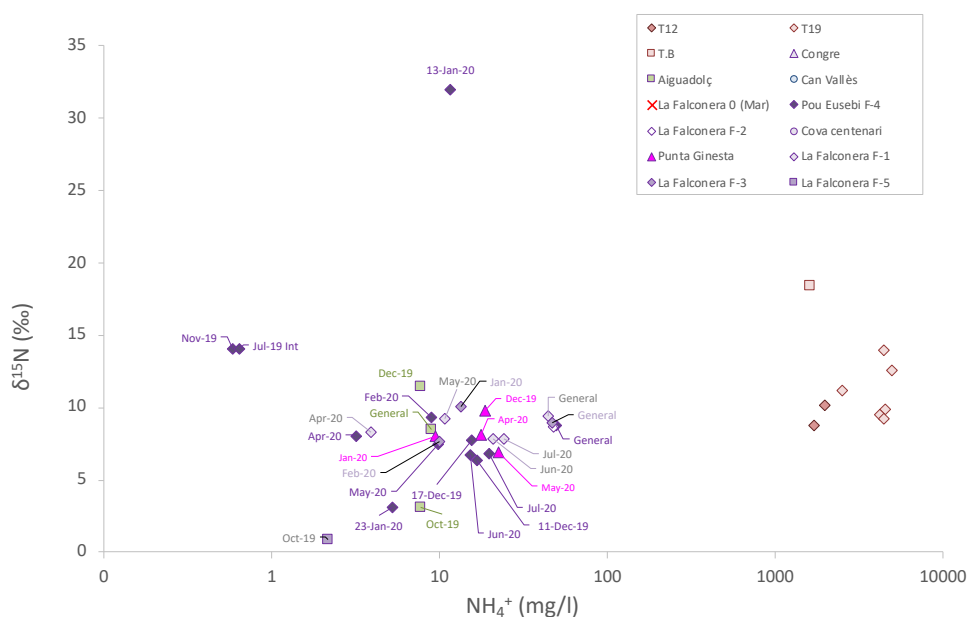


Figura 8.19. Diagrama NH_4^+ vs $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$, s'han representat les mostres de llixiviats, surgències i pous amb concentració suficient com per ser analitzades.

Els resultats de la composició isotòpica de nitrogen i oxigen del nitrat dissolt s'han representat en un diagrama $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ vs $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ (Figura 8.20). En el mateix gràfic s'han representat els valors bibliogràfics de les possibles fonts de nitrat a les aigües subterrànies i les tendències que s'esperen si es produeixen processos de desnitrificació. També s'ha representat la variació de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ dels llixiviats prenent un valor arbitrari de $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ de +1,5 ‰ a efectes de representació de les mostres.

Les mostres de Cova Centenari i Aiguadolç (Oct-19 i Abr-20) mostren $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ i $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ compatibles amb un origen orgànic dels nitrats. Aquest origen orgànic pot estar relacionat amb la nitrificació de l'amoni dels llixiviats, ja que la seva composició isotòpica està en el rang dels valors dels llixiviats, però des d'un punt de vista isotòpic no es pot descartar un altre origen orgànic, relacionat per exemple, amb aigües residuals. Tres mostres, dues de La Falconera (Maig-20) i una d'Aiguadolç (Abril-19) mostren valors isotòpics que segueixen les línies teòriques de processos de desnitrificació, això implica que per aquestes mostres el nitrat s'està atenuant de manera natural a l'aqüífer. La desnitrificació introdueix un cert grau d'incertesa en la determinació de l'origen del nitrat, donat que el procés pot donar pendents diferents. L'origen del nitrat per tant per aquestes dues mostres podria ser tant químic com orgànic.

La mostra de la Falconera F-5 amb $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ elevada però $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ baixa no es pot explicar per processos de desnitrificació que incrementarien tots dos isòtops en el nitrat residual. Una explicació alternativa seria la reducció dissimilatòria de nitrat a amoni (DNRA), que generaria inicialment un amoni de composició isotòpica baixa (aquesta mostra té el un valor de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ de +0,9 ‰, el més baix mesurat).

Tres mostres recollides a l'entorn de La Falconera (Abr-20 i Gen-20) mostren valors de $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ lleugerament inferiors als llixiviats però situats en el camp del nitrat d'origen orgànic. Finalment dues de les mostres presenten valors molt baixos de $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$.

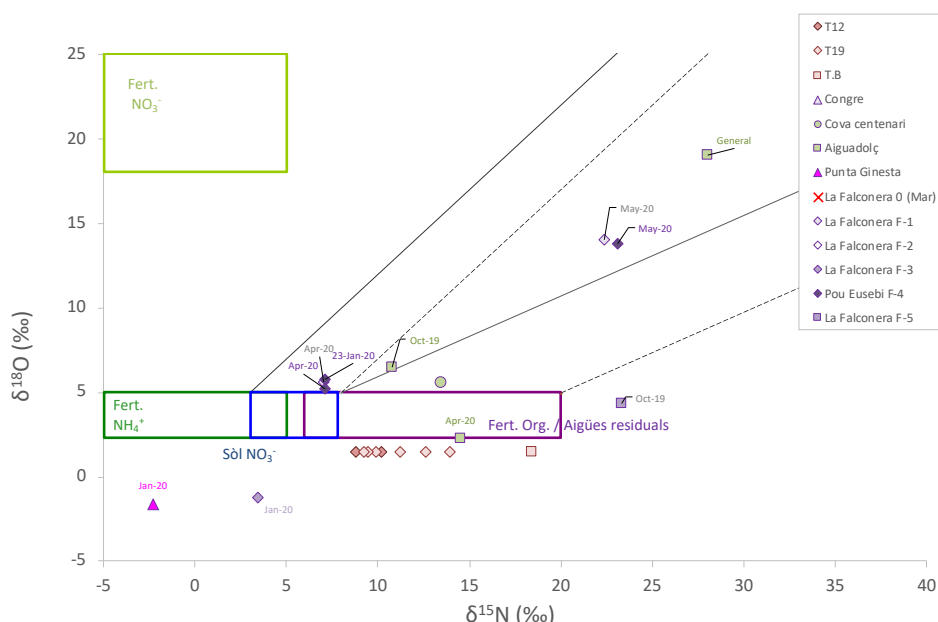


Figura 8.20. Diagrama $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3^-}$ vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3^-}$, s'han representat les mostres de les surgències amb concentració suficient per realitzar l'anàlisi. S'ha representat també el rang de variació de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4^+}$ dels llixiviats posant un valor de $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3^-}$ de +1.5 ‰ a efectes de representació en el gràfic.

Per a la major part de les mostres les anàlisis dels compostos nitrogenats han permès determinar l'origen orgànic tant del NH_4^+ com del NO_3^- , fet que confirma la influència dels lixiviatos al combinar-los amb altres paràmetres. S'ha detectat a més que es produeix puntualment desnitrificació en algunes mostres i en una mostra les dades concorden amb processos de DNRA.

8.3.3.5. Composició isotòpica de sofre i oxigen del sulfat dissolt.

Donada la baixa concentració en sulfat dels lixiviatos, aquest traçador no es considera útil per determinar la presència de lixiviatos a les aigües. En canvi és un traçador útil per determinar el percentatge d'intrusió marina en una mostra i s'ha proposat el seu us com a possible traçador de processos de sulfato-reducció. Les mostres de les surgències s'han representat en un diagrama $\delta^{34}\text{S}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ (Figura 8.21). Les mostres de la funció entrada cauen en el camp de sulfat natural del sol. La mostra de la surgència Cova Centenari cau fora de la línia de barreja entre funció entrada i l'aigua de mar. Els valors isotòpics es poden explicar per influència d'aigües residuals, però també es poden explicar com una barreja ternària entre sulfat de mar i sulfat del sòl i fertilitzants.

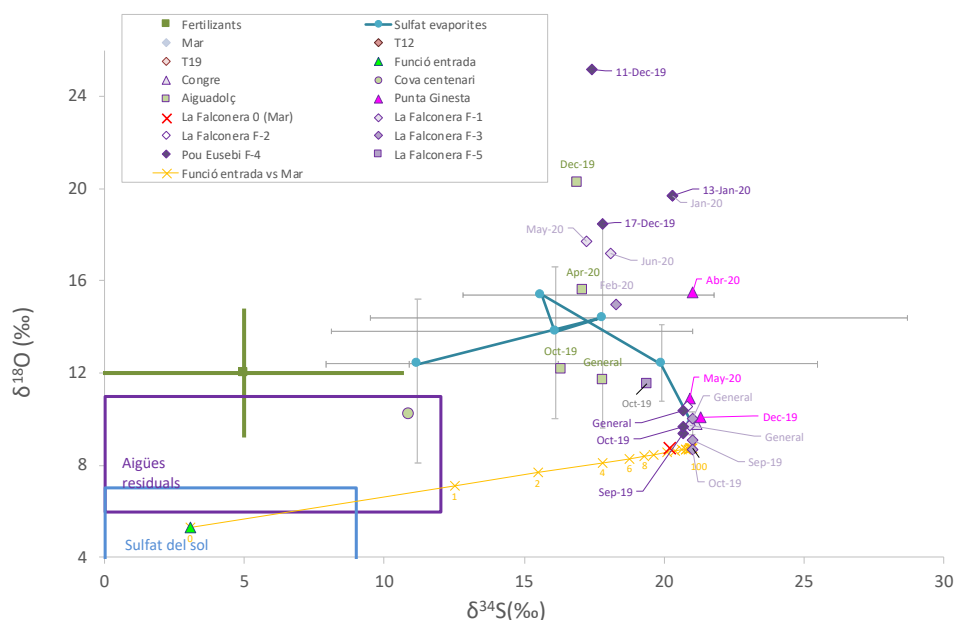


Figura 8.21. Diagrama $\delta^{34}\text{S}$ vs $\delta^{18}\text{O}$. Els valors de les evaporites al llarg dels temps geològics són de (Claypool et al. 1980b), s'ha representat els valors promig, les barres d'error representen el màxim i mínim. Els valors d'oxidació de sulfurs i sulfat del sòl són de (Clark, I. D., Fritz 1997). Els valors de fertilitzants de (Vitòria et al. 2004), en aquest cas el punt representa la mitja dels valors analitzats i les barres representat la desviació estàndard. S'ha inclòs valors de aigües residuals d'estudis inèdits.

Les mostres de la surgència d'Aiguadolç tenen valors de $\delta^{34}\text{S}$ compatibles amb una barreja entre l'extrem aquífer i l'aigua de mar amb un percentatge de mar inferior al 4 %, concordant amb els paràmetres químics, no obstant la $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat dissolt és molt superior i variable estacionalment, fent que les mostres estiguin fora de la línia de barreja. La major part de les mostres de La Falconera es situen a prop de la composició isotòpica de l'aigua de mar. Cinc mostres (Pou Eusebi 11/12/19, 17/12/19, 13/01/19, Falconera F3 Gen-20, i Falconera F5 Oct-19) tenen valors inferiors de sofre i molt superiors per l'oxigen del sulfat. Les mostres de Punta Ginesta també mostren valors de $\delta^{34}\text{S}$ compatibles amb aigua de mar però valors molt superiors per l'oxigen del sulfat.

Els models de barreja realitzats entre la concentració en sulfat i la composició isotòpica de S i O del sulfat dissolt només inclouen la barreja entre aigua de mar i la funció entrada, ja que els lixiviats presenten una concentració baixa o per sota del límit de detecció en sulfat i no s'ha analitzat la seva composició isotòpica. En el diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{34}S$ (Figura 8.22) s'observa com la mostra del Congre té una composició isotòpica que indicaria que en un 100 % és aigua de mar. La mostra de la Cova Centenari s'apropa als valors de la funció entrada. Les mostres d'Aiguadolç també estan situades en la línia de barreja entre l'extrem aquífer i l'aigua de mar, amb un 5 % de barreja d'aigua de mar. Les mostres de la surgència de Punta Ginesta es situen amb valors entre un 10 i 15 % de contribució de mar, però estan situades per sobre de la línia de barreja fet que pot indicar la presència de processos de sulfato-reducció. Les mostres de l'entorn de la Falconera estan en una línia de barreja entre aigua de mar i l'extrem aquífer. Els percentatges de barreja entre aigua de mar i funció entrada oscil·len estacionalment entre un 4 i un 100 %. Algunes mostres estan situades lleugerament per sobre de la línia de barreja. En un diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{18}O_{SO_4}$ (Figura 8.23) la desviació cap a valors superiors a la línia de barreja és molt més clara i es dona sobretot a les mostres amb concentració baixa en sulfat. Aquest increment en $\delta^{34}S$ i $\delta^{18}O_{SO_4^{2-}}$ junt amb la disminució de concentració en sulfat mencionada anteriorment concorda amb la presència de processos de sulfato reducció, ja apuntats per la Falconera en treballs previs per (Custodio et al. 1993). Tot i que s'hauria d'observar un major increment en la $\delta^{34}S$, d'una banda estudis recents mostren la complexitat del fraccionament isotòpic de l'oxigen del sulfat (Brunner et al. 2005) que pot mostrar en funció de la velocitat de reacció pendents més o menys pronunciades entre $\delta^{34}S$ i $\delta^{18}O_{SO_4^{2-}}$, i d'altra banda, les mostres amb valors molt elevats de $\delta^{18}O_{SO_4^{2-}}$ tenen entre un 88 i un 96 % d'influència de l'extrem aquífer, i són mostres que es van recollir després de fortes pluges al desembre i al gener, que van fer créixer el cabal de La Falconera i Aiguadolç, i que durant el mostreig es va fer evident la pudor de les surgències que podria ser deguda en part a processos de sulfato-reducció.

Per a les mostres de La Falconera, exceptuant les recollides en el mostreig general s'observa una correlació positiva entre el contingut d' NH_4^+ i la $\delta^{18}O_{SO_4^{2-}}$, per tant els valors molt elevats de $\delta^{18}O_{SO_4^{2-}}$ sembla que estan relacionats amb la influència dels lixiviats (Figura 8.24). Les mostres de les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta també tenen valors elevats de $\delta^{18}O_{SO_4^{2-}}$, i mostren elevada variabilitat estacional.

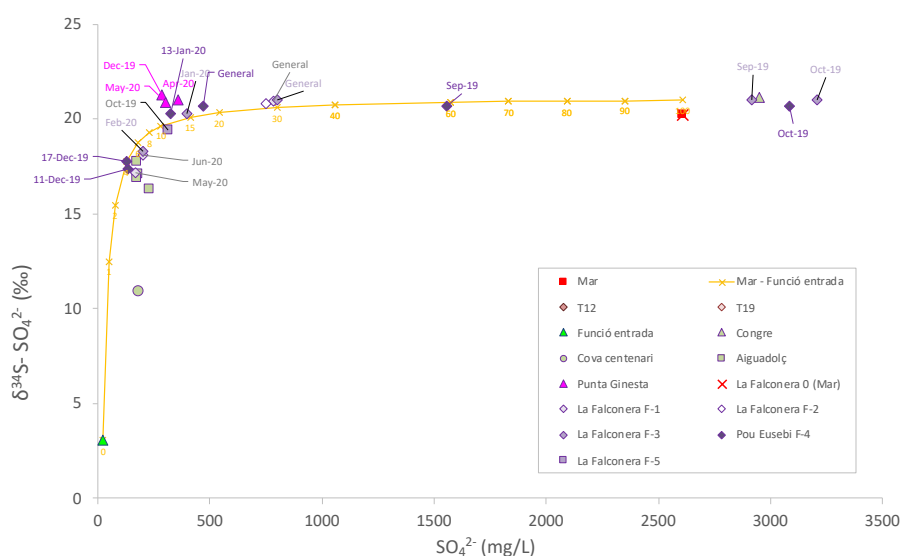


Figura 8.22. Diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{34}S$. S'han representat les mostres de punts de control i aigua de mar. S'ha calculat un model de barreja teòric entre els extrems Funció entrada i Mar.

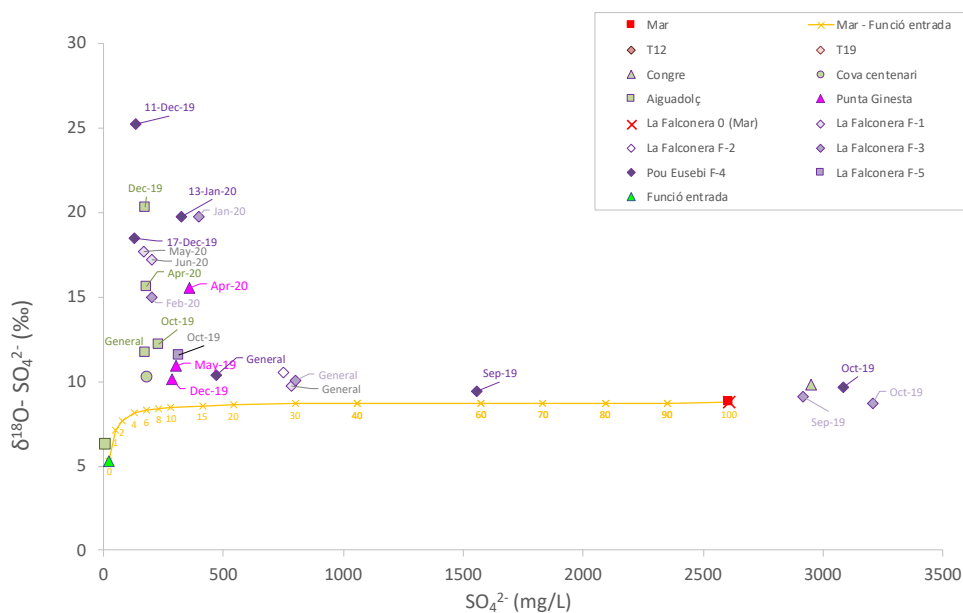


Figura 8.23. Diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$. S'han representat les mostres de punts de control i aigua de mar. S'ha calculat un model de barreja teòric entre els extrems Funció entrada i Mar.

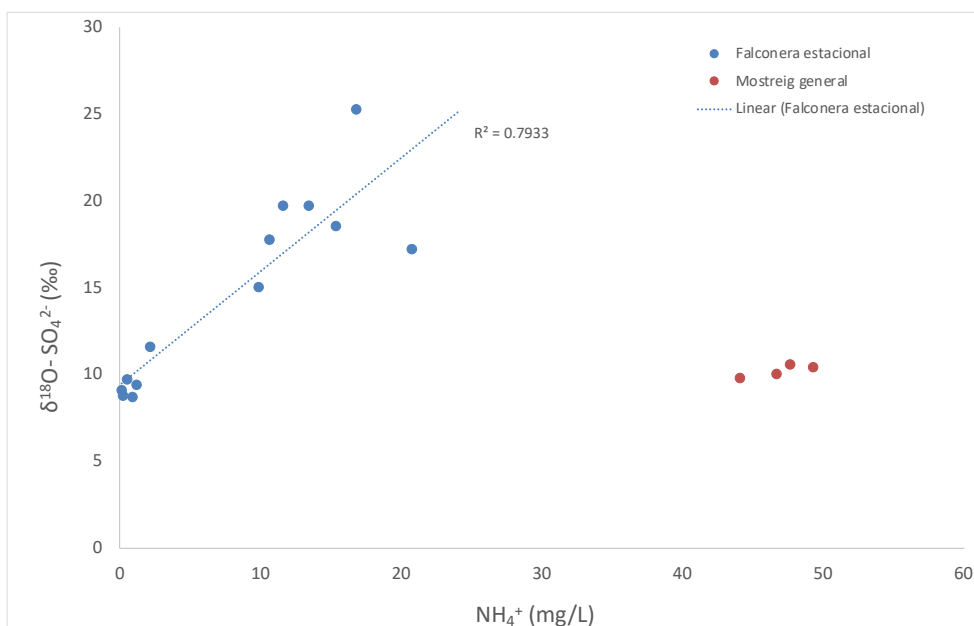


Figura 8.24. Diagrama NH_4^+ vs $\delta^{18}\text{O}-\text{SO}_4^{2-}$, s'han representat totes les mostres de La Falconera amb dades estacionals separades de les mostres recollides en el mostreig general.

8.3.3.6. Resum dels traçadors.

Totes les mostres de surgències estudiades mostren influència del lixiviat per algun o tots els paràmetres analitzats. La única mostra on la influència no es clara o no es detecta per la major part dels paràmetres es la Cova Centenari. Per a les altres surgències (Aiguadolç, Falconera i Punta Ginesta) s'observa la influència

del lixiviat, i una variabilitat estacional en aquest influència. Per a molts dels paràmetres s'han pogut estimar percentatges de barreja amb lixiviat, que oscil·len entre un 0.1 i un 3 %.

8.3.4. Interpretació de resultats. Mostres estacionals pous

En la Font de Piques i els Piezòmetres (La Pleta i Vallgrassa) s'han recollit 4 mostres. En Can Vallés 2 mostres, en Can Planes 6 mostres. En el Pou Vell s'han recollit 7 mostres, i en els Pous Fontanilles y UTE 8 mostres. Els pous amb més representativitat estacional són els Pous Samitier i Pou Carbó amb 10 mostres recollides. Les dades s'han interpretat en base als mateixos models de barreja entre paràmetres químics i isotòpics descrits en la secció 6. Els extrems utilitzats han estat aigua de mar, lixiviat (T12 i T19), i funció entrada. Les dades de la química de l'aigua de mar s'ha pres la mostra La Falconera F-0 i com a funció entrada el promig dels valors de les mostres dels aqüífers epicàrstics. En alguns dels gràfics s'hi ha afegit models de barreja addicionals entre els extrems dels lixiviat (T19) i funció entrada.

8.3.4.1. Paràmetres químics

En els models de barreja realitzats entre Cl^- i Na^+ (Figura 8.25) les mostres de la major part dels pous segueixen la línia de barreja entre aigua de l'aqüífer i aigua de mar, però amb percentatges baixos de l'extrem mar. No obstant, això no necessàriament indica una contribució d'aigua de mar. Qualsevol font que aportí ClNa presentarà el mateix increment acoblat entre Cl^- i Na^+ . Les mostres de Can Vallés, Font de Piques i els dos piezòmetres presenten valors baixos de tots dos paràmetres. La mostra de Pou Fontanilles també presenta valors baixos i poca variació estacional, i la mostra Pou UTE presenta els valors més elevats de Cl^- i Na^+ i poca variació estacional. Les mostres Pou Samitier, Can Planes i Pou Vell són les que presenten més variabilitat estacional. Finalment la mostra de Pou Carbó presenta menys variabilitat i valors entremetjats.

En els models de barreja realitzats entre Cl^- i SO_4^{2-} (Figura 8.25) les mostres no s'ajusten al model de barreja entre la funció entrada i el mar. Les mostres de Can Vallés, Font de Piques i els dos piezòmetres, com en el model anterior, presenten valors baixos de tots dos paràmetres. La mostra de Pou Fontanilles presenta valors elevats en Cl^- i baixos en SO_4^{2-} i poca variació estacional, i la mostra Pou UTE presenta els valors més elevats en tots dos paràmetres i poca variació estacional. Les mostres Pou Samitier, Can Planes i Pou Vell també són les que presenten més variabilitat estacional. Finalment la mostra de Pou Carbó presenta menys variabilitat i valors entremetjats.

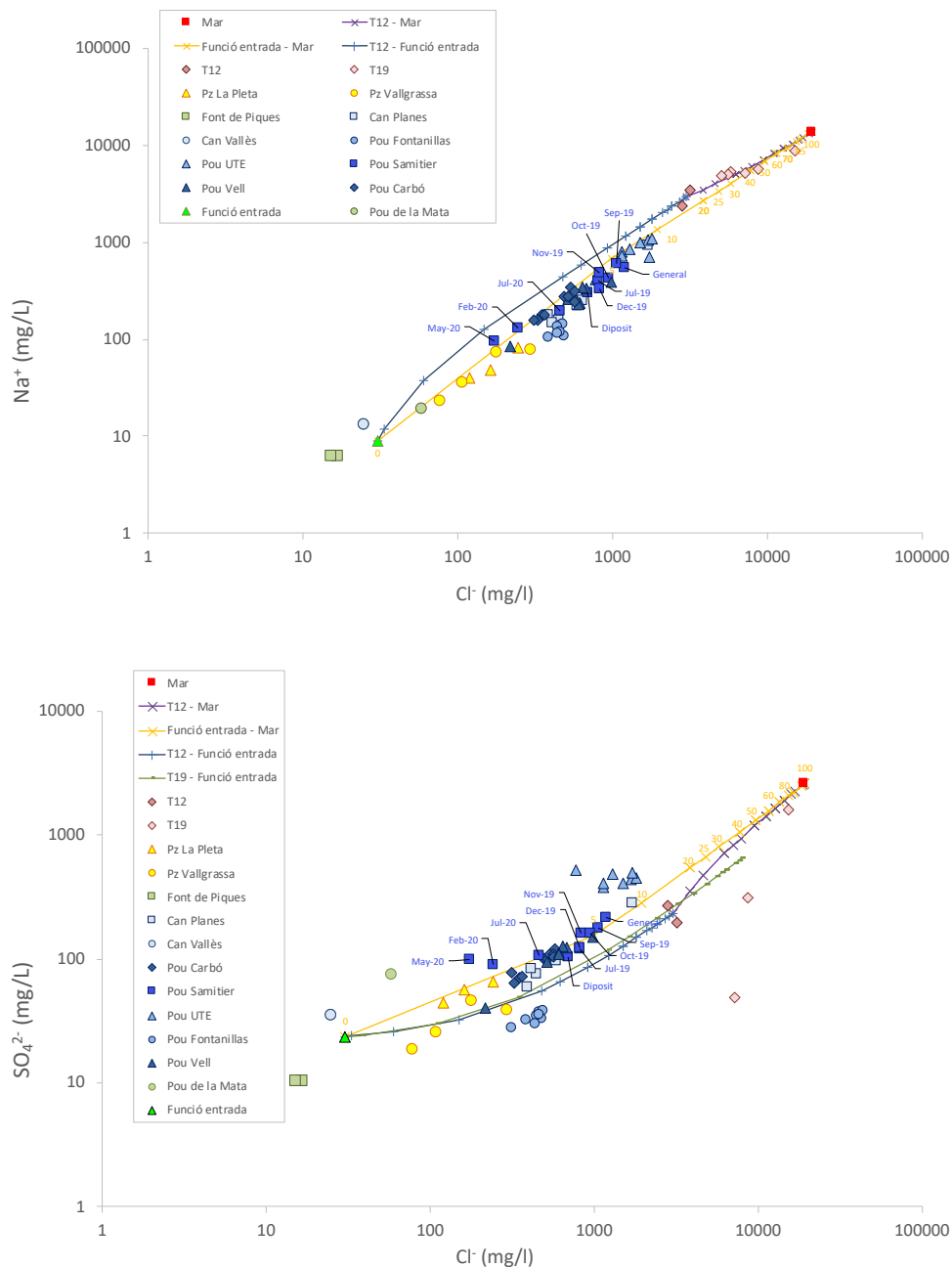


Figura 8.25. Diagrama Cl⁻ vs Na⁺ (a dalt) i Cl⁻ vs SO₄²⁻ (a sota). S'han representat les mostres de lixiviats, pous i el valor teòric de l'aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Mar (Falconera F-0) i Lixiviats (T19 i T12).

En un diagrama amb dos paràmetres característics dels lixiviats (TOC i NH₄⁺) s'han realitzat els models de barreja entre mateixos extrems (Figura 8.26). En aquest cas però, s'ha considerat també models entre la funció entrada i els valors màxim i mínim de TOC de la T19, donada la elevada variabilitat d'aquest paràmetre als lixiviats.

En aquest model de barreja entre TOC i NH₄⁺, a la majoria de les mostres del Pou Samitier es pot observar clarament la contribució dels lixiviats, que es pot estimar entre un 0,1 i un 0,5 %. Algunes de les mostres del Pou Carbó també estarien en la línia de barreja amb els lixiviats amb percentatges similars o

lleugerament superiors. La mostra de Can Planes te una elevada variabilitat en aquests dos paràmetres i puntualment també estaria en la línia de barreja amb els lixiviats (Feb-20 i Maig-20). Les mostres de Can Vallès, Pou UTE i Pou Fontanillas mostren en general menys variabilitat i valors més baixos de tots dos paràmetres. Les mostres del piezòmetre de la La Pleta tenen continguts elevats en TOC però baixos en NH_4^+ .

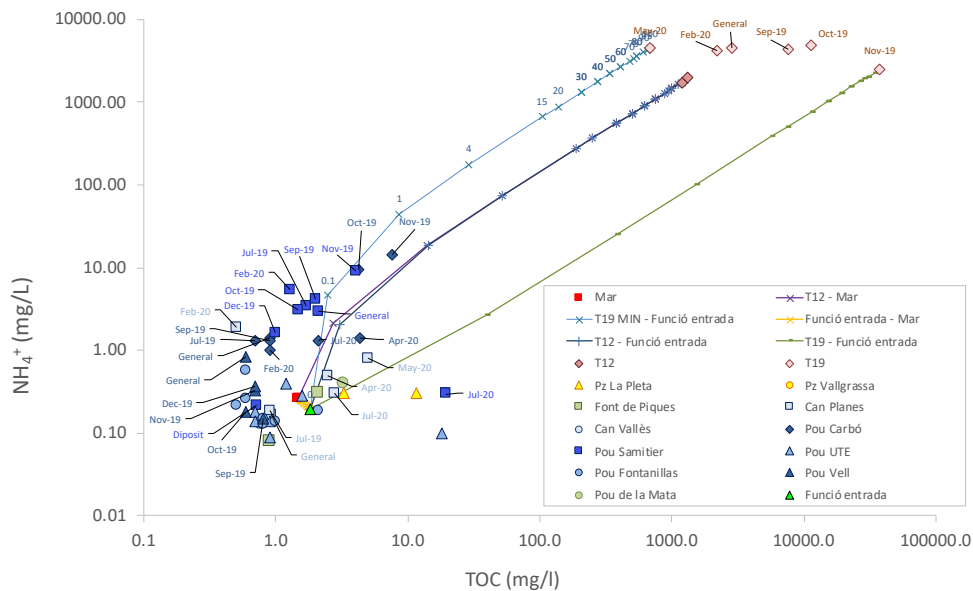


Figura 8.26. Diagrama TOC vs NH_4^+ . S'han representat les mostres de lixiviats, pous, i aigua de mar. S'han calculat models de barrejat teòric entre els extrems Funció entrada, Mar i Lixiviats. Dos dels models s'han fet amb els valors màxim i mínim de la T19.

8.3.4.2. Isòtops de l'aigua

S'han realitzat models de barreja entre els extrems considerats utilitzant la composició isotòpica de $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ de l'aigua (Figura 8.27). S'ha representat també la línia meteòrica local, calculada amb les dades de la estació de Barcelona (IAEA/WMO 2015). El fet que la composició isotòpica de l'aigua mostri variacions estacionals en l'aqüífer i que a percentatges de barreja amb aigua de mar petits no es pugui distingir entre la línia meteòrica local i la línia de barreja funció entrada-mar fa que aquest no sigui un bon traçador per calcular la contribució d'aigua de mar. Malgrat que aquest traçador no es veu afectat per interferència amb intrusió marina, ja que les composicions isotòpiques són molt diferents, una contribució de fins un 1% de lixiviats no modificaria significativament la composició isotòpica de l'aigua, per tant els isòtops de l'aigua $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ poden ser indicadors útils de la presència de lixiviats si la contribució dels mateixos es com a mínim d'un 5 o 10%. En aquest sentit cap de les mostres estacionals dels pous mostra valors barrejats amb lixiviats.

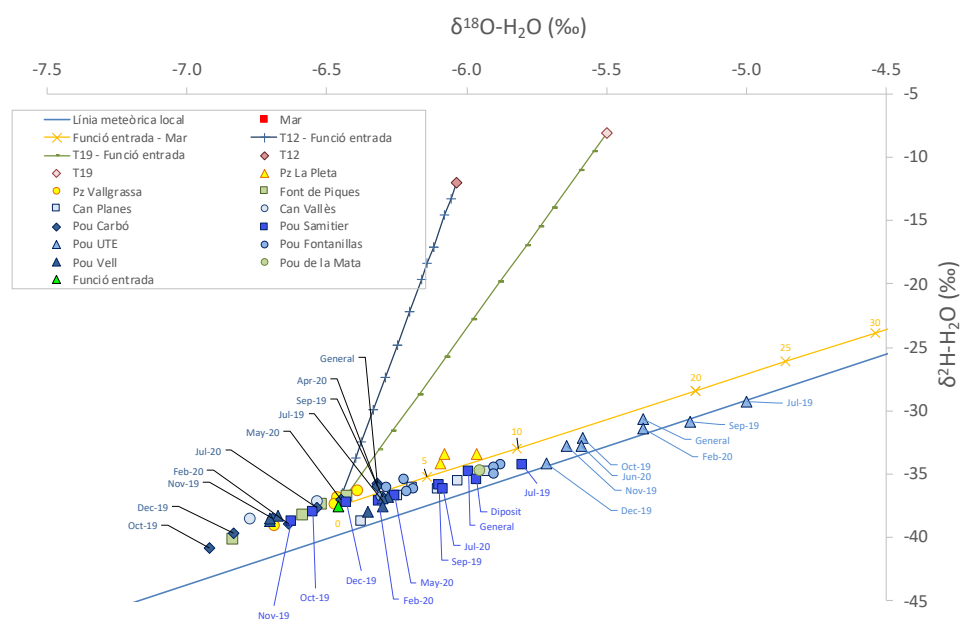


Figura 8.27. Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$, s'han representat les mostres de lixiviats, pous, surgències i aigua de mar. S'ha representat també la línia meteòrica local calculada amb dades de Barcelona. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Lixiviats i Mar.

Totes les mostres tenen variabilitat estacional amb valors més elevats en els mes de juliol i menors en Oct-Nov-Des. Les mostres del Pou UTE tenen els valors més elevats de deuteri i oxigen, que concordarien amb una contribució per intrusió marina segons el model Cl^- vs Na^+ , tot i que en el model Cl^- vs SO_4^{2-} s'observa que hi ha una font addicional de sulfat. Les mostres de Can Planes, Pou Fontanilles i el piezòmetre de La Pleta tenen continguts mitjans, i les mostres amb valors isotòpics més baixos són el Pou Carbó, Pou Vell, Font de Piques, Piezòmetre de Vallgrassa i Can Vallès. Les mostres del Pou Samitier són les que presenten més variabilitat estacional.

Dels paràmetres analitzats, el triti es considera un bon indicador de la presència de lixiviats, ja que la elevada concentració en Triti del lixiviats (fins 1000 UT) és molt diferent del contingut en triti en l'aqüífer o en l'aigua de mar. S'han realitzat models de barreja entre Cl^- i Triti (Figura 8.28). Al gràfic la mostra de la terrassa T19 queda fora de escala per la seva elevada concentració.

En la Figura 8.28 s'observen que totes les mostres queden per sota de la línia de barreja entre l'extrem aqüífer i el mar. De totes maneres la única mostra que s'esperaria que estigui sobre aquesta línia és la del Pou UTE, que els altres paràmetres suggereixen que hi ha entre un 5 i un 10 % d'intrusió marina. Totes les mostres analitzades tenen contingut en T inferior a les mostres de la funció entrada. Cal destacar però que donat que el pou de Can Vallès té valors més elevats de T que la majoria de les mostres dels pous de l'aqüífer, agafar un extrem diferent, com s'ha posat d'exemple fent una barreja entre la T12 i el Pou Fontanilles, posaria de manifest la influència, sempre inferior a un 1% dels lixiviats a algunes de les mostres del Pou Samitier, Pou Vell i Pou Carbó.

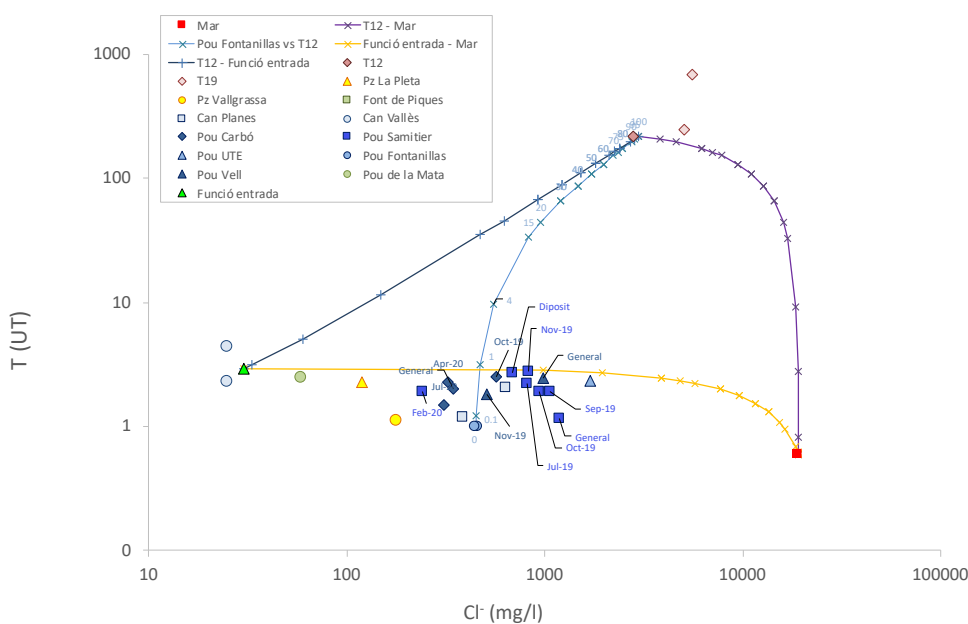


Figura 8.28. Diagrama Cl- vs Triti. S'han representat les mostres de lixiviats, pous, i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12). S'inclou un model d'exemple fet entre la T12 i el Pou Fontanillas.

8.3.4.3. Composició isotòpica del Carboni Inorgànic Dissolt

La Figura 8.29 mostra els models de barreja entre HCO_3^- i $\delta^{13}\text{C}$. La baixa variabilitat observada en els pous de l'aqüífer suggereix un control de la concentració en DIC i la composició isotòpica del bicarbonat relacionat principalment amb les característiques carbonàtiques de l'aqüífer del Garraf. En aquest sentit per una influència de lixiviats per sota d'un 1% no s'espera un canvi significatiu en els valors de $\delta^{13}\text{C}$ -DIC. No obstant a la figura s'observa una certa influència dels lixiviats, sempre inferior a un 1% en algunes de les mostres del Pou Samitier i del Pou Carbó, i no tan clarament en una de les mostres del Pou Vell. En aquest cas també, donat que no s'espera influència d'aigua de Mar, excepte en el Pou UTE, també s'ha afegit un model de barreja entre el Pou Fontanillas i la T12, que faria incrementar lleugerament els percentatges de barreja.

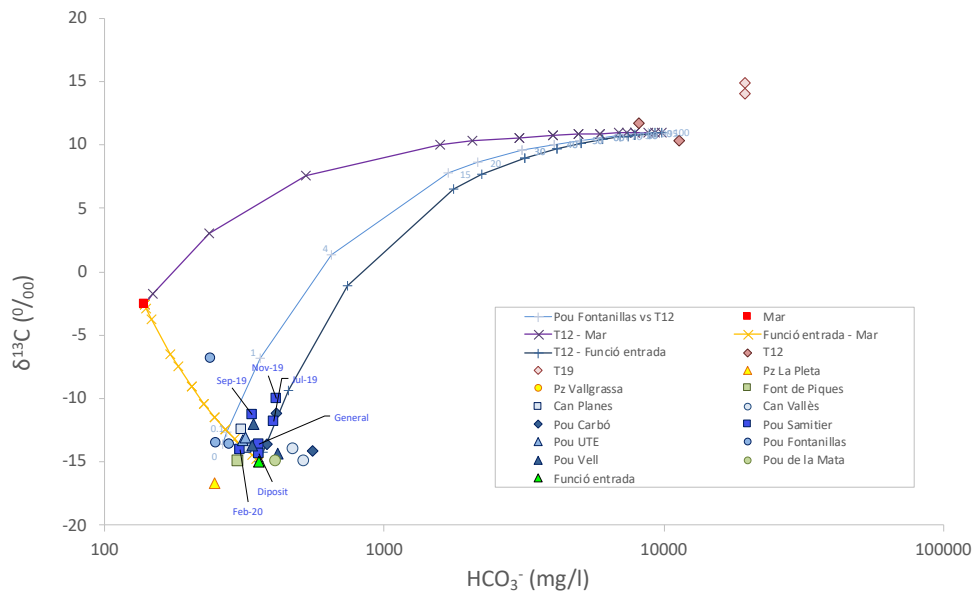


Figura 8.29. Diagrama HCO_3^- vs $\delta^{13}\text{C}$. S'han representat les mostres de lixiviats, pous i aigua de mar. S'han calculat models de barreja teòrics entre els extrems Funció entrada, Mar i Lixiviats (T12). S'inclou un model fet entre el Pou Fontanillas i T12.

8.3.4.4. Compostos nitrogenats

Els resultats de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ es mostren a la Figura 8.30. Els lixiviats de les terrasses tenen valors entre + 8,8 ‰ i + 14 ‰ i la mostra de la bassa té un valor de +18,4 ‰. La major part de les mostres dels pous que presenten suficient concentració d'amoni dissolt per poder determinar la $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ són del Pou Samitier (6 mostres) i del Pou Carbó (5 mostres). Puntualment s'ha pogut analitzar una mostra del Pz de La Pleta, una del Pz de Vallgrassa i una de Can Planes. Tres mostres del Pou Samitier i tres mostres del Pou Carbó tenen valors de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ compatibles amb els valors dels lixiviats, concretament amb els valors de les terrasses. Cal destacar però, que pèrdues de xarxa de clavegueram o de fosses sèptiques poden donar composicions isotòpiques similars als lixiviats, però normalment l'amoni nitrifica ràpidament en el sol i el que trobem a les aigües subterrànies són nitrats. El fet de trobar amoni ens indicaria condicions reductores, fet més probable si la contaminació va lligada a lixiviats que presenten condicions fortament reductores. Dues mostres del Pou Samitier i dues del pou Carbó presenten valors de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ inferiors, que podrien ser producte d'una barreja amb altres fonts. Una de les mostres del Pou Samitier mostra valors lleugerament superiors als lixiviats. La mostra del piezòmetre de La Pleta té valors de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ compatibles amb els lixiviats de la Bassa. Les mostres de Can Planes i el Piezòmetre de Vallgrassa tenen valors al voltant del zero, que podrien tenir un origen lligat a fertilitzants.

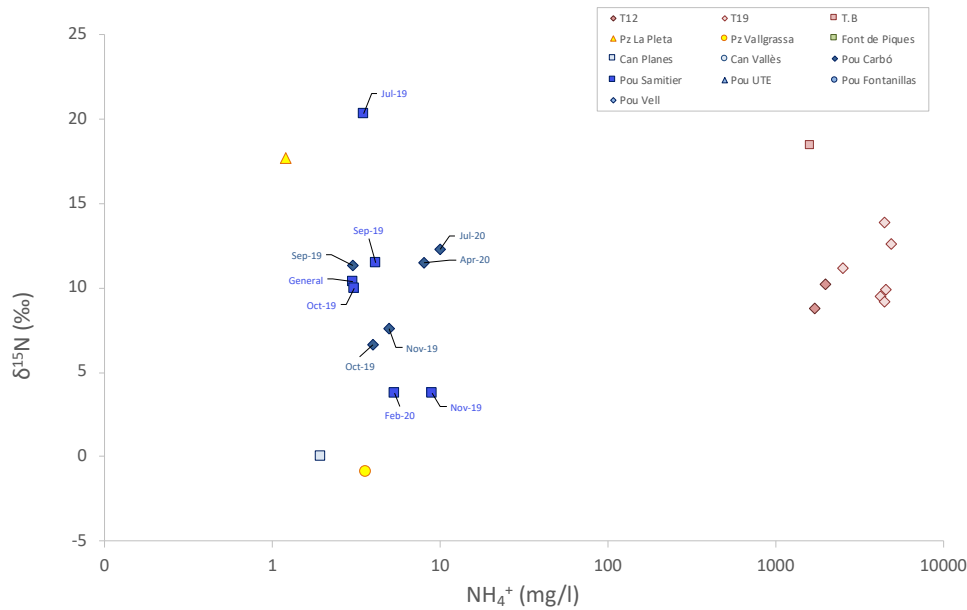


Figura 8.30. Diagrama NH_4^+ vs $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$, s'han representat les mostres de lixiviat, surgències i pous amb concentració suficient com per ser analitzades.

Els resultats de la composició isotòpica de nitrogen i oxigen del nitrat dissolt s'han representat en un diagrama $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ vs $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ (Figura 8.31). En el mateix gràfic s'han representat els valors bibliogràfics de les possibles fonts de nitrat a les aigües subterrànies i les tendències que s'esperen si es produeixen processos de desnitrificació. També s'ha representat la variació de $\delta^{15}\text{N}\text{-NH}_4^+$ dels lixiviat prenent un valor arbitrari de $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ de +1,5 ‰ a efectes de representació de les mostres.

Els resultats han mostrat un origen orgànic per a la majoria de les mostres del Pou Samitier, Pou Carbó, i Pou Vell. Aquest origen orgànic pot estar relacionat amb la nitrificació de l'amoni dels lixiviat, ja que la seva composició isotòpica està en el rang dels valors dels lixiviat, però des d'un punt de vista isotòpic no es pot descartar un altre origen orgànic, relacionat per exemple, amb aigües residuals. A les mostres de Can Vallès el nitrat pot tenir un origen natural (la concentració es d'uns 7 mg/L). A les mostres Can Planes i Pou Fontanillas el nitrat pot estar relacionat amb fertilitzants químics (tenen concentracions entre 20 i 50 mg/L), fet que concorda amb els usos del sol observats a la zona, i a les mostres el Pou UTE, els valors més elevats de $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ suggereixen un origen lligat o bé a fertilitzants o bé a explosius, en aquest cas la segona hipòtesi seria la que concordaria amb els usos del sol.

La major part de les mostres dels Pous Samitier, Pou Carbó i Pou Vell presenten poca variabilitat de $\delta^{34}\text{S}$ (entre +15 i + 17 ‰) i més variació en la $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat dissolt (entre +9 i + 15 ‰). Tot i que els valors observats es podrien explicar com una barreja entre sulfat del sol i sulfat procedents de evaporites, la elevada variabilitat en la $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat s'ha observat també en mostres de les surgències clarament afectades per lixiviats. Les mostres d'aquests tres punts presenten també una elevada variabilitat en la $\delta^{18}\text{O}$ fet que pot reflectir la presència de processos de sulfato-reducció. Per exemple la mostra del Pou Samitier de Nov-19 més la que mostra valors més elevats de $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat, també és la mostra amb percentatge de desnitrificació més elevat i continguts en NH_4^+ i TOC elevats, per tant els valors elevats de $\delta^{18}\text{O}$ podrien estar lligats a processos de sulfato-reducció lligats a la presència de lixiviats, com ja s'ha observat a diverses surgències.

Les mostres de Can Planes i Pou Fontanillas que per altres paràmetres tenen una influència de fertilitzants cauen lluny dels valors isotòpics de fertilitzants i tenen valors de $\delta^{34}\text{S}$ en el mateix rang, entre +15 i + 17 ‰, però no mostren elevada variabilitat ni valors elevats de $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat dissolt (entre +7 i +10 ‰).

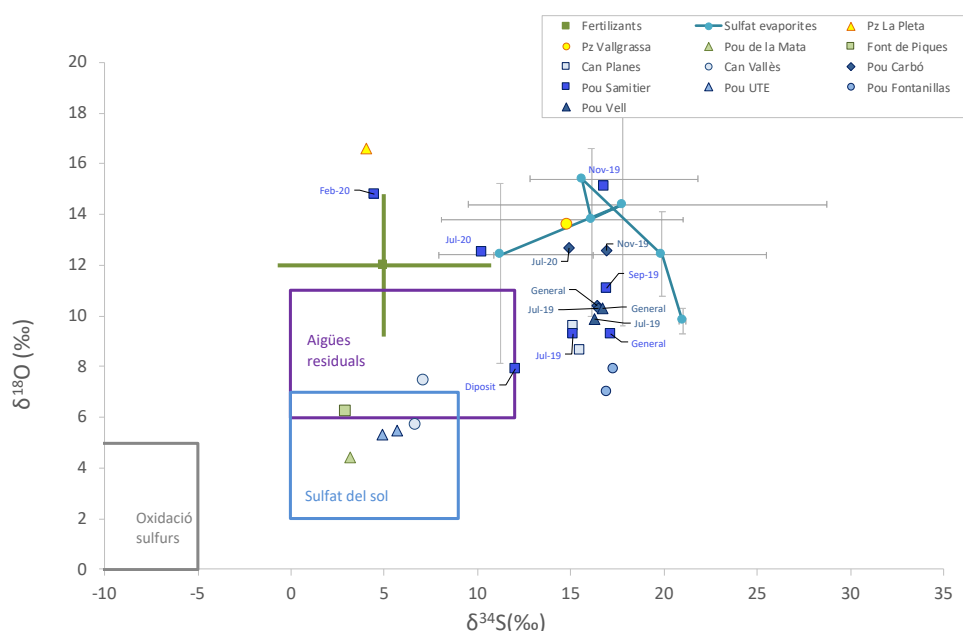


Figura 8.32. Diagrama $\delta^{34}\text{S}$ vs $\delta^{18}\text{O}$. Els valors de les evaporites al llarg dels temps geològics són de (Claypool et al. 1980b), s'ha representat els valors promig, les barres d'error representen el màxim i mínim. Els valors d'oxidació de sulfurs i sulfat del sòl són de (Clark, I. D., Fritz 1997). Els valors de fertilitzants de (Vitòria et al. 2004), en aquest cas el punt representa la mitja dels valors analitzats i les barres representat la desviació estàndard. S'ha inclòs valors de aigües residuals d'estudis inèdits.

En el diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{34}\text{S}$ (Figura 8.33) s'observa que les mostres no segueixen la línia de barreja entre l'extrem aquífer i mar. La mostra del Pou UTE te valors clarament inferiors i concentració elevada, indicant una altra font de sulfat no determinada. En general les mostres presenten poca variabilitat en la $\delta^{34}\text{S}$ excepte la mostra del Pou Samitier, que en les campanyes de Feb-20 i en Jul-20 te valors baixos de $\delta^{34}\text{S}$ propers als valors del Pou de la Mata o el piezòmetre de la Pleta.

En un diagrama SO_4^{2-} vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (Figura 8.34) es confirma que els valors estan lluny del la línia de barreja entre extrem aquífer i mar. Les mostres del Pou UTE mostren valors inferiors, però per a la resta de mostres la desviació és cap a valors superiors. Aquest increment en $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4^{2-}}$ pot estar relacionat amb la presència de processos de sulfato reducció.

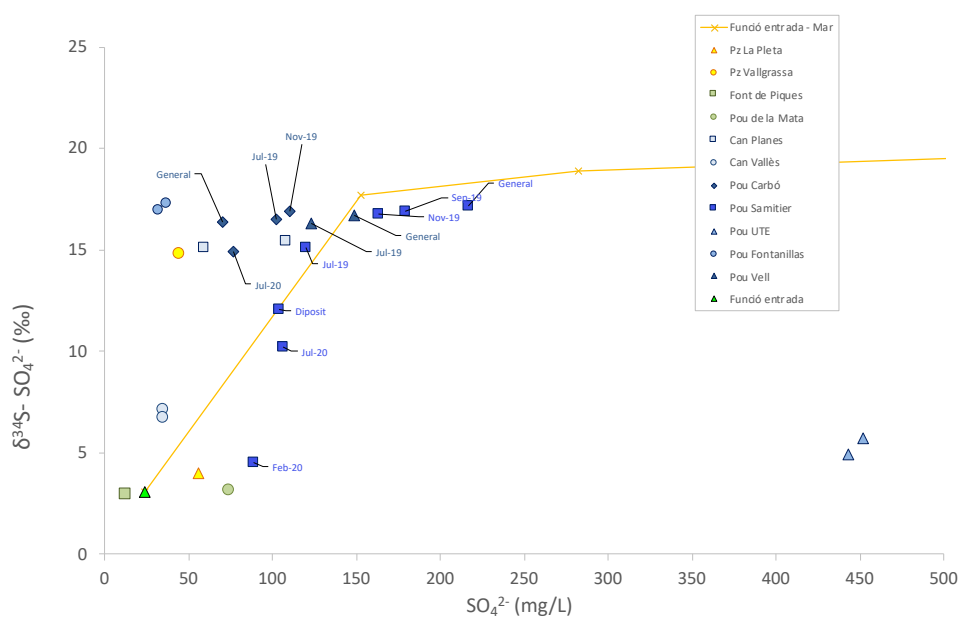


Figura 8.33. Diagrama SO₄²⁻ vs δ³⁴S. S'han representat les mostres i un model de barreja teòric entre els extrems Funció entrada i Mar.

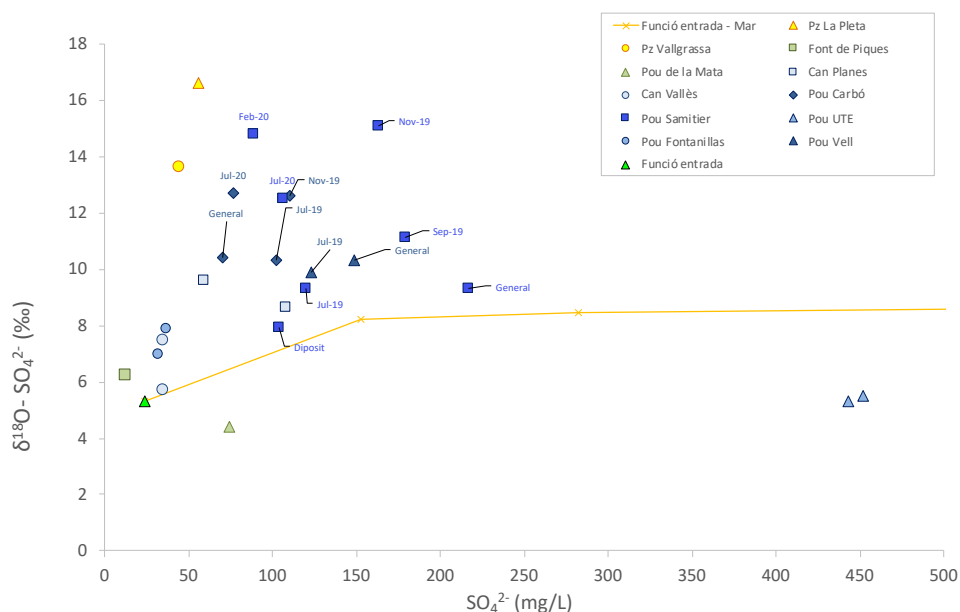


Figura 8.34. Diagrama SO₄²⁻ vs δ¹⁸O_{SO4}. S'han representat les mostres i un model de barreja teòric entre els extrems Funció entrada i Mar.

8.3.4.6. Resum dels traçadors.

Les mostres de Can Vallès i Font de Piques tenen valors naturals per a tots els paràmetres. Les mostres del Pou Fontanillas y Pou UTE no mostren influència de lixiviats. A les mostres del Pou Samitier, Pou Carbó i Pou Vell les dades d'alguns dels paràmetres característics des lixiviats suggereixen certa contribució, sempre inferior a un 1 % i variable estacionalment, aquesta contribució seria més clara a les mostres del Pou Samitier i Carbó i menys evident a la mostra del Pou Vell. Les dades del piezòmetre de Vallgrassa no

mostren paràmetres compatibles amb la influència de lixiviats. En el piezòmetre de La Pleta no tots els paràmetres típics dels lixiviats es troben però sí mostra continguts elevats en TOC, un valor de $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ compatible amb els lixiviats i valors de $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat que podrien indicar processos de sulfato-reducció. Les mostres de Can Planes tenen elevada variabilitat i només puntualment algun dels paràmetres indicaria influència de lixiviats.

8.3.5. Influència dels lixiviats

La Taula 8.14 mostra un resum de la interpretació dels resultats de l'origen de les mostres (punts de control), realitzada a partir de les determinacions isotòpiques.

Taula 8.14. Resum de la interpretació de l'origen de les mostres en funció dels paràmetres analitzats.

MOSTRA	$\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$	^3H (UT)	$\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$
Can Vallès	natural	natural	natural	natural	-	natural	natural	natural	natural
Piedras y derivados	natural o fertilitzants	natural	natural	natural	-	natural	natural	barreja	barreja
Can planes	fertilitzants	natural	natural	natural o lixiviats	fertilit.	natural	natural	incert	incert
Pou Fontanillas	fertilitzants	natural	natural	natural	-	natural	natural	incert	incert
Pou de la Mata	incert	natural	natural	natural	-	natural	natural	natural	natural
Font de les Piques	-	natural	natural	-	-	natural	natural	natural	natural
Pou nº1	fertilitzants o explosius	natural	natural	natural	-	natural	natural	natural	natural
Pou UTE	fertilitzants o explosius	natural	natural	natural	-	natural	natural	incert	incert
Pou Hilario	fertilitzants o explosius	natural	natural	natural	-	natural	natural	natural	natural
Pou Garraf poble	orgànic	natural	natural	1% lixiviat	lixiviats o aigües residuals	natural	natural	incert	incert
Pou Rat Penat	natural/orgànic	-	natural	natural	-	natural	natural	-	-
Pou Samitier	orgànic	natural o lixiviats	natural	natural	lixiviats o aigües residuals	natural	natural	possible sulfato-reducció	possible sulfato-reducció
Pou Carbó	orgànic	natural i lixiviats	natural i lixiviats	natural i lixiviats	lixiviat o aigües residuals	natural	natural	possible sulfato-reducció	possible sulfato-reducció
Pou Vell	orgànic	natural	natural	natural	-	natural	natural	incert	incert
Mas Quadrell nº 8	natural/orgànic	-	natural	natural	-	-	-	possible sulfato-reducció	possible sulfato-reducció
Pou Comissaria	orgànic	-	natural	natural	-	natural	natural	possible sulfato-reducció	possible sulfato-reducció

MOSTRA	$\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$	^3H (UT)	$\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$
<i>Pz Vallgrassa</i>	-	-	-	natural	fertilit.	-	natural	-	incert
<i>Pz La Pleta</i>	-	-	natural	natural	lixiviats o aigües residuals	-	natural	-	possible sulfato- reducció
<i>La Falconera F-0</i>	-	-	100 % Mar	natural	-	-	100 % Mar	-	100 % Mar
<i>La Falconera F-1</i>	orgànic, desnitricació puntual	-	1,5 % lixiviat	2 % lixiviat	lixiviat o aigües residuals	-	2 % lixiviat	-	0-25 % mar, possible sulfato- reducció
<i>La Falconera F-2</i>	-	-	2% lixiviat	2 % lixiviat	lixiviat o aigües residuals	-	25 % mar	-	25 % mar, possible sulfato-reducció
<i>La Falconera F-3</i>	incert	-	0- 2 % lixiviat	0-2 %	lixiviat o aigües residuals	-	8-100 % mar	-	8-100 % mar, possible sulfato- reducció
<i>Pou Eusebi F-4</i>	orgànic desnitricació puntual	-	0-2 % lixiviat	0-4 % lixiviat	lixiviat o aigües residuals	-	1-100 % mar	-	10 -100 % mar, possible sulfato- reducció
<i>La Falconera F-5</i>	orgànic, possible DNRA	-	0,1 % lixiviat	0,1 %	orgànic i DNRA	-	10 % mar	-	possible sulfato reducció
<i>Congre</i>	-	-	70% mar	-	-	-	100% mar	-	95% mar
<i>Cova Centenari</i>	orgànic	-	natural	4% mar	-	-	natural	-	incert
<i>Aiguadolç</i>	orgànic o lixiviats	-	0 - 0,8 % lixiviat	0-0,5 % lixiviat	lixiviats o aigües residuals	-	natural	-	5 % mar, possible sulfato-reducció
<i>Punta Ginesta</i>	incert	-	0,5 – 1% lixiviat	1 -2 % lixiviat	lixiviats o aigües residuals	-	0-10 % Mar	-	possible sulfato reducció

A les dues mostres recollides en el punt de Can Vallès no s'ha trobat cap dels paràmetres amb indicadors compatibles amb presència de lixiviats, com era previsible donada la seva situació.

Les mostres del pou "Piedras y Derivados" tenen 8 i 25 mg/L de nitrat i la seva composició isotòpica seria compatible tant amb un origen natural, a partir de la matèria orgànica del sol, com a partir de fertilitzants químics. En aquestes mostres el contingut en amoni és baix (0.1 mg/L) i el TOC varia entre 0.3 i 0.5 mg/L. Te valors de tots els paràmetres isotòpics compatibles amb un origen natural, o de fertilitzants en el cas del nitrat, tot i que en el cas del sulfat la seva composició isotòpica està a prop de la de les aigües residuals, també es compatible amb un origen natural de sulfat del sol.

La mostra "Cova Centenari" té certa influència d'aigua de mar, en el models realitzats tant amb els paràmetres químics com els isotòpics aquesta influència seria inferior a un 5%. Aquesta mostra té una

elevada concentració en nitrats (43 mg/L) i la seva composició isotòpica es compatible tant amb un origen lligat a lixiviats com amb pèrdues de xarxes de clavegueram i/o fosses sèptiques. La composició isotòpica de S i O del sulfat dissolt també es compatible amb un origen lligat a xarxes de clavegueram i/o fosses sèptiques. S'hauria de contrastar aquests resultats amb els paràmetres microbiològics per confirmar o descartar a possible influència d'aigües residuals. No s'ha realitzat seguiment estacional d'aquesta mostra.

Les mostres del piezòmetre de La Pleta en general presenten continguts de molts dels paràmetres compatibles amb un origen natural. Algunes mostres però presenten continguts elevats en TOC, i la única mostra que s'ha pogut analitzar per la $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ presenta valors compatibles amb lixiviats o origen orgànic.

Les mostres del Pou Rat Penat en general presenten continguts de molts dels paràmetres compatibles amb un origen natural. Com en el cas del piezòmetre de La Pleta tenen continguts molt elevats en TOC però baixos en NH_4^+ . Els continguts en NO_3^- són molt baixos i la composició isotòpica pot ser natural.

La mostra Pou Garraf mostra concentració en TOC per sota el límit de detecció, però té elevada concentració en NH_4^+ . Dels paràmetres isotòpics la composició isotòpica de l'amoní i nitrat també mostra valors en el rang dels lixiviats. S'ha puntualitzat però aquests mateixes composicions també són compatibles amb pèrdues de xarxes de clavegueram i/o fosses sèptiques. S'hauria de contrastar aquests resultats amb els paràmetres microbiològics per confirmar o descartar a possible influència d'aigües residuals. D'altra banda els continguts en Triti són compatibles amb certa influència de lixiviats i, en aquest cas les aigües residuals no aportarien continguts elevats de Triti. En aquest punt no s'ha fet un seguiment estacional.

Les mostres de Punta Ginesta tenen una proporció entre 8 i 10 % d'aigua de mar i presenten diversos paràmetres característics dels lixiviats. Els percentatges de contribució de lixiviats oscil·len entre 0,3 i 2 % amb diversos traçadors independents que indiquen percentatges de barreja similar.

La mostra de la Font de les Piques i la mostra del piezòmetre de Vallgrassa no mostra cap dels paràmetres indicadors compatibles amb la presència de lixiviats.

Les mostres del Pou Vell i Pou Carbó presenten continguts en NH_4^+ i TOC compatibles amb presència de lixiviats, però en una proporció inferior a un 1 % en el Pou Carbó i menor al Pou Vell (<0,1 %). Per aquestes mostres els paràmetres isotòpics deuteri, oxigen, i triti tenen valors compatibles amb un origen natural. En el model amb la $\delta^{13}\text{C}$ també les mostres tenen un origen natural, i només una de les mostres del Pou Vell mostra certa influència de lixiviats. Les mostres del Pou Vell tenen la concentració en amoní baixa i no ha permès analitzar la $\delta^{15}\text{N}$. En canvi per diverses mostres del Pou Carbó sí que s'ha pogut determinar la $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ i els valors concorden amb els valors de lixiviats. La composició isotòpica de N i O del nitrat dissolt tant en mostres del Pou Vell com del Pou Carbó en aquestes mostres es compatible tant amb un origen lligat a lixiviats com amb pèrdues de xarxes de clavegueram i/o fosses sèptiques.

La mostra del pou de la Mata (que es una font d'aqüífer epicàrstic) mostra una concentració en nitrat significativa (22 mg/L), conjuntament amb presència de Carboni Orgànic Total. Isotòpicament el nitrat té un origen incert degut a la influència de processos de desnitrificació. No s'ha realitzat un mostreig estacional.

Les mostres de Can Planes i Pou Fontanillas no tenen continguts elevats ni en NH_4^+ ni en TOC, i sí que presenten en canvi una concentració elevada en NO_3^- (50 mg/L i 25 mg/L respectivament). La composició

isotòpica de N i O de nitrat d'aquestes mostres seria compatible amb un origen lligat a fertilitzants químics, fet adient amb els usos del sol de la zona, ja que els punts estan localitzats en zones de camps de conreu.

Les mostres de la Falconera estan clarament afectades per intrusió marina, determinada amb diferents paràmetres independents i que mostra una elevada variabilitat estacional que es pot quantificar entre un 1 i un 100 %. Aquestes mostres també presenten un percentatge de barreja amb lixiviats que s'ha quantificat entre un 0,1 % i un 4 %, també en aquest cas paràmetres independents (HCO_3^- , NH_4^+ , TOC, $\delta^{13}\text{C}$, Triti) donen resultats de barreja molt similars, i per a tots els paràmetres els resultats són compatibles amb aquest percentatge de barreja. Els resultats històrics d'aquestes mostres també indicarien presència de lixiviats. Tot i que no s'han pogut realitzar models de barreja entre NH_4^+ i $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ els valors de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ de les mostres són compatibles amb un origen lligat als lixiviats. Finalment els resultats de la $\delta^{34}\text{S}$ i $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ conjuntament amb la concentració en SO_4^{2-} suggereixen la presència de processo de sulfato-reducció, que podrien estar relacionats amb l'arribada de lixiviats, fet suggerit per Custodio et al. (1993) i detectat també en un estudi previ. En general les mostres amb més contribució d'aigua de mar mostren menor o cap influència dels lixiviats i les mostres on la contribució marina és menor s'observa més influència de lixiviats.

Les mostres del pou Samitier presenten continguts en NH_4^+ i TOC compatibles amb presència de lixiviats, però en una proporció inferior a un 1 %. Les mostres tenen una elevada variabilitat estacional en molts dels paràmetres. Algunes de les mostres tenen influència clara de lixiviats en diversos paràmetres independents. La composició isotòpica de N i O del nitrat i de N d' NH_4^+ tenen valors similars compatibles una certa contribució dels lixiviats tot i que altres fonts orgàniques, com aigües residuals i residus ramaders presenten composicions similars. Els resultats d'altres paràmetres com el deuteri i oxigen de l'aigua, la $\delta^{13}\text{C}$ o el Triti són compatibles amb un origen natural, però cal tenir en compte que un percentatge petit de barreja no seria detectat amb aquests traçadors donada la variabilitat natural de les mostres de l'aqüífer.

La mostra del Pou Mas Quadrell nº 8 presenta continguts en TOC i B compatibles amb la contribució de lixiviats però no presenta continguts elevats en NH_4^+ . Els valors de N i O del nitrat dissolt indica un origen que pot ser natural o orgànic. Els valors de O del sulfat dissolt pot indicar la presència de processos de sulfato-reducció. Només es disposa d'una mostra estacional i no s'han pogut determinar tots els paràmetres.

Les mostres dels punts Pou Hilario, Pou nº 1 i Pou UTE, situades en la pedrera d'Uniland, tindrien un origen natural per la majoria de paràmetres químics i isotòpics, la mostra Pou UTE té certa intrusió marina, que es pot estimar entre un 7 % i un 20 % en funció del model utilitzat. Cap dels punts presenta concentracions significatives en amoni i/o TOC i si que presenten concentracions en nitrats que oscil·len entre 16 i 22 mg/L. La composició isotòpica de N i O del nitrat dissolt indica un origen no orgànic, lligat o bé a fertilitzants químics o també podria ser degut a la presència de residus dels explosius utilitzats en la pedrera. La composició isotòpica de S i O del sulfat és compatible amb un origen de sulfat natural del sol. Les mostres del Pou UTE amb una concentració elevada en sulfat però amb una composició isotòpica que no concorda amb intrusió marina ha de tenir una altra font de sulfat.

El Pou Comissaria de Sitges té valors molt elevats de TOC i B però baixos d' NH_4^+ . Si que té una concentració elevada en nitrats i una composició isotòpica de N i O de nitrats compatible amb un origen de lixiviats. També té una $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat dissolt pot indicar la presència de processos de sulfato-reducció. Només es disposa d'una mostra estacional i no s'han pogut determinar tots els paràmetres.

La surgència del Congre és la mostra que presenta els valors més propers a l'aigua de mar. No presenta continguts significatius de TOC, però sí que s'ha detectat 1 mg/L d'amoni. Els models de barreja mostren una contribució entre un 70 i un 100% d'aigua de mar. Aquest punt de mostreig no s'ha mantingut en el mostreig estacional.

La surgència d'Aiguadolç presenta d'una banda influència d'aigua de mar i d'altra banda una possible influència de lixiviat. El percentatge d'aigua de mar estaria entre un 4 i un 6 %. Paràmetres químics com l' NH_4^+ i el TOC indiquen una influència de lixiviat inferior a un 1%. Combinant l' NH_4^+ amb la $\delta^{13}\text{C}$ s'observen percentatges de barreja similars. Altres paràmetres com el deuteri i oxigen de l'aigua, no permeten detectar clarament aquesta contribució degut a la variabilitat natural de les mostres de l'aqüífer. El valor de Triti en una de les mostres confirmen la influència de lixiviat. La $\delta^{34}\text{S}$ de sulfat dissolt en un model de barreja confirmaria el percentatge d'aigua de mar observat (5 %) i la $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ amb valors més elevats als esperats per aquesta barreja pot suggerir la presència de processos de sulfato reducció, com a les mostres de la Falconera. La $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ presenta també valors compatibles amb un origen lligat a lixiviat.

La Figura 8.35 mostra sobre el mapa els punts de mostreig on no s'ha observat influència de lixiviat (en blau), els punts on algun dels indicadors suggereix la presència de lixiviat (en groc) i els punts on diversos paràmetres confirmen aquesta influència dels lixiviat (en vermell).



Figura 8.35. Punts de mostreig amb un codi de colors en funció de si s'ha observat o no influència de lixiviat. Blau: no s'ha detectat cap paràmetre que indiqui influència. Groc: S'ha detectat algun paràmetre que indica la influència. Vermell: diversos paràmetres independents confirmen la influència dels lixiviat.

8.3.6. Consideracions als resultats isotòpics

S'ha estudiat la possible influència dels lixiviat en els punts de control estacionalment, així com la possible interferència de la intrusió marina. En 11 dels punts de mostreig (Can Vallés, Piedras y Derivados, Can

Planes, Pou nº 1, Pou UTE, Pou Hilario, Pou Fontanillas, Font Piques, Piezòmetre de Vallgrassa, Pou de la Mata, La Falconera F-0) no s'ha trobat cap relació isotòpica compatible amb presència de lixiviats.

En 7 punts de mostreig s'ha detectat alguna relació compatible amb la presència de lixiviats (La Pleta, Rat Penat, Mas Quadrell, Pou Comissaria, Congre, Cova Centenari). S'ha de contrastar aquest resultat amb els resultats de paràmetres orgànics i/o microbiològics per confirmar o no aquesta contribució.

En 11 punts de mostreig les relacions isotòpiques indiquen la influència de lixiviats (Punta Ginesta, Aiguadolç, Pou Carbó, Pou Samitier, Pou Garraf, La Falconera F1, F2, F3, F5 i Pou Eusebi F4). Les mostres de Pou Samitier, Pou Carbó, Pou Vell i Pou Garraf mostren més d'una relació compatible amb la presència de lixiviats, en el cas del Pou Garraf la elevada concentració en Triti observada confirmaria la presència de lixiviats. Les mostres recollides a l'entorn de la surgència de la Falconera mostren una clara influència de lixiviats, mesurada amb diversos paràmetres independents. Estacionalment s'ha pogut observar una elevada variabilitat en el percentatge d'aigua de mar en aquestes mostres que porta associada una influència de lixiviats diferent. Les mostres amb menys influència d'aigua de mar presenten més influència de lixiviats. La mostra de la surgència d'Aiguadolç també mostra una clara influència dels lixiviats però en menor proporció que els punts de La Falconera i amb menor variabilitat estacional. Les mostres de Punta Ginesta també mostren influència clara dels lixiviats amb percentatges entre un 1 i un 2 % i també mostren certa variabilitat estacional tot i que el mostreig estacional ha estat limitat a 4 mostres. En alguns punts de mostreig s'han detectat processos de desnitrificació i processos de sulfato-reducció que poden estar lligats també a les condicions reductores provocades per la influència dels lixiviats. S'ha de complementar aquesta informació amb les dades de contaminació orgànica, microbiològica i amb el model hidrogeològic de la zona d'estudi.

8.4. Microcontaminants orgànics

Aquest apartat tracta dels resultats de les anàlisis de compostos orgànics volàtils i semi-volàtils de mostres procedents dels punts d'aigua del projecte (Taules 8.1 i 8.2; Figura 8.1). Els mostreigs s'han desenvolupat entre abril de 2019 i setembre de 2020.

La contaminació, atribuïda a l'abocador de la vall de Joan del massís del Garraf, s'ha estudiat sobretot en la sortida al mar del flux subterrani de la Falconera. En aquesta surgència, malgrat les particularitats del seu funcionament, ha estat possible el mostreig sistemàtic per a l'anàlisi d'orgànics en diferents punts de l'estructura de drenatge que defineix la descàrrega del sistema: F0, F1, F2, F3 i F4, F5 (Figura 8.36, situació dels punts de mostreig a la Falconera). Mentre que les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta, pel seu marcat caràcter temporal, només han permès un nombre limitat de mostreigs.

L'estudi es proposa exclusivament fer un seguiment dels contaminants orgànics per valorar l'impacte i abast d'aquesta contaminació en el conjunt del massís, mitjançant una restricció metodològica que es pressuposa com la més robusta quantitativament, i es defineix com un seguiment de marcadors específics.

Aquests marcadors han estat definits en base a una bibliografia escollida (vegeu més endavant) i a un treball preliminar d'*screening* dels contaminants presents en els focus principals i per tant es disposa de moltes dades qualitatives de contaminants orgànics dels punts de mostreig.

Tanmateix l'estudi que es presenta és una anàlisi quantitativa d'aquests marcadors escollits, que permeten un seguiment i valoració de l'impacte ambiental i de l'abast territorial de la incidència dels lixiviats de l'abocador.

Els llistats de contaminants orgànics trobats en lixiviats d'abocadors estan a bastament descrits a la bibliografia:

- J. Schwarzbauer et al. Occurrence and alteration of organic contaminants in seepage and leakage water from a waste deposit landfill; *Water Research* 36 (2002) 2275–2287.
- N. Paxéus. Organic compounds in municipal landfill leachates. *Water Sci. Technol.* (2000) 42 (7-8): 323-33.
- T. Yamamoto. Bisphenol A in hazardous waste landfill leachates. *Chemosphere* (2001) Feb;42(4): 415-8.
- J. Schwarzbauer et al. Analysis of undisturbed layers of a waste deposit landfill – Insights into the transformation and transport of organic contaminants. *Organic Geochemistry* 37 (2006) 2026–2045.

8.4.1. Els microcontaminats orgànics des de l'enfocament sistèmic

Els microcontaminats orgànics en l'enfocament sistèmic del treball presenten un gran interès perquè s'ha fet una aproximació rigorosa i aprofundida a la funció d'entrada, és a dir, als lixiviats de l'abocador i també a la funció de sortida, que ha consistit en el seu estudi en les diferents surgències: Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta. Aquestes surgències són les que han estat objecte d'un seguiment en el cicle hidrològic

2019-2020. I també s'han estudiat els microcontaminats orgànics en els pous i piezòmetres que curtcircuiteen el flux subterrani.

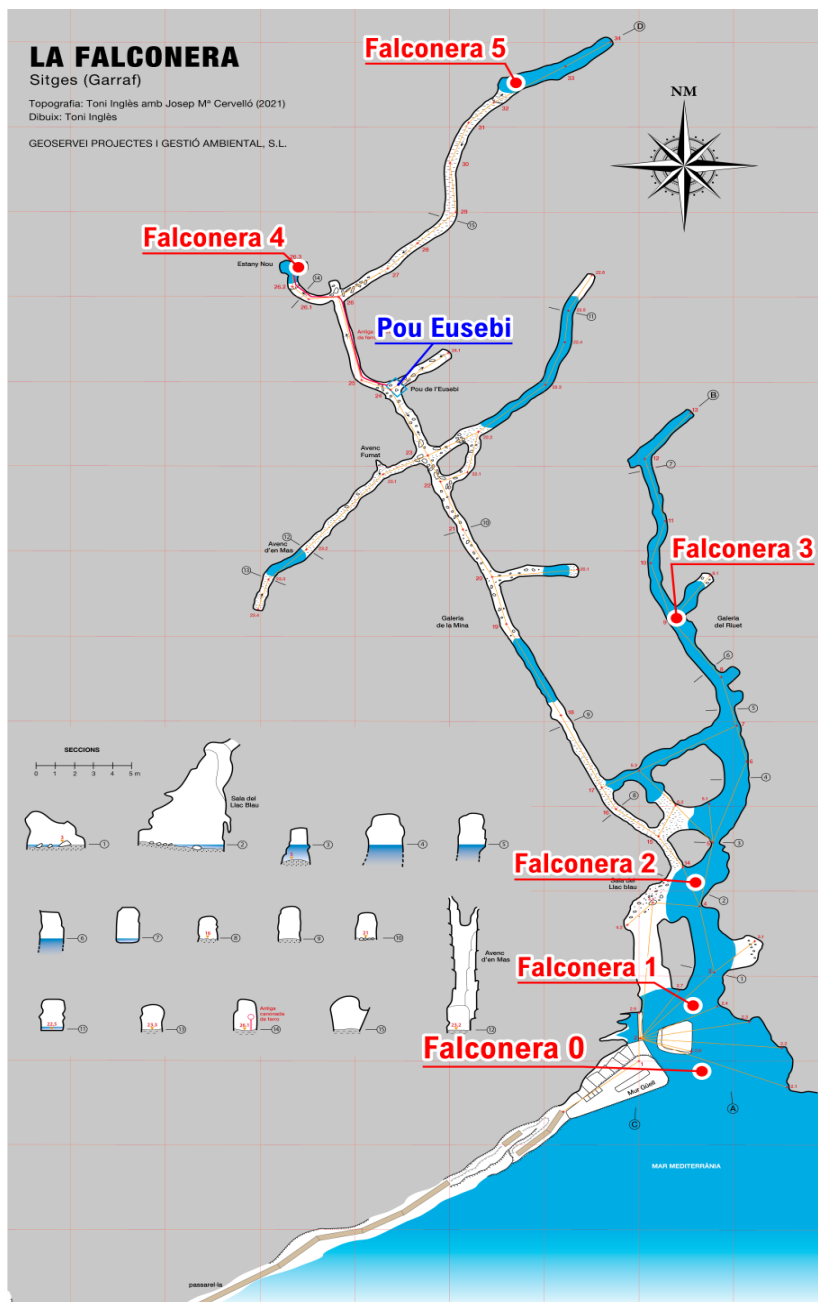


Figura 8.36. Situació dels punt de mostreig de a la surgència de la Falconera.

Com succeeix amb els contaminants de nitrogen (Amoni i nitrogen amoniacal), el TOC i els metalls solubles, els microcontaminats orgànics presenten unes matrius composicionals, sobretot en els marcadors definits, diferents en cadascuna de les surgències, això, en gran mesura, té a veure amb el fet que les tres surgències considerades responen a subsistemes hidrogeològics diferents, encara que estiguin relacionats: temps de trànsit o de permanència en l'aqüífer diferents, estructures de permeabilitat diferents, geometria diferent de les estructures geològiques implicades en cadascun dels subsistemes, característiques geoquímiques del medi geològic i factors modificadors distints (absorció, adsorció,).

S'han mostrejat 36 punts en diferents campanyes de mostreigs (mostreig general i mostreig del cicle hidrològic), amb un total de 127 mostres analitzades (La informació relativa als punts i les dates de les campanyes es presenta a l'informe complet de microcontaminats orgànics dels Annexos Generals.

8.4.1.1. Els orgànics dels lixiviatos com a funció d'entrada

El microcontaminats orgànics s'han estudiat en els pous de lixiviat T12 i T19 i també a la Bassa de Lixiviats (BL o TB).

Les mostres de lixiviatos presenten una gran dificultat en el seu tractament i anàlisi. Són mostres extremadament contaminades. En la majoria de mostrejos no s'han pogut donar dades quantitatives, només estimacions. En ser tan riques en compostos, cada senyal del registre representa un o més compostos, els senyals dels marcadors queden molt interferides per altres senyals. Es perden els compostos marcats amb els isòtops que s'afegeixen a la mostra, el que fa impossible una quantificació robusta (vegeu figures 8.37 i 8.38).

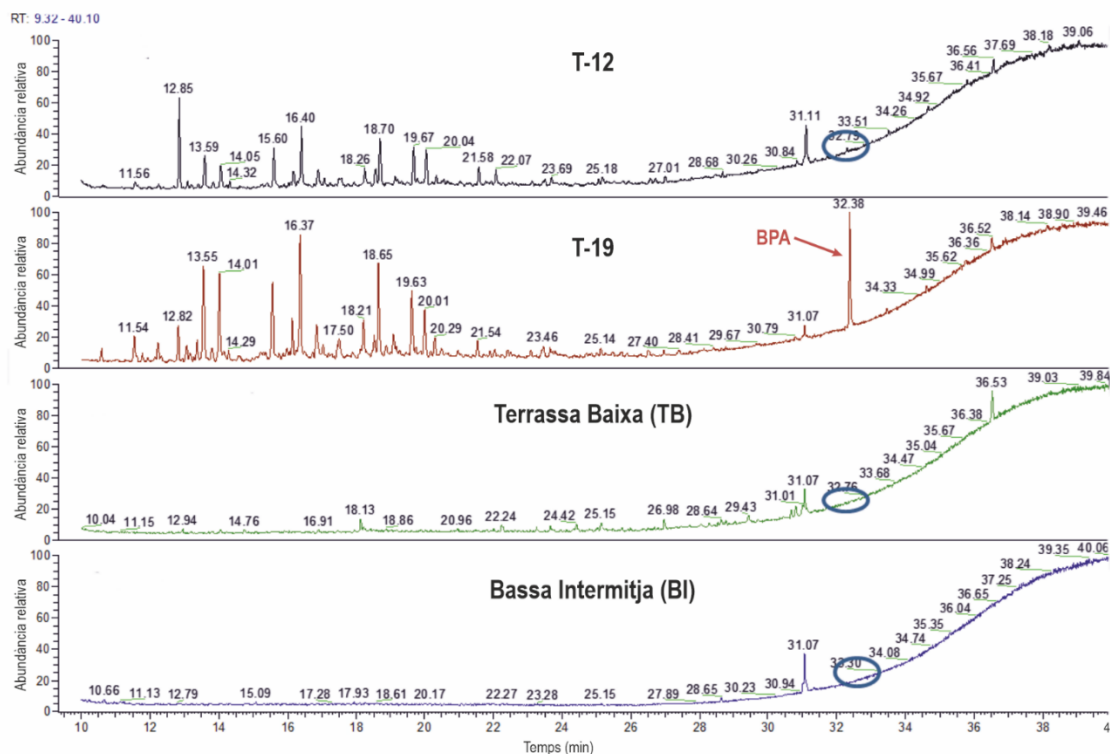


Figura 8.37. Registres GM-MS de les mostres de lixiviatos (T12,T19, Terrassa Baixa (TB) i aigües semi-netes (BI)

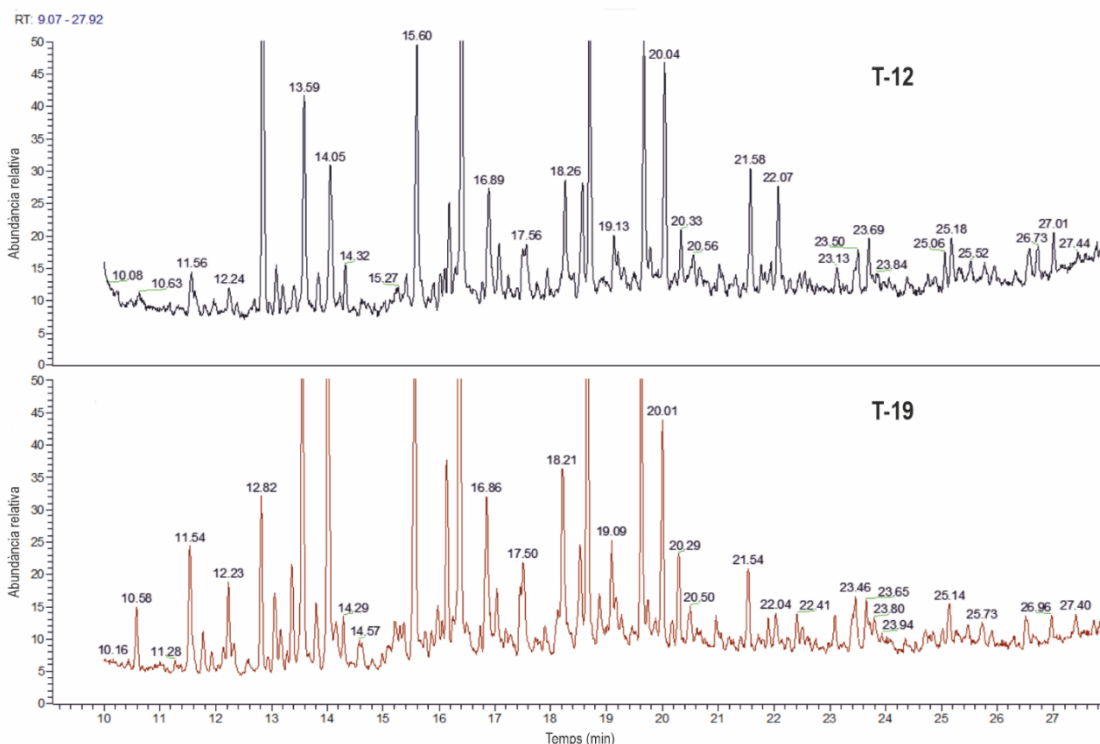


Figura 8.38. Registes GC-MS de les mostres de lixiviats d'abril de 2019

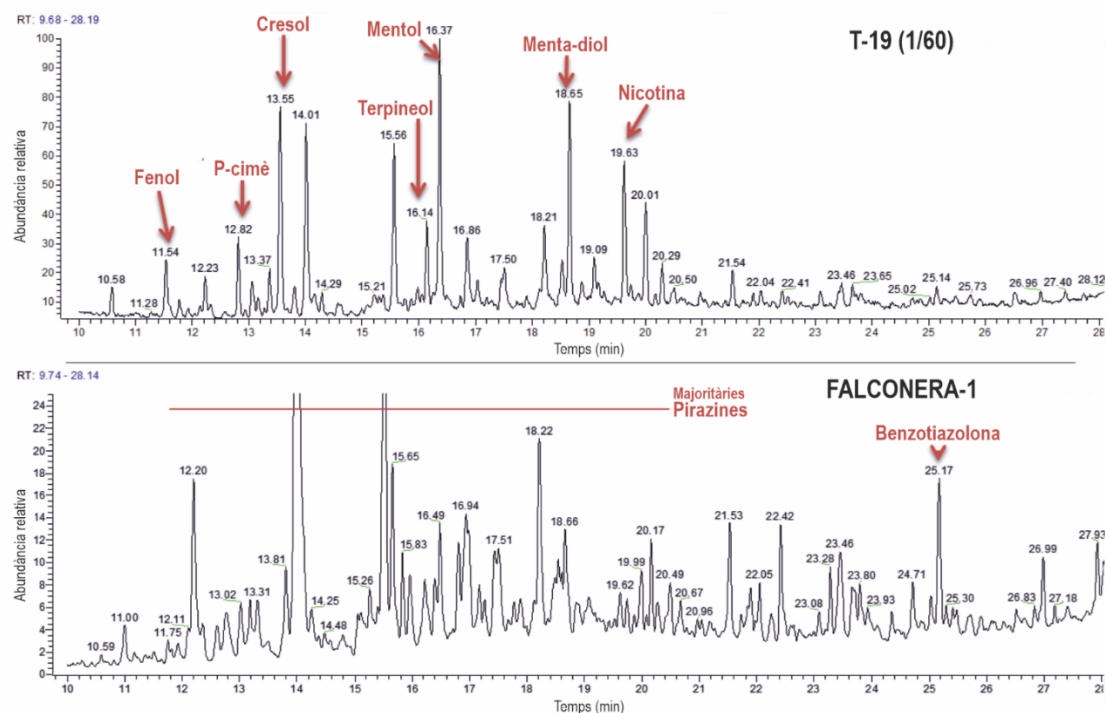


Figura 8.39. Registre GC-MS lixiviatS vs Falconera 1 d'abril 2019

Als lixiviats s'identifiquen els compostos següents:

- Fenol, p-cimè, cresol, terpeneol, mentol, dihidroxi-mentol, nicotina.

- Pirazines (C2-C5), Benzotiazolona, DEET, escatol, Bisfenol A, hidrocarburs lineals, bifenils alquilats i Sofre molecular.
- Entre els compostos volàtils s'identifiquen Alquilbenzens des de C-2 (xilens) a C-4 i diclorobenzè.

Els majoritaris vénen assenyalats a la figura 8.38 del registre GC/MS:

Tots aquests compostos i d'altres estan descrits a la bibliografia més significativa sobre el tema.

Com a qüestió significativa i tal com mostren els registres GC/MS (Figura 8.39) els compostos esmentats no es van identificar a les mostres de la surgència de la Falconera, això fa palès una discriminació selectiva dels compostos orgànics presents. Aquesta discriminació només pot ser deguda a una adsorció selectiva dels esmentats compostos en els materials de l'aqüífer (i segurament també a la piròlisi).

La problemàtica dels lixiviats està descrita en un informe específic del gener de 2020 [Caixach i Bartolomé, 2020]. Aquest informe es fonamenta en l'anàlisi de tres mostres del pou de lixiviat T19 que corresponen als mostreigs de maig, juliol i setembre de 2019.

Hi ha compostos comuns en els tres lixiviats, però presenten perfils diferents i sorprèn que un abocador madur es comporti amb aquesta variabilitat (piròlisi). La Taula 8.15 és el llistat dels compostos superiors al 10% en els GC/MS de les mostres.

Taula 8.15. Compostos superiors al 10% en els GC/MS de les mostres

Rt	COMPOST [CAS]	INTENSITAT DELS SENYALS	
		Setembre	Juliol
11.6	.FENOL [108-95-2]	***	***
11.75	.ACID HEXANOIC [142-62-1]		*** (2)
12.3	.TRIMETIL-PIRAZINA[14667-55-1]		*
12.7	.2-ETIL-HEXANOL [104-76-7]		*
13.6	.p-CRESOL [106-76-7]	***	**
14.1	.2,3-DIMETIL-2-ETIL-PIRZ [105707-343-3]		***
14.2	.GUAICOL [90-05-1]		**
14.5	.ACID ETIL-HEXANOIC [149-57-7]		*
15.6	.ACID+PIRZ		**
16.0	.2-PIPERIDONA [675-20-7]	**	**
16.4	.a-TERPINEOL [98-55-5]	*	*
17.6	.CAPROLACTAMA [105-60-2]		*
18.7	.MENTADIOL [80-53-5]	*	
18.9	.ACID BENZEPROPANOIC [501-52-0]		*
19.7	.NICOTINA [54-11-5]	*	

Nota 1: *** = 100-60% senyal , equival aprox 15-50 ug/L (2) – senyal saturat <150 ug/L
 ** = 60-30% senyal, equival aprox 14-8 ug/L (Els marcadors estan en negreta)
 • = 30-10% senyal, equival aprox 8- 3ug/L

De l'observació dels senyals i l'estructura química dels composts majoritaris ens conclou, tal i com ja es va dir al primer informe [Caixach i Bartolomé, 2019] que hi ha una discriminació selectiva per part dels materials de l'aqüífer i això fa que els compostos detectats en els diferents punts de mostreig no presentin els pics majoritaris identificats en els llixiviats. Per aquest motiu i per la complexitat i nombre de senyal, es va triar el grup de marcadors o indicadors que es referiran a continuació.

Altres composts minoritaris identificats són: derivats indòlics (material fecal), DEET (insecticida), benzotiazolona (que es proposa com marcador); aquests compostos són comuns a les mostres de juliol i setembre de T19.

També s'identifica un grup de piperazines (d'origen desconegut) al llixivat de juliol (T19) i contràriament es detecta bisfenol A (BPA, Rt 32.48) només al llixivat de setembre a una concentració aproximada de 10 µg/L, en una proporció inferior al llixivat de maig (T19).

La mostra de llixiviats de juliol (T19) sorprèn per la presència i concentració d'àcids de cadena curta - característics per la seva olor - sobretot àcid hexanoic (també anomenat caproic) que si bé són descrits en altres treballs com habituals dels llixiviats d'abocadors urbans, no s'havien detectat d'una manera majoritària com en aquesta mostra de juliol. A més, en aquesta mostra no es detecta bisfenol A, indicador genuí de l'abocador.

8.4.1.1.1. Marcadors per a una anàlisi quantitativa

Com ja s'ha comentat a la introducció i en la definició de la funció d'entrada, per fer l'anàlisi quantitativa es van triar uns compostos marcadors que s'han seguit a totes les mostres al llarg de l'estudi. Els compostos marcadors han estat:

- Bisfenol A
- DEET
- Benzotiazolona
- Pirazines

Els productes traçadors són compostos orgànics representatius útils per fer un seguiment de la contaminació en el conjunt dels punts de mostreig.

Aquests compostos es van triar en base a diferents aspectes. Primerament perquè després de fer l'estudi exhaustiu dels llixiviats de l'abocador, es van trobar com a majoritaris. I, en segon lloc perquè són compostos referenciats com a presents en abocadors urbans: alguns més específics: bisfenol A i pirazines que d'altres: DEET i benzotiazolona. Aquests últims compostos s'han seguit més com a requeriment de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), així com també el diclorobenzè i el p-cimè (quantificats en el darrer mostreig).

És necessari insistir en el **concepte de marcador**, perquè és l'aproximació metodològica més clarificadora, esquemàtica i analíticament més robusta, sobretot el grup de les Pirazines, productes genuïns dels abocadors urbans i dels que es disposa d'estàndards; i el Bisfenol A, també marcador d'abocadors i del qual també es disposa d'un estàndard marcat amb isòtops estables ¹³C.

Els altres marcadors són també comuns a les mostres, però hi són en menor concentració i són contaminants més ubics, encara que analíticament també són robustos.

Aquests marcadors són el resultat, en l'aqüífer, de la discriminació selectiva dels compostos orgànics a causa de l'efecte d'adsorció dels materials; i són també afectats per la piròlisi detectada a l'abocador que també produeix un efecte selectiu a l'efluent del lixiviat (T19), aquest fenomen està comentat en un informe anterior.

Els traçadors i els seus límits de quantificació es concreten a la taula 8.16:

Taula 8.16. Marcadors orgànics

Compost	Límit de quantificació (LOQ) mg/L
Bisfenol A	10
DEET	4
Benzotiazolona	4
Pirazines	4-40

A continuació es donen les propietats físico-químiques (Figura 8.40) de rellevància ambiental que poden ajudar a explicar –en el cas dels dos marcadors més significatius: bisfenol A i 5-Etil-2,3-dimetilpirazina– el seu comportament en el sistema hidrogeològic del Garraf i en els diferents subsistemes.

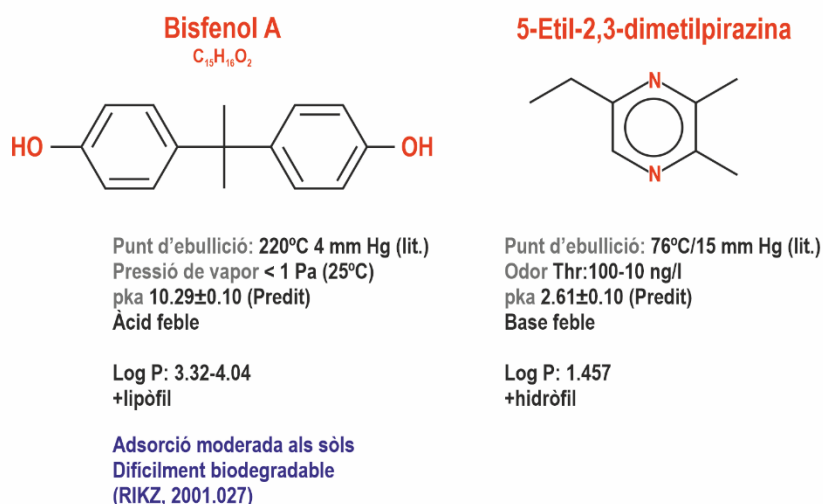


Figura 8.40. Propietats físico-químiques de bisfenol A i etil-dimetilpirazina.

A la taula 8.17 es presenten els resultats dels compostos traçadors de totes les mostres dels diferents mostrejos (general i cicle hidrològic).

Taula 8.17. Compostos traçadors en surgències, pous i piezòmetres.

SURGÈNCIES (I)

		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
F1	8è mostreig mensual (Abr.)	2020	3689	201	250	514	2060	7393
	9è mostreig mensual (Maig)	2020	1200	241	287	532	2843	10686
	10è mostreig mensual (Juny)	2020	23649	141	238	n.d	1600	3703
	11è mostreig mensual (Jul.)	2020	47874	1373	3705	n.d	n.d	69
	12è mostreig mensual (Set.)	2020	29224	314	866	2039	12577	16297
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
F3	mostreig general (Maig)	2019	160	252	1675	169271	384270	774106
	1er mostreig mensual (Jul.)	2019	1,3	7,8	n.d	141	927	869
	2on mostreig mensual (Set.)	2019	32	6,4	n.d	n.d	n.d	n.d
	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	10	3,0	7,1	n.d	n.d	5,7
	6è mostreig mensual (Gen.)	2020	40208	321	1436	4183	15411	55954
	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	10908	313	808	2078	15131	35664
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
F4 (Pou Eusebi)	mostreig general (Maig)	2019	459	362	1557	180202	442868	838976
	1er mostreig mensual (Jul.)	2019	n.d	12	16	177	n.d	67
	2on mostreig mensual (Set.)	2019	284	7,3	11	11	n.d	7,0
	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	80	1,9	3,7	n.d	69	12
	4art mostreig mensual (Nov.)	2019	87	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	5è mostreig mensual (Des.)	2019	50284	167	862	42	233	547
	5è mostreig mensual (Des.)	2019	11148	290	1122	2047	7968	33093
	6è mostreig mensual (Gen.)	2020	29763	280	1031	2499	6377	31724
	6è mostreig mensual (Gen.)	2020	14505	96	454	899	4426	14385
	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	17717	432	875	2543	14313	39238
	8è mostreig mensual (Abr.)	2020	52	211	208	193	2941	6037
	9è mostreig mensual (Maig)	2020	27947	279	520	316	1188	4945
	10è mostreig mensual (Juny)	2020	22368	65	114	51	3552	6097
	11è mostreig mensual (Jul.) *	2020	n.d	n.d	19	n.d	15	16
12è mostreig mensual (Set.)	2020	26875	499	1230	1826	8245	18824	
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
F5	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	n.d	31	4,1	n.d	n.d	2,1
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Aiguadolç	mostreig general (Juny)	2019	1800	-	1900	3600	900	6200
	2on mostreig mensual (Set.)	2019	242	299	1200	8155	20773	76079
	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	n.d	57	14	n.d	n.d	n.d
	5è mostreig mensual (Des.)	2019	6128	106	461	n.d	n.d	1294
	8è mostreig mensual (Abr.)	2020	464	99	239	n.d	n.d	123
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Punta Ginesta	5è mostreig mensual (Des.)	2019	17859	286	n.d	n.d	n.d	n.d
	6è mostreig mensual (Gen.)	2020	9520	176	n.d	23	n.d	n.d
	8è mostreig mensual (Abr.)	2020	26255	1152	n.d	n.d	n.d	134
	9è mostreig mensual (Maig)	2020	22752	830	n.d	n.d	n.d	n.d

Unitats ng/L n.d: no detectat

POUS (II)

		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Pou Carbó	mostreig general (Maig)	2019	1,1	4,1	11	57	n.d	n.d
	1er mostreig mensual (Jul.)	2019	1,9	5,0	n.d	97	n.d	3437
	2on mostreig mensual (Set.)	2019	230	7,5	n.d	20	n.d	899
	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	4,3	130	708	2498	4350	5331
	4art mostreig mensual (Nov.)	2019	31506	165	713	n.d	4401	27855
	5è mostreig mensual (Des.)	2019	12512	114	543	67	456	2209
	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	61	23	41	n.d	n.d	27
	8è mostreig mensual (Abr.)	2020	34	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	9è mostreig mensual (Maig)	2020	133	6	4	n.d	n.d	n.d
	11è mostreig mensual (Jul.)	2020	114	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
12è mostreig mensual (Set.)	2020	25	5	n.d	n.d	7	53	
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Pou Vell	mostreig general (Maig)	2019	0,2	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	1er mostreig mensual (Jul.)	2019	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	2on mostreig mensual (Set.)	2019	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	n.d	0,34	7,9	n.d	n.d	n.d
	4art mostreig mensual (Nov.)	2019	38	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	5è mostreig mensual (Des.)	2019	18	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	11è mostreig mensual (Jul.)	2020	121	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	12è mostreig mensual (Set.)	2020	169	23	n.d	n.d	n.d	n.d
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Can Planes	mostreig general (Maig)	2019	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	1er mostreig mensual (Jul.)	2019	n.d	2,6	19	n.d	n.d	n.d
	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	39	n.d	n.d	n.d	n.d	29
	8è mostreig mensual (Abr.)	2020	66	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	9è mostreig mensual (Maig)	2020	166	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	11è mostreig mensual (Jul.)	2020	95	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	12è mostreig mensual (Set.)	2020	20	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
			ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina
Samitier	2on mostreig mensual (Set.)	2019	5301	30	168	n.d	n.d	n.d
	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	n.d	28	86	n.d	n.d	n.d
	4art mostreig mensual (Nov.)	2019	6148	118	535	n.d	48	920
	5è mostreig mensual (Des.)	2019	147	18	34	n.d	n.d	185
	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	53	n.d	14	n.d	n.d	n.d
	9è mostreig mensual (Maig)	2020	49	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	11è mostreig mensual (Jul.)	2020	17	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	12è mostreig mensual (Set.)	2020	11	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Mas Quadrell	10è mostreig mensual (Jun.)	2020	27	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
UTE	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	3,3	0,4	2,2	n.d	77	31
	4art mostreig mensual (Nov.)	2019	32	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	5è mostreig mensual (Des.)	2019	16	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	46	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	10è mostreig mensual (Juny)	2020	26	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Fontanilles	3er mostreig mensual (Oct.)	2019	n.d	4,2	18	n.d	n.d	n.d
	4art mostreig mensual (Nov.)	2019	52	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	5è mostreig mensual (Des.)	2019	3,2	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	6,5	n.d	27	n.d	n.d	n.d
	10è mostreig mensual (Juny)	2020	536	7,3	n.d	n.d	n.d	n.d
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Pou Comisaria	10è mostreig mensual (Juny)	2020	122	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Pou Rat Penat1	10è mostreig mensual (Juny)	2020	640	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina
Pou Rat Penat Esportiu	10è mostreig mensual (Juny)	2020	61	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

Unitats ng/L n.d: no detectat

PIEZÒMETRES (III)

		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina			
Vallgrasa	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	1459	n.d	78	26	n.d	n.d			
	8è mostreig mensual (Abr.)	2020	10	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d			
	9è mostreig mensual (Maig)	2020	131	n.d	36	n.d	n.d	n.d			
	11è mostreig mensual (Jul.)	2020	265	85	70	n.d	n.d	n.d			
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina			
La Pleta	7è mostreig mensual (Feb.)	2020	3055	n.d	233	n.d	n.d	n.d			
	8è mostreig mensual (Abr.)	2020	645	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d			
	9è mostreig mensual (Maig)	2020	458	n.d	59	n.d	n.d	n.d			
	11è mostreig mensual (Jul.)	2020	968	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d			
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina	p-Cimè	3,5-dietil-2-metil pirazina	2,3-dietil-5-metil pirazina
Pitxot		2020	85	9	58		n.d	n.d	10	n.d	n.d
		ANY	Bisfenol A	DEET	Benzotiazolona	Dietil metil pirazina	Trimetilpirazina	Dimetil etil pirazina	p-Cimè	3,5-dietil-2-metil pirazina	2,3-dietil-5-metil pirazina
Abocador SE		2020	471	45	3		n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

Unitats ng/L n.d: no detectat

8.4.1.2. Les surgències com a funció de sortida

La taula XX sintetitza els estadístics bàsics de les surgències més importants. La surgència de la Falconera amb els seus tres punts de mostreig (F1, F3 i F4) és la que observa les concentracions més elevades en tots els marcadors orgànics (Bisfenol A, DEET, Benzotiazolona i en les diferents pirazines). Punta Ginesta presenta valors més elevats en bisfenol A i DEET que Aiguadolç, però inferiors als de la Falconera. La benzotiazolona i les pirazines presenten concentracions significativament més importants a la Falconera que a Aiguadolç i Punta Ginesta. En general, les concentracions més elevades que s'observen a la Falconera tenen a veure amb el fet que el flux que l'alimenta és propi d'una estructura de drenatge i els temps de trànsit poden ser d'unes poques hores en situació de cabals elevats en crescuda, mentre que a Aiguadolç i Punta Ginesta el flux és més de tipus difús.

8.4.1.2.1. La surgència de la Falconera

En aquesta surgència, la més important del Garraf pel seu cabal, s'han realitzat analítiques d'orgànics en els punts següents: Falconera 1, Falconera 2, Falconera 3, Falconera 4 (o pou Eusebi), Falconera 5 i Falconera 0 (Falconera al mar a 5 m de la boca de la surgència) (Figura 8.36).

Falconera 1

La mostra ha presentat el perfil típic determinat per la influència dels lixiviats de l'abocador durant tot l'estudi: concentracions elevades de pirazines (excepte a la mostra del juliol) i bisfenol A.

S'han identificat alquilbenzens (C1-C4), destacant el p-cimè, el seu origen és la degradació del limonè i per tant un compost marcador de residus urbans. Es va quantificar al darrer mostreig mensual del cicle hidrològic (setembre 2020) donant un valor de 364 ng/L.

També hi ha dicloro/triclorobenzens; al darrer mostreig de setembre de 2020 es van quantificar 3,52 µg/L d'1,4-diclorobenzè.

A la mostra de l'abril 2019 es va trobar sofre molecular (S₈). Aquest "dump" de sofre no torna a aparèixer fins a la mostra de juliol 2020. Es poden veure els dos registres a la figura 8.41, a mode de comparació es mostren dos registres on no es veu aquest "dump". La presència de sofre molecular es pot atribuir a processos de sulforeducció. A la figura 7 es mostren els compostos marcadors.

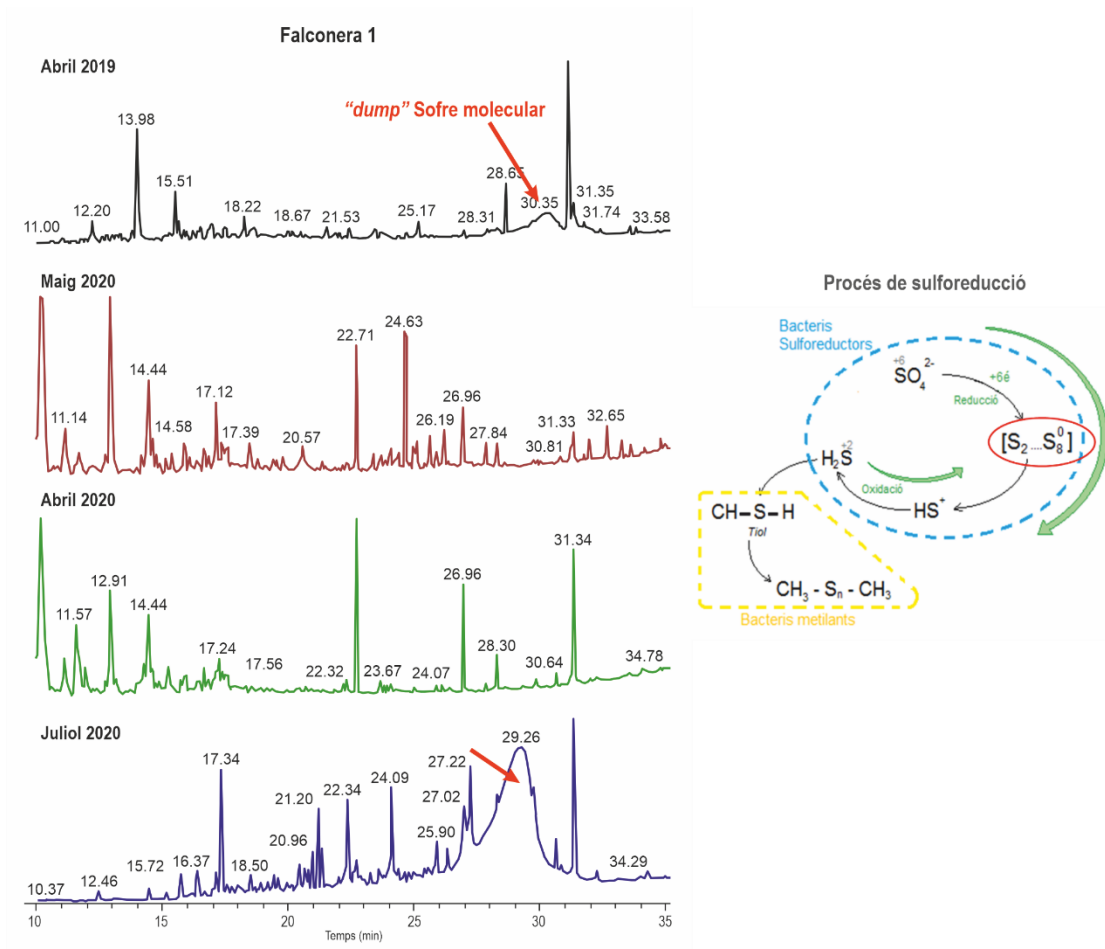


Figura 8.41. Registres GC-MS on es pot veure la presència de S molecular (a). Esquema del procés de sulforeducció (b).

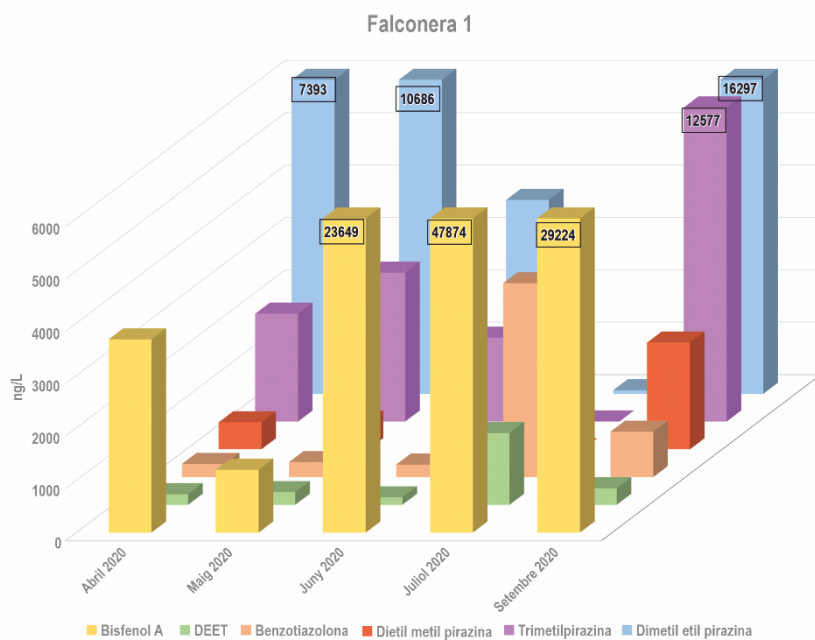


Figura 8.42. Resultats dels compostos marcadors a Falconera 1.

Falconera 3

Aquest punt, com succeeix a l’F1, té una clara influència dels lixiviats de l’abocador. Tot i que pel que fa als compostos marcadors, va haver-hi una disminució en les concentracions trobades al setembre i octubre de 2019; als darrers mostrejos van tornar a augmentar significativament com es pot observar a la figura 8.43. Només es va trobar S molecular al mostreig d’abril de 2019.

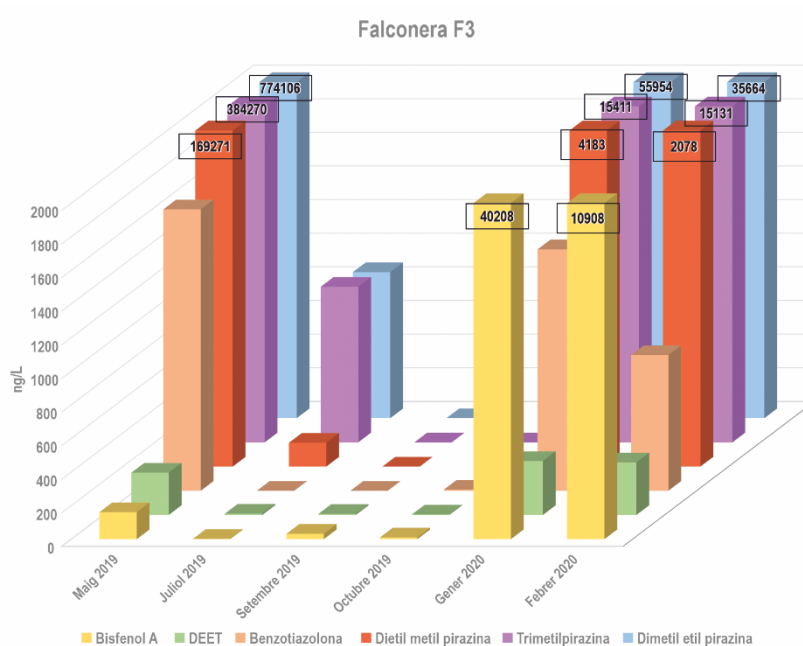


Figura 8.43. Resultats dels compostos marcadors a Falconera 3

Les mostres Falconera 1, 2 i 3 han presentat perfils gairebé idèntics durant tot l’estudi, com a exemple la figura 8.44 mostra aquests perfils del mostreig de l’abril de 2019.

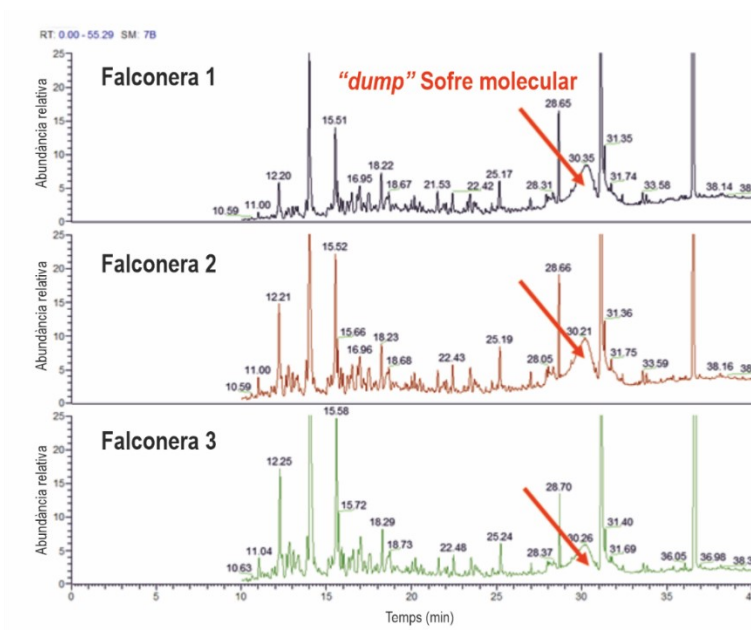


Figura 8.44. Registre GC-MS de les tres mostres de la Falconera: F1, F2 i F3.

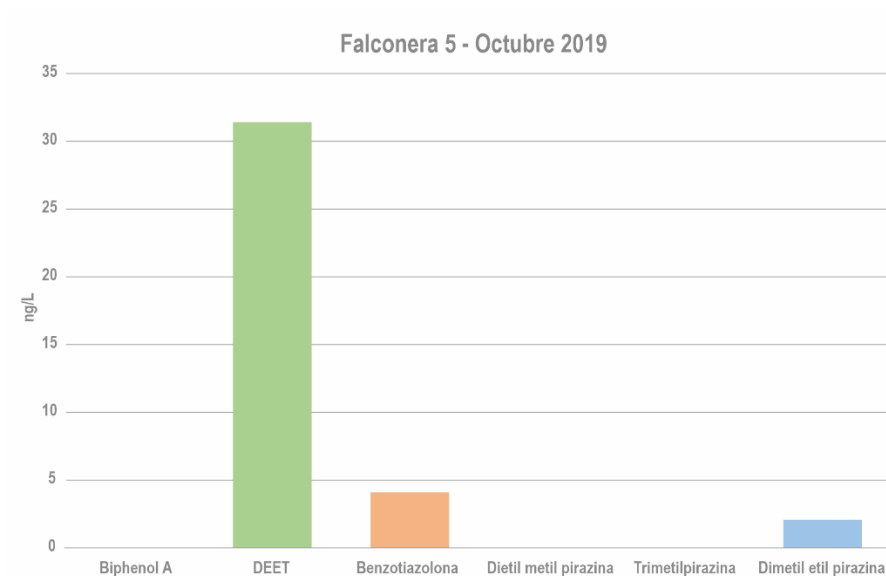


Figura 8.46. Resultats dels compostos marcadors a F5 (octubre 2019).

Falconera 0

Aquest punt només s'ha mostregjat en una ocasió, respon bàsicament a aigua de mar; el mostreig es realitza amb una forta influència de l'onatge. No es detectaren marcadors orgànics.

8.4.1.2.2. La surgència d'Aiguadolç

Es disposa de cinc mostrejos quantificats d'aquest punt (juny, setembre, octubre i desembre de 2019 i abril de 2020). Es van identificar els compostos marcadors en concentracions significatives (Figura 8.47). També es va detectar la presència de BHT, un antioxidant. Per les concentracions es pot concloure que el punt rep l'impacte de l'abocador, més acusat al principi i menor en les darreres campanyes de mostreig.

Vegeu, en el registre GC-MS de la Figura 8.48, el perfil cromatogràfic dels marcadors a Aiguadolç (juny 2019) comparat amb el del pou Samitier (juliol 2019): es pot concloure que són iguals.

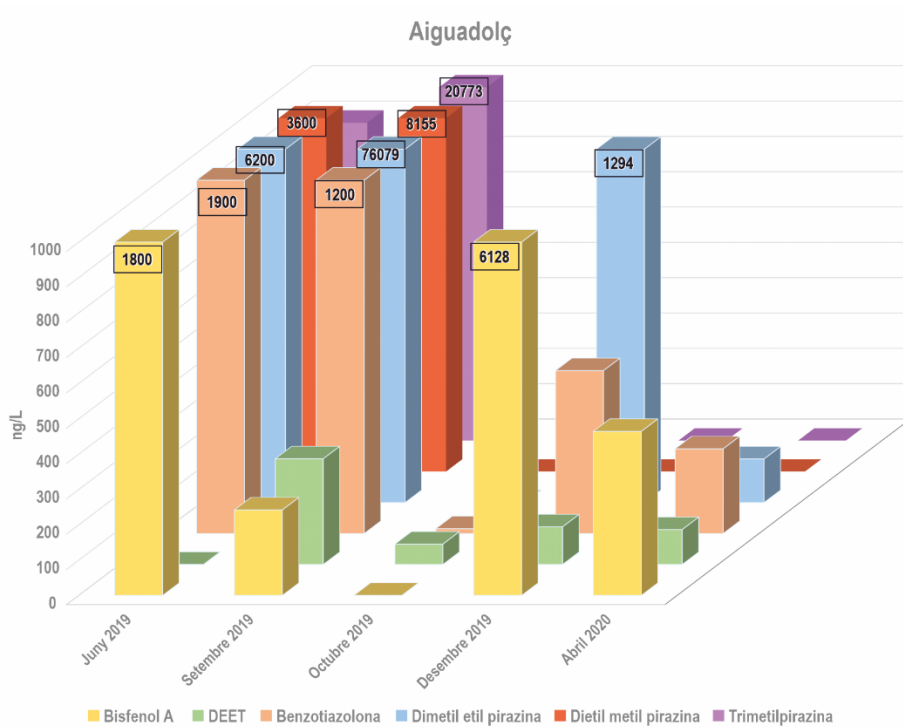


Figura 8.47. Resultats dels compostos marcadors a Aiguadolç.

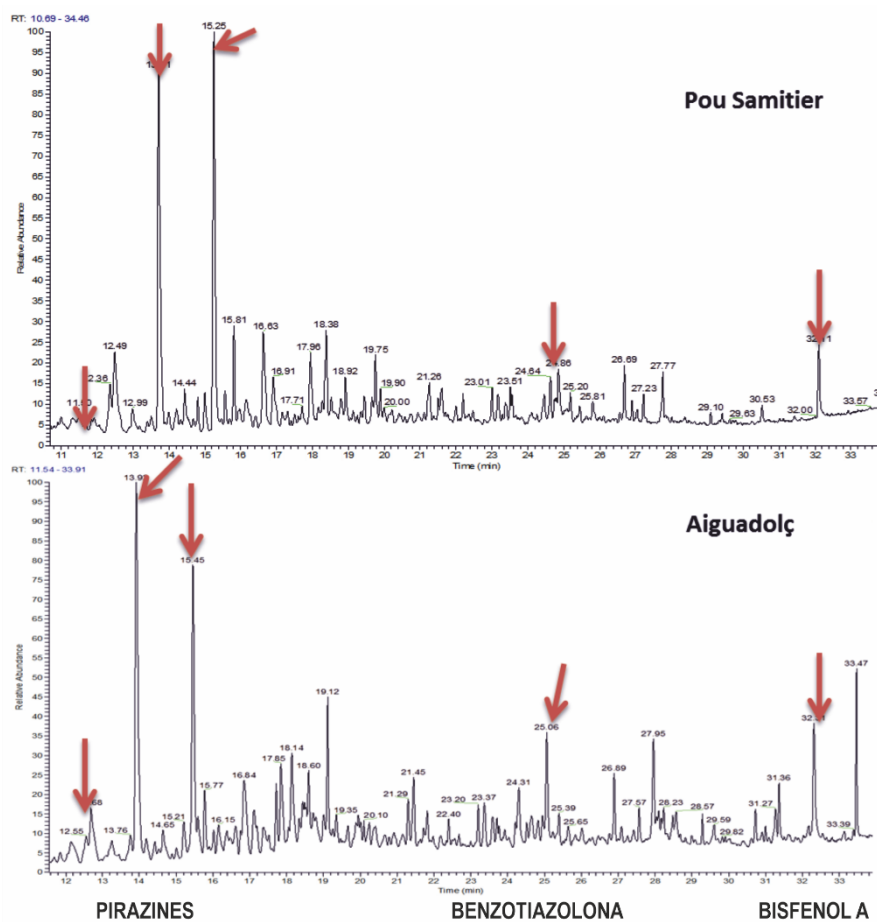


Figura 8.48. Resultats CG-MS d'Aiguadolç i el pou Samitier.

8.4.1.2.3. La surgència de Punta Ginesta

La font temporal de Punta Ginesta és un punt susceptible de rebre impacte de l'abocador, però amb el limitat nombre de mostres i els resultats de les analítiques realitzades l'impacte no es pot establir amb la rotunditat que s'ha definit a les surgències de la Falconera i Aiguadolç. Tot i detectar Bisfenol A a elevades concentracions, com es pot observar a la Figura 8.49, -no s'han detectat pirazines de forma sistemàtica- només en dos mostrejos, una pirazina i a baixa concentració.

El registre GC/MS és concentrat, però amb un perfil diferent dels que trobem en punts amb influència de l'abocador (Figura 8.50). També s'han trobat plastificants, que poden tenir orígens diversos.

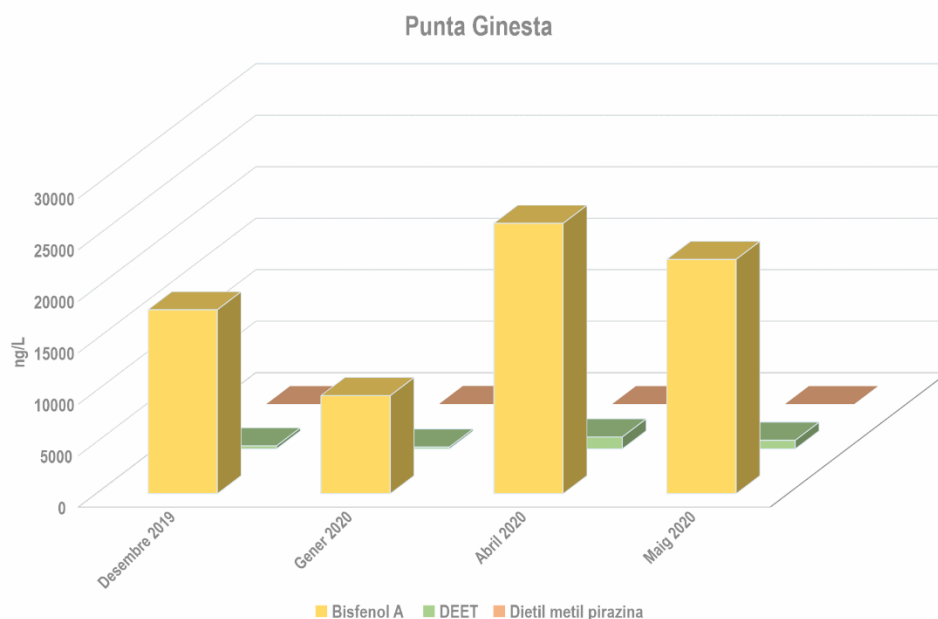


Figura 8.49. Resultats dels compostos marcadors de la surgència de Punta Ginesta

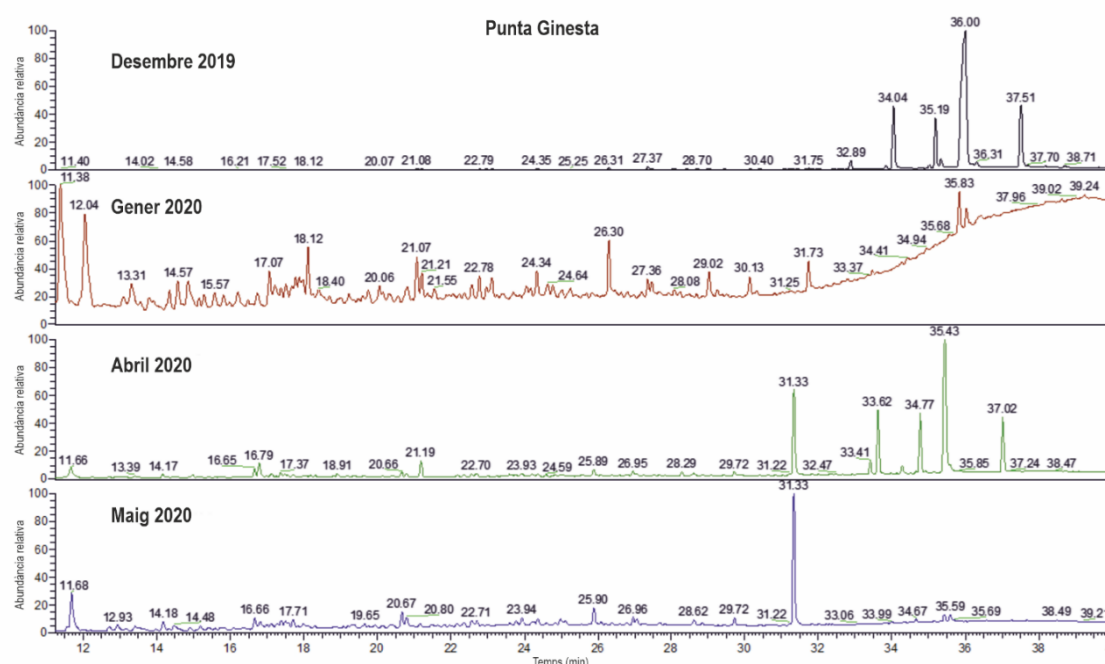


Figura 8.50. Registre GC-MS de les quatre mostres de Punta Ginesta

8.4.1.3. Anàlisi comparativa de les surgències de la Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta

Els microcontaminants orgànics de la surgència de la Falconera amb dades dels punts de control F1, F3 i F4 es poden veure a la Taula 8.18. A més, es poden comparar amb els microcontaminants orgànics aportats per les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta. Les concentracions de tots els marcadors orgànics, en general, són molt superiors a la Falconera quan es comparen amb els valors de les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta.

Taula 8.18. Comparativa resultats contaminants orgànics en les surgències.

MICROCONTAMINANTS ORGÀNICS

	FALCONERA 4				FALCONERA 3				FALCONERA 1				AIGUADOLÇ				PUNTA GINESTA			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
Bisfenol A (ng/L)	15255	nd	50284	16	8553	1,3	40208	6	21127	1200	47874	5	3296	nd	6128	3	19097	9520	26255	4
DEET (ng/L)	208	nd	499	15	155	6,4	321	6	454	141	1373	5	87	57	106	3	611	176	1152	4
Benzotiazolona (ng/L)	8023	nd	1557	15	982	nd	1675	6	1069	238	3705	5	238	14	461	3	nd	nd	nd	4
Dietil metil pirazina (ng/L)	23553	nd	180202	10	43918	nd	169271	6						nd	nd	2		nd	23	2
Trimetilpirazina (ng/L)	41016	nd	442868	15	103935	nd	384270	6	4770	nd	12577	5		nd	nd	3		nd	nd	4
Dimetil etil pirazina (ng/L)	70998	nd	838976	15	173320	nd	774106	6	7630	69	16297	5	709	nd	1294	3		nd	134	4
3,5-dietil-2-metil pirazina (ng/L)	937	nd	2158	5					924	30	2459	5	63			1		nd	86	2
2,3-dietil-5-metil pirazina (ng/L)	597	nd	1826	5					1028	nd	2039	5		nd		1		nd	nd	2

A la surgència de la Falconera hi ha tots els marcadors definits per a l'estudi dels microcontaminants orgànics (F4), és a dir: bisfenol A, DEET, benzotiazolona i les pirazines: dietil metil pirazina, trimetilpirazina, dimetil etil pirazina, 3,5-dietil-2-metil pirazina i 2,3 dietil-5-metil pirazina. Mentre que a Aiguadolç i Punta Ginesta les pirazines només s'han detectat en alguns dels mostreigs (Taula 8.18).

El bisfenol A presenta concentracions elevades a les surgències de la Falconera: 50284 ng/L i Punta Ginesta: 26255 ng/L i no tant a Aiguadolç: 6128 ng/L i el mateix succeeix amb el DEET amb 1373 ng/L a la Falconera i 106 ng/L a Aiguadolç i amb la benzotiazolona amb 3075 ng/L a la Falconera i 461 ng/L a Aiguadolç. A Punta Ginesta les concentracions de DEET són comparables amb les de la Falconera (Taula 8.18).

L'explicació d'aquestes diferències pot tenir a veure amb la procedència de l'aigua des d'unitats hidrogeològiques diferents que, amb temps de trànsit diferents i altres fenòmens modificadors poden la qualitat d'arribada de les aigües pot ser diferent.

8.4.1.4. Pous Carbó, Samitier, Fontanillas, UTE, Vell i Can Planes

A continuació es faciliten els estadístics bàsics dels pous Carbó, Samitier, Fontanillas i UTE, (Taula 8.19). Els pous Carbó i Samitier observen una contaminació explícita i significativa en microcontaminats orgànics (bisfenol A i pirazines), mentre que en els pous Fontanillas i UTE la contaminació és significativament menys important, donat que hi ha menys marcadors i en concentracions més baixes. De manera complementària ens referirem als pous Vell i de Can Planes. El pou Vell, en el marc de l'estudi realitzat, és el que es troba més al nord (sistema hidrogeològic del Garraf); les determinacions en microcontaminats orgànics indiquen solament indicis i, en conseqüència, aquest punt d'aigua contribuiria a assenyalar el límit nord de la contaminació.

Taula 8.19. Comparativa resultats contaminants orgànics en els pous Carbó, Samitier, Fontanillas i UTE.

MICROCONTAMINANTS ORGÀNICS

	POU CARBÓ				POU SAMITIER				POU FONTANILLAS				POU UTE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
Bisfenol A (ng/L)	4057	1,1	31506	11	1071	nd	6148	7	149	nd	536	5	25	3,3	46	5
DEET (ng/L)	51	nd	165	11	55	nd	118	7	5,6	nd	7,0	5	nd	0,4	5	5
Benzothiazolone (ng/L)	337	nd	713	11	167	nd	535	7	23	nd	27	5	nd	2,2	5	5
Dietil metil pirazina (ng/L)	548	nd	2498	7	nd	nd	nd	4	nd	nd	4	4	nd	nd	4	4
Trimetilpirazina (ng/L)	2304	nd	4401	11	nd	nd	48	7	nd	nd	5	5	nd	77	5	5
Dimetil etil pirazina (ng/L)	5687	nd	27855	11	553	nd	920	7	nd	nd	5	5	nd	31	5	5
3,5-dietil-2-metil pirazina (ng/L)		nd	12	4	nd	nd	3	3	nd	nd	1	5	nd	nd	1	5
2,3-dietil-5-metil pirazina (ng/L)		nd	nd	4	nd	nd	3	3	nd	nd	1	5	nd	nd	1	5

8.4.1.4.1 Pou Carbó

Al pou del Carbó, com es pot observar a la figura 8.51, durant els primers mostrejos des de maig a desembre de 2019, les concentracions de tots els marcadors van anar augmentant significativament, principalment el bisfenol A i les pirazines. A partir de febrer del 2020 disminueixen les concentracions de bisfenol A, DEET i benzotiazolona i es deixen de detectar pirazines, excepte al darrer mostreig que tornen a aparèixer traces d'aquestes. Les mostres durant el 2020 han estat poc riques en compostos. S'han trobat plastificants atribuïbles al mostreig.

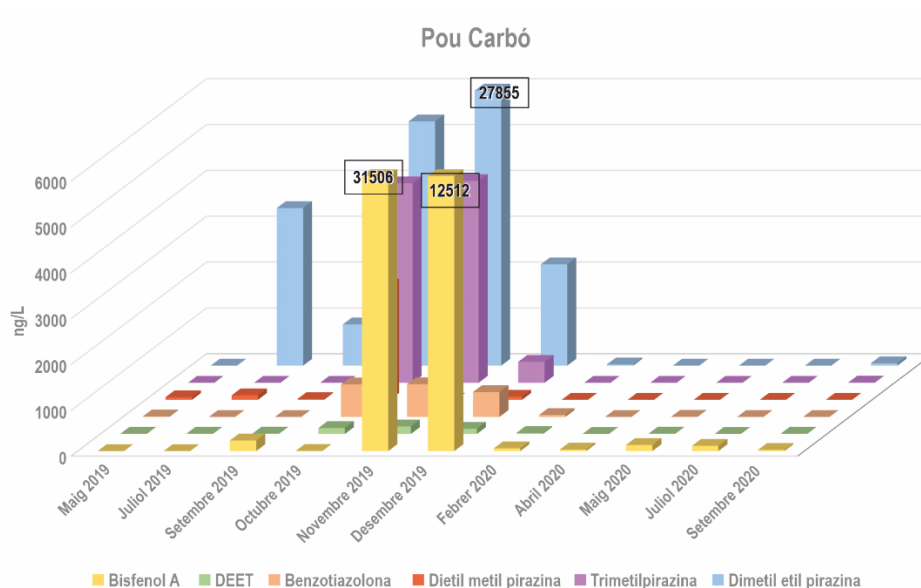


Figura 8.51. Resultats dels compostos marcadors del pou Carbó.

8.4.1.4.2. Pou Samitier

Al començament de l'estudi - als mostrejos de maig, juliol, setembre de 2019 - en aquest punt es van trobar els mateixos compostos marcadors que a les mostres de la Falconera: bisfenol A, diclorobenzè, alquilbenzens (C2-C4), p-cimè, DEET, pirazines... Això va fer pensar que rebia l'impacte de l'abocador, i així es va transmetre en un informe específic a l'octubre de 2019. Aquest impacte es va observar fins al mostreig de desembre 2019. A partir d'aquest mostreig no es van tornar a trobar pirazines, les concentracions de bisfenol A van disminuir i tampoc es va detectar DEET ni benzotiazolona (Figura 8.52). Tal com s'ha explicat abans els perfils cromatogràfics del pou Samitier i de la surgència d'Aiguadolç són idèntics (Figura 8.48).

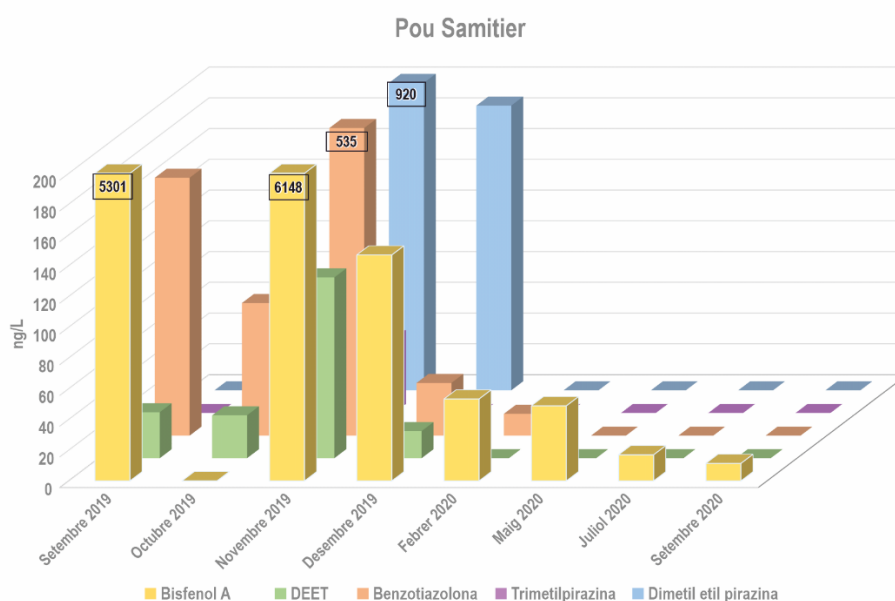


Figura 8.52. Resultats dels compostos marcadors al pou Samitier.

8.4.1.4.3. Pou Fontanillas

Aquesta mostra formaria part d'un grup on l'impacte de l'abocador és poc explícit, ja que tot i trobar-hi bisfenol A, les concentracions són baixes i només s'han trobat puntualment traces dels altres marcadors. En aquesta mostra no s'han detectat mai pirazines.

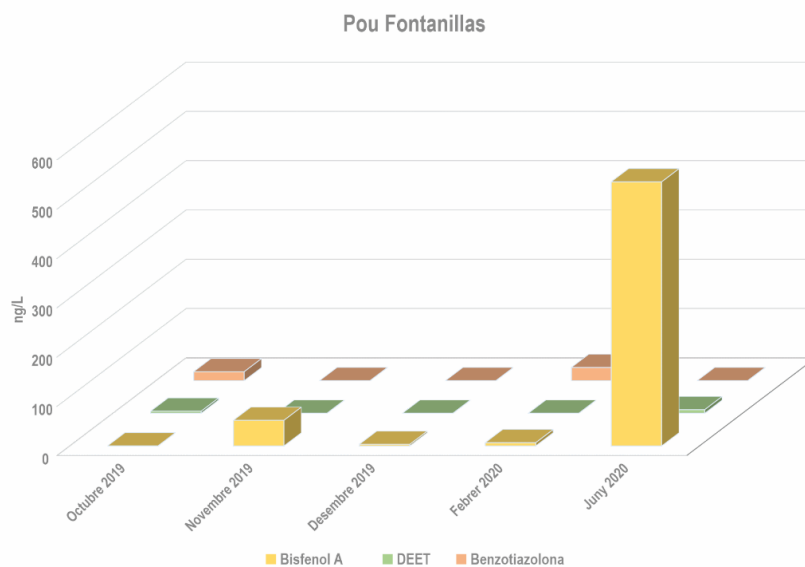


Figura 8.53. Resultats dels compostos marcadors al pou Fontanillas.

8.4.1.4.4. Pou UTE

Les concentracions al pou UTE es poden consultar a la taula 8.19. Baixes concentracions de bisfenol A i puntualment al mostreig de l'octubre de 2019 es van trobar traces dels altres marcadors.

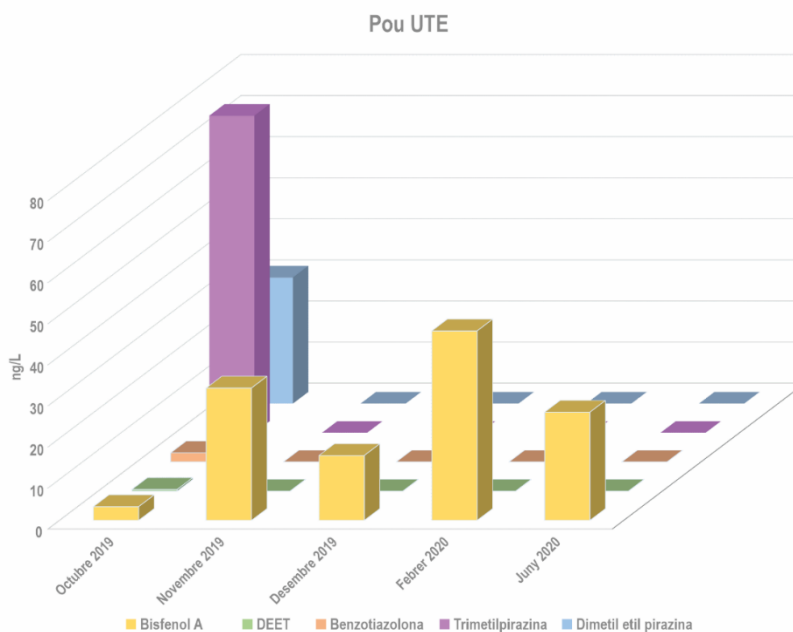


Figura 8.53. Resultats compostos marcadors al pou UTE.

8.4.1.4.5. Pou Vell

Aquest punt d'aigua, a excepció de la font de les Piques i el pou de Can Vallès, és el que està situat més al N de l'àmbit de treball. En aquest punt només s'han detectat traces de bisfenol A, DEET i benzotiazolona en algun mostreig; puntualment també s'han determinat ftalats (Figura 8.54).

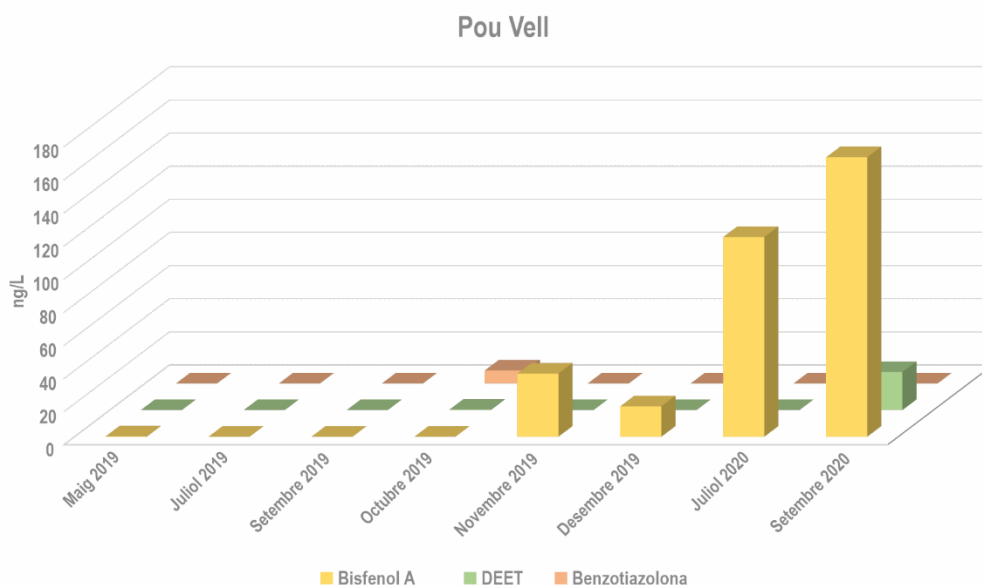


Figura 8.54. Resultats dels compostos marcadors al pou Vell.

8.4.1.4.6. Pou Can Planes

El pou de Can Planes no presenta un impacte fonamentat en diferents marcadors i d'una manera persistent provinent de l'abocador. Tal com es pot veure a la taula 8.17, les concentracions trobades de Bisfenol A han estat baixes (20 a 100 ng/L) i la presència dels altres marcadors és limitada a un sol mostreig i en baixes concentracions. La figura 8.55 mostra la representació gràfica d'aquests resultats.

Al mostreig de setembre de 2020 s'ha trobat un compost majoritari, R-Triazina cianurat (acompanyat de tricloroanilina), es desconeix l'origen d'aquest compost, però podria estar relacionat amb l'activitat agrícola de l'entorn del pou (o també amb manipulacions en la realització dels bombaments).

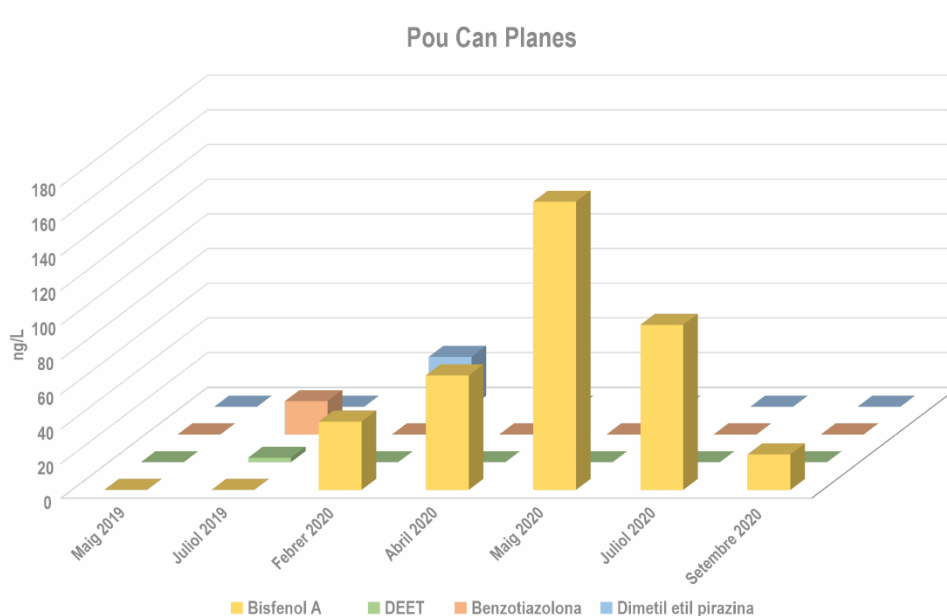


Figura 8.55. Resultats dels compostos marcadors de can Planes.

8.4.1.5. Pous Comissaria de Sitges, Mas Quadrell (Mihail), Rat Penat (riera) i Rat Penat (esportiu)

Només es disposa de les dades d'un mostreig del mes de juny de 2020, havent-se detectat bisfenol A en aquestes mostres (Taula 8.17).

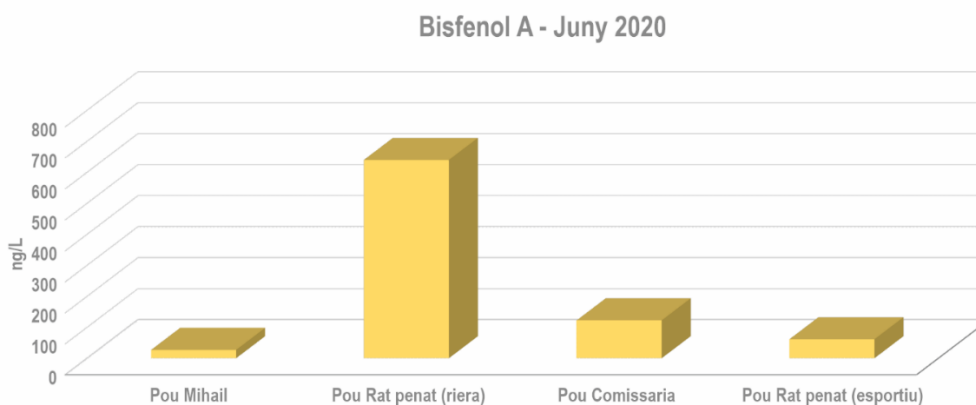


Figura 8.56. Determinacions del marcador Bisfenol A als pous de Mas Quadrell, Rat Penat 1 (riera), Comissaria (Sitges) i Rat Penat Esportiu.

8.4.1.6. Can Vallès, “Piedras y derivados”, surgència Cova del Centenari, pou Garraf poble, surgència de la Cova del Congre, pou nº 1, pou Hilari, pou de la Mata, font de les Piques i Falconera 0 (o Falconera mostreig a mar)

En aquests punts d'aigua no es va detectar la presència dels compostos marcadors, per tant es pot afirmar que no hi ha hagut un impacte explícit o clar per part dels lixiviats de l'abocador.

Es van trobar altres compostos, tot i que no es poden relacionar unívocament amb la contaminació dels lixiviats de l'abocador:

- Pou “**Piedras y Derivados**”: background d’hidrocarburs, esterols no habituals (Lupanol).
- Surgència de la **Cova del Centenari**: dump d’hidrocarburs = abocament petroli.
- Surgència de la **Cova del Congre**: p-Cimè, traces d’hidrocarburs.
- Pou de **Can Vallés**: background de terpens, hidrocarburs (C15-C21), ftalat de di-etilhexil (DEHP).

8.4.1.7. Piezòmetres de Vallgrassa, La Pleta, Pitxot i Abocador SE

Els piezòmetres de Vallgrassa i La Pleta disposen de quatre mostres i els del Pitxot i Abocador SE solament d’una. El bisfenol A és el marcador que apareix en concentracions significatives als piezòmetres de Vallgrassa, La Pleta i Abocador SE, mentre que al piezòmetre del Pitxot la concentració és més baixa: 85 ng/L. Hi ha concentracions baixes de DEET als piezòmetres de Vallgrassa, Pitxot i Abocador SE. També hi ha benztiazolona als quatre piezòmetres: a La Pleta amb un valor màxim de 233 ng/L i un valor molt baix al piezòmetre Abocador SE: 3 ng/L. Només es troba una pirazina al piezòmetre de Vallgrassa: dietil metil pirazina (26 ng/L).

Taula 8.20. Microcontaminants orgànics als nous piezòmetres.

MICROCONTAMINANTS ORGÀNICS

	VALLGRASSA				LA PLETA				PITXOT				ABOCADOR SE			
	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n	MITJANA	MÍNIM	MÀXIM	n
Bisfenol A (ng/L)	466	10	1459	4	1281	458	3055	4	85			1	471			1
DEET (ng/L)		nd	85	4		nd	nd	4	9			1	45			1
Benztiazolona (ng/L)	61	nd	78	4	146	nd	233	4	58			1	3			1
Dietil metil pirazina (ng/L)		nd	26	4		nd	nd	4								
Trimetilpirazina (ng/L)		nd	nd	4		nd	nd	4		nd	nd	1		nd	nd	1
Dimetil etil pirazina (ng/L)		nd	nd	4		nd	nd	4		nd	nd	1		nd	nd	1
3,5-dietil-2-metil pirazina (ng/L)										nd	nd	1		nd	nd	1
2,3-dietil-5-metil pirazina (ng/L)										nd	nd	1		nd	nd	1

Es pot concloure que hi ha una incidència poc marcada dels lixivats de l’abocador en aquests punts d’aigua. Els piezòmetres de Vallgrassa i La Pleta, encara que no presenten un espectre de marcadors amb concentracions importants, es troben aigua avall del flux subterrani, segurament de tipus difús, que prové de l’abocador i, per tant, reben l’impacte dels seus lixivats.

L’exemple del piezòmetre del Pitxot, tot i trobar-se aigua avall del flux subterrani que prové de l’abocador i presentar bisfenol A, DEET i benztiazolona, exigeix una interpretació particular. En efecte, aquest punt per l’absència de permeabilitat càrstica al llarg del sondeig, nivell d’aigua poc per sobre del nivell del mar, amb un baix cabal, i mineralització més baixa de tots els punts d’aigua estudiats (amb una conductivitat de 598 µS/cm a 20°C) juntament amb la font epicàrstica de les Piques, exigeix una interpretació a part dels altres piezòmetres difícil de precisar amb les dades d’una sola mostra.

El piezòmetre Abocador SE, es troba aigua avall del tàlveg ocupat per l’abocador de la vall de Joan, intercepta materials del Triàsic i presenta els microcontaminants orgànics: bisfenol A, DEET i benztiazolona; aquesta contaminació situada fora dels límits litològics de l’aqüífer juràssico-cretaci es pot explicar considerant situacions de diferents característiques:

- A partir de la infiltració d'aigües "semi-netes" (escorrentia superficial de l'abocador molt poc contaminada).
- A partir de la infiltració situada aigua amunt en els materials carbonàtics del Juràssic per trencament d'una canonada de lixiviats (Figura 8.57).
- Per la influència dels lixiviats ubicats a la part inferior de l'abocador, tot i que el flux subterrani majoritari no es desenvolupa en la direcció del piezòmetre (Annex Prospecció Magneto tel·lúrica. Martí, et al. 2021)



Figura 8.57. Zona on s'observa potencial infiltració directa dels lixiviats als materials carbonàtics del Juràssic, aigua avall de la vall de Joan abans de la planta de tractament de lixiviats.

8.4.2. Consideracions a la presència de microcontaminants orgànics

L'impacte global dels lixiviats de l'abocador es veu modulats per les propietats físico-químiques dels contaminants que provoquen una discriminació selectiva deguda tant a efectes de piròlisi com a una absorció selectiva en els materials de l'aquífer.

Per tant, en funció del flux subterrani i de l'estat i característiques hidrogeològiques (permeabilitat, presència d'argiles...) del sistema, les afectacions en els diferents punts poden ser variables.

De les dades presentades en aquest informe es conclou que hi ha un impacte explícit dels lixiviats de l'abocador en els punts següents:

- Falconera (F1, F2, F3 i F4 o pou Eusebi)
- Aiguadolç

S'han detectat afectacions de caràcter més aviat temporal, a vegades més marcades que altres, però explícites de la incidència de l'abocador en els punts d'aigua següents:

- Pou Carbó
- Pou Samitier
- Punta Ginesta

Tot i no observar un impacte explícit i persistent amb tots els marcadors orgànics, sí que es detecta, degut a les seves propietats, el bisfenol A en els punts d'aigua següents:

- Pou Comissària (Sitges)
- Pou UTE
- Pou Fontanillas
- Pou Mas Quadrell
- Pou Vell
- Pou Can Planes
- Pou Rat Penat (riera)
- Pou Rat Penat (esportiu)

En els piezòmetres de Vallgrassa, La Pleta, Pitxot i Abocador SE hi ha bisfenol A, DEET, benzotiazolona i, molt excepcionalment, la dimetil etil pirazina a Vallgrassa. Es pot concloure la incidència dels lixiviats de l'abocador, però amb una intensitat baixa.

8.5. Estudi microbià multiparamètric

Els resultats aconseguits a partir de l'estudi microbià multiparamètric de les aigües subterrànies del Garraf aporten informació interessant d'una diversitat de punts d'aigua de característiques molt contrastades: dels lixiviats o aigües residuals de l'abocador de la vall de Joan als punts d'aigües subterrànies de característiques físiques també molt diferents. En efecte, hi ha surgències ubicades poc per sobre del nivell mar: Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta i pous situats a la part interior del massís: alguns allunyats de la línia de costa (pous Carbó i Vell) i altres més a prop (pous UTE, Comissaria de Sitges, Rat Penat...), això és important, doncs la influència de la intrusió marina és molt diferent. També s'analitzà una mostra de la surgència submarina del Congre.

Dos punts d'aigua corresponen a fonts d'aqüífers epicàrstics o superficials (Font de les Piques i Font-Pou de la Mata).

Els lixiviats s'han analitzat a la bassa de lixiviats i als pous de lixiviats T12 i T19 de l'abocador. També s'ha analitzat una mostra de les infraestructures que canalitzen les aigües d'escorrentia superficial de l'abocador (BI). Pous i piezòmetres constitueixen els punts majoritaris de l'inventari (Taules 8.1 i 8.2; Figura 8.1) i geogràficament abasten la part meridional del Bloc del Garraf, que limita al sud amb el mar: entre les Botigues de Sitges i Aiguadolç.

A més, s'ha de remarcar la important descàrrega submarina (Punta Ginesta, Pas Trencat, La Falconera, Penyes Roges, Congre, Punta Morisca, Pebre, Aiguadolç...) al llarg de la costa del Garraf. Una part significativa d'aquesta descàrrega submarina està estretament relacionada amb les surgències temporals subaèries de la Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta.

Aquest conjunt de punts d'aigua subterrània (surgències, fonts dels aquífers epicàrstics, pous i piezòmetres i la conca de la vall de Joan, on es troben els punts de mostreig dels lixiviats, estan situats en la unitat hidrogeològica que s'ha definit com a sistema hidrogeològic del Garraf i, més concretament, al subsistema o sistema càrstic de la Falconera.

Aquest sistema hidrogeològic també constitueix un ecosistema càrstic de gran complexitat. Els estudis futurs de microbiologia hauran d'observar aquesta perspectiva ecològica.

Com anteriorment s'ha explicat, el sistema hidrogeològic del Garraf integra diferents unitats o subsistemes hidrogeològics: La Falconera, Aiguadolç, Punta Ginesta, entre altres.

El sistema o subsistema càrstic de la Falconera és l'únic, amb les dades que es disposa, que observa un caràcter clarament càrstic. Aquesta unitat és la que incorpora a la seva conca (i a la seva estructura de drenatge) l'abocador de la vall de Joan. Les aproximacions realitzades a partir de marcadors bàsics, metalls solubles, microcontaminats orgànics i isòtops, són molt evidents en aquest sentit.

L'aproximació microbiològica, a partir dels diferents marcadors, ens indica que hi ha una diversitat de focus o fonts potencials, no únicament l'abocador. És necessari fer un pas més en el coneixement dels marcadors microbiològics en la línia de l'anàlisi metagenòmica de la diversitat bacteriana i entenent que el carst és un ecosistema, amb l'objectiu de precisar les diferents fonts o focus contaminants que incideixen en els

diferents punts d'aigua i particularment aprofundir en els processos de l'abocador i en la relació d'aquest equipament amb la surgència de la Falconera.

L'apartat sobre el marc geogràfic i les fonts potencial de contaminació d'aquest document explica la diversitat de tipus de fonts potencials de contaminació existents en l'àmbit del Garraf i les seves possibles implicacions ambientals. No obstant, la incidència de gran part d'aquestes fonts potencials (foses sèptiques, depuració individual, plantes depuradores de l'interior del Garraf...) no és, en cap cas, comparable amb la incidència de la font contaminant de tipus massiu que constitueix l'abocador. Això també s'hauria d'observar i analitzar des d'una perspectiva microbiològica ecològica. Com ja s'ha explicat en els apartats precedents que han analitzat altres marcadors (amoni, TOC, microcontaminats orgànics, isòtops...), els lixiviats de l'abocador constitueixen l'origen de la contaminació estudiada al sistema hidrogeològic del Garraf.

A més, el paper dels microorganismes és fonamental i determinant dels processos de l'abocador i dels processos hidrològics de la zona no saturada o saturada, interfase aigua dolça aigua salada, i descàrregues temporals subaèries i permanents submarines (SGD) (metanogènesi, metabolismes del sofre, processos de sulfatoreducció...).

8.5.1. Resultats

8.5.1.1. Mostreig general (Fase 1)

En les taules 8.21, 8.22 i 8.23 es presenten els resultats obtinguts pels indicadors tradicionals microbians i marcadors de MST agrupats segons la tipologia de les mostres corresponent-se respectivament a les mostres de La Falconera i surgència del Congre, la bassa de lixiviats i d'altres mostres d'aigües de pous, fonts o freàtiques. Els resultats positius pels indicadors *Escherichia coli* (EC) i enterococs (ENT) ens indiquen una contaminació fecal recent en les aigües mostrejades. La detecció de colífags somàtics (SOMCPH) ens determina una contaminació fecal intermèdia en el temps, i la d'espores de clostridis (SCR) ens està indicant una contaminació remota en el temps.

Taula 8.21. Resultats obtinguts en les 4 mostres de La Falconera i la surgència del Congre. EC: *Escherichia coli*; ENT: enterococs; SRC: espores de clostridis; SOMCPH: colífags somàtics; GA17PH: bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* associats a humans; HMBif: marcador molecular de *Bifidobacterium* associat a humans. crAss: marcador molecular de bacteriòfags de *Bacteroides* associat a humans (El pou Eusebi és equivalent de Falconera 4).

	Mostra	EC	ENT	SRC	SOMCPH	GA17PH	HMBif	crAss
1	FALCONERA 1	<1	<1	10,9	<1	<1	<150	<150
2	FALCONERA 2	<1	1	5	<1	<1	<100	<100
3	FALCONERA 3	<1	1	6,6	<1	<1	<150	<150
4	POU EUSEBI	<1	<4	<1	<1	<187,5	<187,5	<187,5
5	CONGRE	<1	<1	22,9	<1	<1	<50	<50

Els resultats positius per SCR en les mostres 1, 2 3 i 5 apunten a una contaminació fecal que no és recent. No obstant, s'observa la presència d'enterococs en les mostres 2 i 3 que indicarien alguna contribució més recent, però que s'hauria de confirmar mitjançant un nombre significatiu de mostres.

Taula 8.22. Resultats obtinguts en les 4 mostres associades als punts de mostreig dels llixiviats de l'abocador. EC: *Escherichia coli*; ENT: enterococs; SRC: espores de clostridis; SOMCPH: colífags somàtics; GA17PH: bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* associats a humans; HMBif: marcador molecular de *Bifidobacterium* associat a humans. crAss: marcador molecular de bacteriòfags de *Bacteroides* associat a humans.

	Mostra	EC	ENT	SRC	SOMCPH	GA17PH	HMBif	crAss
21	B.I	<2,2	<6,67	3,60E+02	4,00E+01	<20	<3000	<3000
20	T.B	8,0E+02	2,67E+02	2,78E+02	<10	<20	<1875	<1875
22	T12	<1	<1	2,00E+00	<10	<20	<2000	<2000
23	T19	<1	<1	1,13E+03	<10	<20	2,45E+03	<3750

Similarment la presència de SRC en les mostres 20, 21, 22 i 23 (taula 8.22) ens indiquen també una contaminació fecal que no és recent. No obstant, s'observa la presència d'*Escherichia coli* i d'enterococs en la mostra 20 (lixiviats T.B.) i per tant en aquest punt s'observa que hi ha una contribució de contaminació fecal recent. El marcador d'origen de contaminació fecal humana HMBif presenta un resultat clarament positiu en la mostra 23 (lixiviats de la terrassa 19) indicant-nos una contribució fecal humana, però que no necessària ha de ser recent, ja que és un marcador molecular de DNA que pot persistir en determinats entorns. Caldria comprovar-ho en futures mostres.

S'observa també una contribució fecal remota en el temps en les mostres 7, 8 i 14 per la detecció de SRC. Per altra banda, en diferents mostres es detecta una contaminació fecal recent (mostres 10, 14 i 18) amb la detecció de presència d'*Escherichia coli*, d'enterococs, de SRC. En la mostra 17 es detecten resultats positius per enterococs, SRC i colífags somàtics (SOMCPH) que tot i tenir uns valors baixos ens indiquen la presència de contaminació fecal que podria tenir un origen difús o envellida per aportacions de fa un cert temps. Cal també indicar que hi ha dues mostres que presenten una concentració del marcador humà molecular crAssphage (crAss) que caldria confirmar en futures mostres, ja que es troben en el límit de detecció d'aquest paràmetre.

Taula 8.23. Resultats obtinguts en les mostres d'aigua procedents de diferents pous, fonts i freàtiques. EC: *Escherichia coli*; ENT: enterococs; SRC: espores de clostridis; SOMCPH: colífags somàtics; GA17PH: bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* associats a humans; HMBif: marcador molecular de *Bifidobacterium* associat a humans. crAss: marcador molecular de bacteriòfags de *Bacteroides* associat a humans (La mostra de Rosam Garraf SL, és una segona mostra del pou Samitier).

	Mostra	EC	ENT	SRC	SOMCPH	GA17PH	HMBif	crAss
6	COVA DEL CENTENARI	<1	<1	<1,67	<1	<1	<37,5	<37,5
7	POU GARRAF POBLE	<1	<1	2,80E+02	<1	<1	<50	<50
8	PIEDRAS Y DERIVADOS	<1	<1	2,67E+01	<1	<1	<30	<30
9	POU DE CAN PLANES	<1	<1	<1,67	<1	<1	<30	<30
10	CAN VALLÈS	1,00E+00	<1	4,00E+01	<1	<1	<42,86	<42,86
11	POU CARBÓ	<1	<1	6	<1	<1	<100	<100
12	POU VELL	<1	<1	<1	<1	<1	<30	<30
13	POU FONTANILLAS	<1	<1	<1	<1	<1	<30	<30
14	ROSAM GARRAF SL	<1	<1	2,73E+01	<1	<1	<50	<50
14	POU SAMITIER	5,25E+02	1,10E+02	6,17E+02	<1	<1	<42,8	Ind
15	POU HILARIO	<1	<1	<1	<1	<1	<30	<30
16	POU UTE	<1	<1	<1	<1	<1	<30	<30
17	POU N° 1/POU PEDRERA VELLA	<1	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	<1	<30	<30
18	POU DE LA MATA	1,00E+00	3,50E+01	6,10E+01	<1	<1	<50	<50
19	FONT PIQUES	<1	<1	<1	<1	<1	<30	Ind

S'observa també una contribució fecal remota en el temps en les mostres 7, 8 i 14 per la detecció de SCR. Per altra banda, en diferents mostres es detecta una contaminació fecal recent (mostres 10, 14 i 18) amb la detecció de presència d'*Escherichia coli*, d'enterococs, de SCR. En la mostra 17 es detecten resultats positius per enterococs, SCR i colífags somàtics (SOMCPH) que tot i tenir uns valors baixos ens indiquen la presència de contaminació fecal que podria tenir un origen difús o envellida per aportacions de fa un cert temps. Cal també indicar que hi ha dues mostres que presenten una concentració del marcador humà molecular crAssphage (crAss) que caldria confirmar en futures mostres ja que es troben en el límit de detecció d'aquest paràmetre.

Per tant, i com a conclusió inicial, s'ha observat la presència de contaminació fecal recent en diferents aigües mostrejades que no es limiten exclusivament a mostres associades a l'abocador o a La Falconera (Figura 8.58).

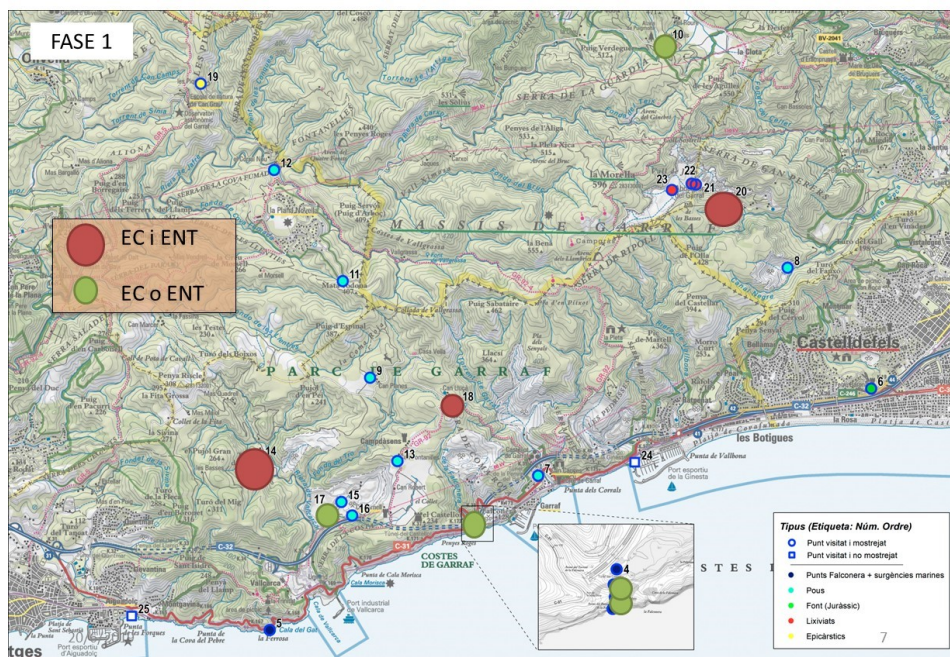


Figura 8.58. Posició i representació quantitativa relativa de les mostres que presentaren resultats positius per a *Escherichia coli* i enterococs.

Per altra banda, existeix una contaminació fecal remota en el temps en diferents punts mostrejats, associats a l'abocador, La Falconera, surgència del Congre i algunes aigües d'origen freàtic o de pous (Figura 8.59).

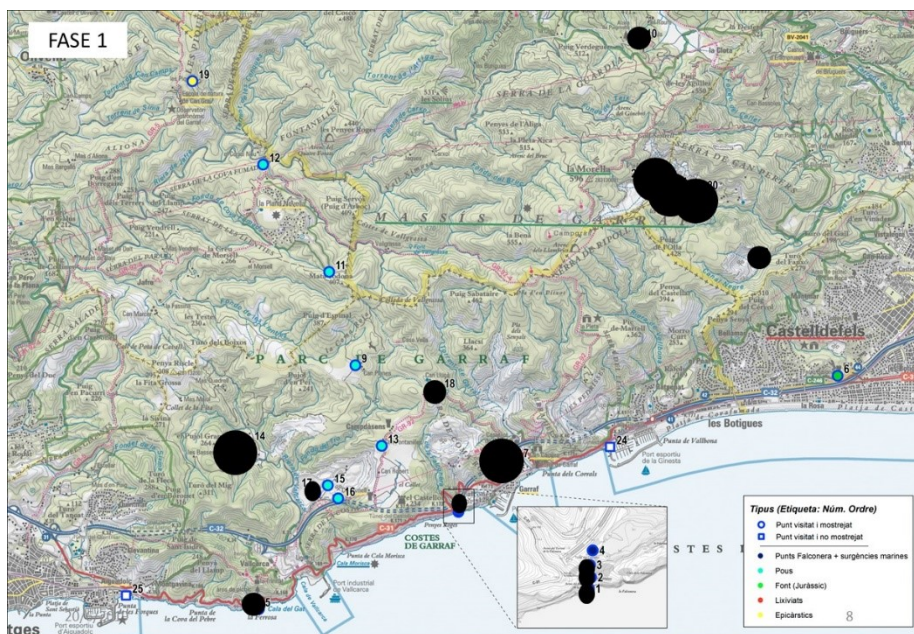


Figura 8.59. Posició i representació quantitativa relativa de les mostres que presentaren resultats positius per a espores de clostridis.

Es requereix realitzar el mostreig dels punts d'interès que s'estableixin durant la propera Fase 2 per a poder confirmar aquestes observacions preliminars que es sostenen amb tan sols una sola mostra per punt analitzat.

8.5.1.2. Mostreig cicle hidrològic 2019-2020 (Fase 2 o Mostreig estacional)

Durant la segona fase va haver-hi 69 mostres (veure Annex 5) positives per almenys un dels 4 marcadors analitzats i 24 mostres no mostraren cap dels marcadors. Aquestes mostres foren: 2 de les 5 mostres d'Aiguadolç, 1 de les 5 mostres de Can Planes, 1 de les 5 mostres de Falconera 3, 2 de 2 del piezòmetre La Pleta, 4 de les 9 mostres de Pou Carbó, 4 de les 7 mostres de Pou Fontanillas, 1 d'1 mostra de Pou Rat Penat esportiu, 1 de 8 de Pou Samitier, 1 de 7 de Pou UTE, 2 de 2 del piezòmetre de Vallgrassa, 3 de 6 de Pou Vell i 2 de T19 (Taula 4).

De les 69 mostres que presenten almenys un marcador, 37 mostres han estat positives per *E. coli* amb una mitjana d' $1,2 \times 10^2$ UFC / 100 ml (valor màxim de $3,5 \times 10^3$ UFC / 100 ml), 58 mostres positives per espores de clostridis amb una mitjana d'1,21 UFC / 100 ml (valor màxim d' $1,8 \cdot 10^3$ x UFC / 100 ml), 22 mostres positives per colífags somàtics amb una mitjana de $3,0 \cdot 10^2$ x PFU / 100 ml (valor màxim de $2,2 \cdot 10^2$ PFU / 100 ml) i 5 mostres positives pel marcador de contaminació fecal humana HMBif. En aquest cas només una mostra estava pel sobre el nivell de quantificació (Pou Eusebi, 29/10/2019) amb una concentració de $6,9 \cdot 10^2$ cg / 100 ml. A les altres 4 mostres el marcador fou detectat però la concentració estava per sota del límit de quantificació (Pou Carbó 18/2/20, Aiguadolç 30/4/20, Punta Ginesta 27/05/20 i Pou Samitier 16/7/20). En totes les 5 mostres positives per HMBif es va detectar *E. coli* en una baixa concentració, en 2 també clostridis i en 1 d'aquestes també colífags somàtics.

Catorze mostres foren positives pels 3 marcadors de cultius: *E. coli*, espores de clostridis i colífags somàtics, 27 de les mostres positives per *E. coli* també ho foren per espores de clostridis i 17 per colífags somàtics. I 18 mostres foren positives a la vegada per espores de clostridis i colífags somàtics.

Per a *E. coli* foren positives un total de 37 mostres, 2 de les 5 mostres d'Aiguadolç, 2 de les 5 mostres de Can Planes, 1 mostra d'1 de Can Vallès, les 4 de Falconera 1, 3 de les 5 mostres de Falconera 3, 3 de les 9 mostres de Pou Carbó, 9 de les 14 mostres de Pou Eusebi, 1 d'1 mostra de Pou Rat Penat, 3 de 8 de Pou Samitier, 1 de 7 de Pou UTE, 3 de 6 de Pou Vell, 4 de 4 Punta Ginesta i 1 d'1 de PZ Vallgrassa.

Per les espores de clostridis foren positives un total de 58 mostres, 3 de les 5 mostres d'Aiguadolç, 2 de les 5 mostres de Can Planes, 1 mostra d'1 de Can Vallès, 1 d'1 mostra de Comissaria, 1 d'1 mostra de Falconera 0, 3 de les 4 de Falconera 1, 3 de les 5 mostres de Falconera 3, 1 mostra d'1 de Falconera 5, 1 mostra d'1 de Mas Quadrell, 1 mostra d'1 de Piedras y Derivados, 3 de les 9 mostres de Pou Carbó, 13 de les 14 mostres de Pou Eusebi, 3 de les 7 mostres de Pou Fontanillas, 1 d'1 mostra de Pou Rat Penat, 7 de 8 de Pou Samitier, 6 de 7 de Pou UTE, 1 de 6 de Pou Vell, 2 de 4 Punta Ginesta, 2 de 2 de PZ La Pleta i 1 d'1 de PZ Vallgrassa.

Pels colífags somàtic foren positives un total de 22 mostres, 1 d'1 mostra de Comissària, 3 de les 4 de Falconera 1, 4 de les 5 mostres de Falconera 3, 9 de les 14 mostres de Pou Eusebi, 1 de les 7 mostres de Pou Fontanillas, 1 d'1 mostra de Pou Rat Penat, 1 de 8 de Pou Samitier i 2 de 4 Punta Ginesta.

Taula 8.24. Resultats obtinguts en els diferents punts mostrejats en la Fase 2. EC: *Escherichia coli*; ENT: enterococs; SRC: espores de clostridis; SOMCPH: colífags somàtics; GA17PH: bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* associats a humans; HMBif: marcador molecular de *Bifidobacterium* associat a humans. crAss: marcador molecular de bacteriòfags de *Bacteroides* associat a humans.

	Total	Cap marcador	<i>E. coli</i>	SRC	SOMCPH	HMBif
Aiguadolç	5	2/5	2/5	3/5	0/5	1/5
Can Planes	5	1/5	2/5	2/5	0/5	0/5
Can Vallés	1	0/1	1/1	1/1	0/1	0/1
Comissaria	1	0/1	0/1	1/1	1/1	0/1
Falconera 0	1	0/1	0/1	1/1	0/1	0/1
Falconera 1	4	0/4	4/4	3/4	3/4	0/4
Falconera 3	5	1/5	3/5	3/5	4/5	0/5
Falconera 5	1	0/1	0/1	1/1	0/1	0/1
PZ La Pleta	2	2/2	0/2	0/2	0/2	0/2
Mas Quadrell	1	0/1	0/1	1/1	0/1	0/1
Piedras y Derivados	1	0/1	0/1	1/1	0/1	0/1
Pou Carbó	9	4/9	3/9	3/9	0/9	1/9
Pou Eusebi (o F4)	14	0/14	9/14	13/14	9/14	1/14
Pou Fontanillas	7	4/7	0/7	3/7	1/7	0/7
Pou Rat Penat	1	0/1	1/1	1/1	1/1	0/1
Pou Rat Penat esportiu	1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Pou Samitier	8	1/8	3/8	7/8	1/8	1/8
Pou UTE	7	1/7	1/7	6/7	0/7	0/7
PZ Vallgrassa	2	2/2	0/2	0/2	0/2	0/2
Pou Vell	6	3/6	3/6	1/6	0/6	0/6
Punta Ginesta	4	0/4	4/4	2/4	2/4	1/4
PZ La Pleta	2	0/2	0/2	2/2	0/2	0/2
PZ Vallgrassa	1	0/1	1/1	1/1	0/1	0/1
T19	4	2/4	0/4	2/4	0/4	0/4
Total	93	24	37	58	22	5

A la figura 8.60 s'observa la distribució de les concentracions dels diferents marcadors de cultiu: *E. coli*, espores de clostridis i colífags somàtics de les mostres positives en funció de les dates de mostreig. L'objectiu és observar una possible variabilitat temporal ja sigui per període de pluja, temperatura, però tenint en compte que els llocs de mostreig difereixen en les diferents campanyes, és complicat poder fer un seguiment d'un punt. Així i tot sembla que els mostrejos de desembre i gener els nivells són en general més alts que en altres campanyes. Així i tot és difícil de valorar. En el cas del Pou Eusebi (Falconera 4) s'ha pogut realitzar el seguiment atès que s'ha mostrat durant tot el període.

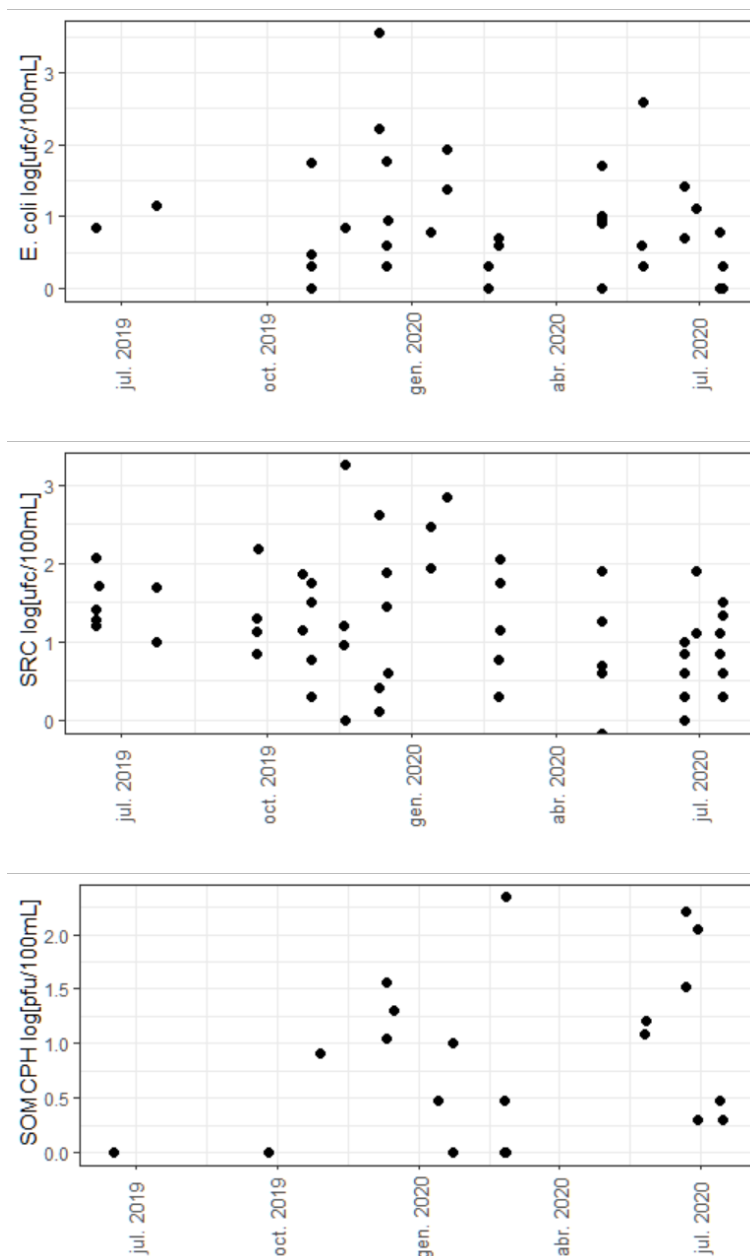


Figura 8.60. Distribució de les concentracions dels diferents marcadors de cultiu, de dalt a baix: *E. coli*, espores de clostridis i colífags somàtics, en funció de la data de mostreig.

8.5.2. Discussió

Els resultats obtinguts de les anàlisis microbiològiques de les mostres de la segona fase no permeten per si soles identificar cap factor que determini o expliqui alguns dels efectes ambientals que poden derivar de la contaminació de l'abocador que s'ha observat en alguns punts. No obstant, sí que s'ha detectat contaminació fecal que indicaria, en alguns casos, una contaminació procedent de pressions properes al punt:

- Un elevat nombre de mostres del Pou UTE i la meitat del Pou Fontanillas són positives per espores de clostridis, però hi ha poca presència d'indicadors com *E. coli* i SOMCPH fet que ens indica que es pot tractar d'una contaminació llunyana en el temps o l'espai.
- Els pous Samitier i sobretot el pou Eusebi (Falconera 4) presenten un elevat nombre de mostres positives pels indicadors fecals tant *E. coli* com colífags somàtics que mostren una contaminació recent i també espores de clostridis.
- Totes les mostres de Punta Ginesta presenten *E. coli* i alguns altres marcadors mostrant la presència de contaminació fecal recent en aquest punt.
- La majoria de mostres de la Falconera 1 i 3 també presenten indicadors fecals. Es detecta tant *E. coli* com colífags somàtics que mostren una contaminació recent i també espores de clostridis.
- Cinc mostres de punts diferents: Pou Eusebi (Falconera 4), Pou Carbó, Aiguadolç, Punta Ginesta i Pou Samitier presenten el marcador humà HMBif suggerint l'aportació de contaminació fecal humana en aquests punts.

8.6. Evolució en el cicle hidrològic: esquema de funcionament i anàlisi de crescudes

8.6.1. El cicle hidrològic a la surgència de la Falconera. Anàlisi comparativa amb les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta. Esquema de funcionament. La crescuda de desembre de 2019

La conductivitat, com a paràmetre globalitzador de la mineralització o salinitat de l'aigua, però també els ions clorur, sodi, potassi i sulfat permeten definir un model o patró d'evolució a la surgència càrstica de la Falconera. L'esquema d'evolució de la Falconera es compara amb les evolucions tipus observades a les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta i se'n fa una interpretació. Les dades de les tres surgències s'han representat a la Figura 8.61.

L'evolució de la conductivitat estableix un patró d'evolució de la mineralització que defineix dues situacions tipus de comportament o funcionament de la surgència de la Falconera. En efecte, s'observa molt bé que a l'hidrograma de conductivitat hi ha dues parts ben diferenciades: la primera defineix una punta o màxim de la conductivitat de gran amplada o base, doncs pràcticament abasta tot el període de l'any 2019, en aquesta primera part la descàrrega càrstica, en general, ha tingut poca o molt poca significació; la segona part (any 2020) presenta una evolució de la conductivitat amb varis màxims i mínims, en general poc marcats i amb valors molt inferiors als de l'any 2019, propis de la forta incidència de descàrregues càrstiques consecutives que caracteritzaran tot el període de 2020 (i 2021). La transició d'una part a l'altra de l'esquema coincideix molt bé amb el pas d'un any a l'altre: del 2019 al 2020. La transició s'inicia amb una important crescuda (desembre de 2019) que descriurem amb detall per la interessant informació que aporta.

La primera part de l'esquema indica una salinitat molt important que progressivament s'apropa i finalment correspon pràcticament a aigua de mar, mentre que la segona part de l'esquema (any 2020) indica una evolució amb la influència d'una diversitat d'episodis de crescuda que responen a episodis de pluja molt importants, en què la descàrrega càrstica és molt activa (Figura 8.61).

El període de salinitat elevada (conductivitat elevada) és l'expressió de la forta influència que té la intrusió marina en el sistema de la Falconera. A Aiguadolç i Punta Ginesta la intrusió en cap cas té la importància i la incidència que té a la Falconera. A la surgència de la Falconera, com ja ha estat explicat, sembla que la intrusió es desenvolupi de manera important cap a l'interior del massís a partir de l'eix o estructura de drenatge. La intrusió físicament es produeix al conducte de la surgència de la Falconera i possiblement per altres conductes no coneguts i fins i tot s'hauria d'estudiar si la descàrrega que em definit com Falconera mar (situada a 1,5 km de la costa) també es veu implicada, si més no temporalment, en el procés de la intrusió salina.

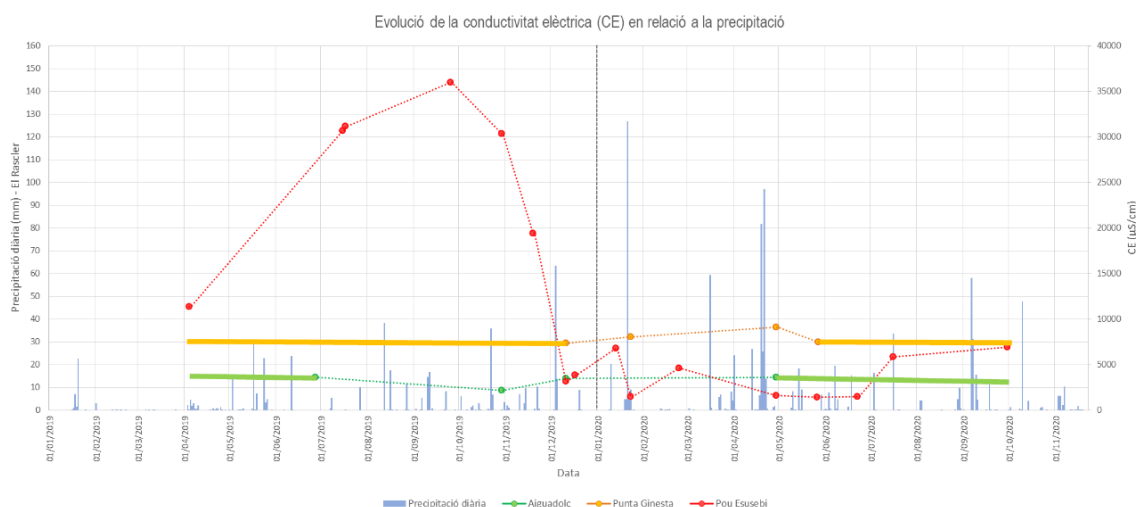


Figura.8.61. Patró o esquema d'evolució del punt F4 (pou Eusebi) a la surgència de la Falconera (precipitació i conductivitat). Línies primes amb les dades de conductivitat mesurades a les surgències de la Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta. Línies gruixudes: extrapolació a tot el cicle de les dades d'Aiguadolç i Punta Ginesta. Els percentatges d'aigua de mar són de l'ordre del 5% a la surgència d'Aiguadolç i del 15% a la surgència de punta Ginesta. A la surgència de la Falconera els valors d'aigua de mar poden arribar a quasi el 100% en situacions de molta influència de la intrusió salina (experimenta una variació de percentatges molt baixos de l'ordre del 2% a valors de quasi el 100%).

Es tracta d'una qüestió d'interès, doncs la intrusió deixa notar els seus efectes fins al pou Vell i potser encara més al nord. La intrusió marina, mitjançant l'estructura de drenatge podria tenir influència en la contaminació provinent de l'abocador.

La intrusió salina o marina esdevé molt més important a la Falconera, quan la descàrrega càrstica disminueix i, progressivament, augmenta el percentatge d'aigua marina, pràcticament fins el 100%, mentre que a les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta els percentatges són sempre significativament més baixos (entre el 5% i el 15 %).

De nou, es posa en evidència l'estructura de drenatge del sistema càrstic de la Falconera, sigui funcionant de mar a terra (intrusió salina o marina) o de terra a mar (flux càrstic) i la caracteritzen, mentre que el flux a les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta, encara que la permeabilitat estigui formada per buits càrstics, és més aviat de tipus difús.

Aquestes observacions donen encara més relleu i importància al sistema càrstic de la Falconera, que podria, fins i tot, influir i tenir un paper en el funcionament dels altres sistemes.

Els mapes de diagrames de Stiff realitzats amb les dades dels pous (terra endins) dels dos períodes de l'esquema de funcionament, és a dir, del període de forta intrusió (Figura 8.62) i del període de predomini de la descàrrega càrstica (Figura 8.63), constitueixen una bona aportació experimental a l'esquema de funcionament que s'ha explicat més amunt.

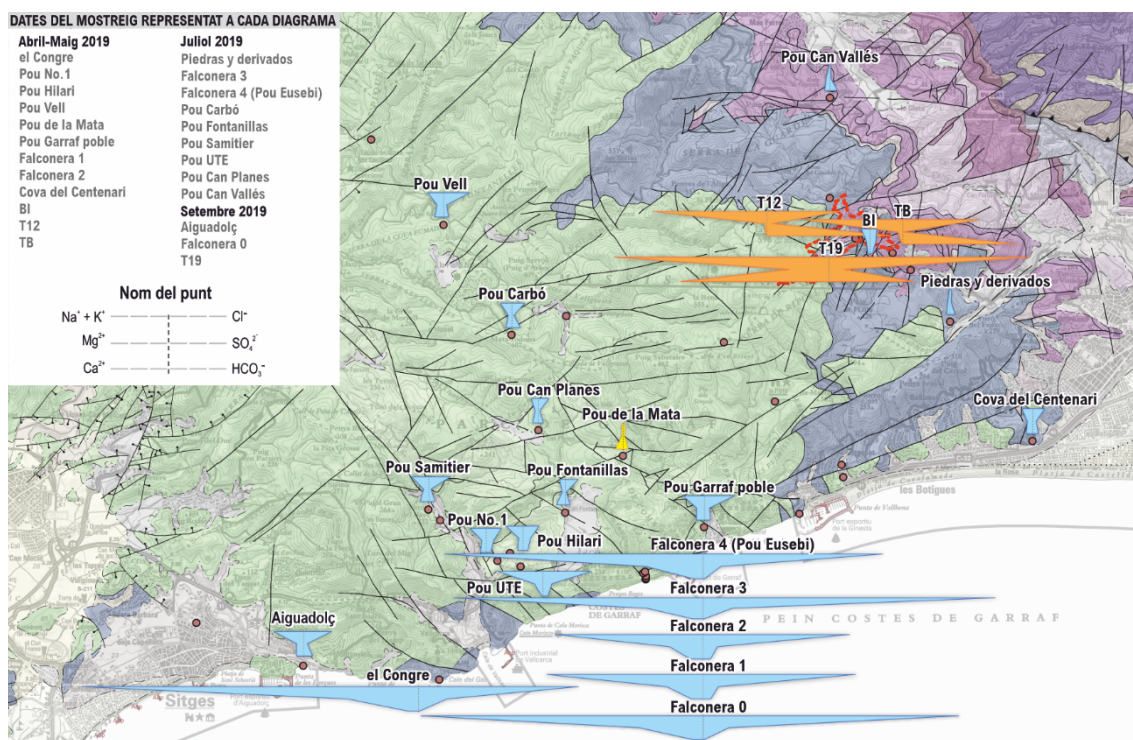


Figura 8.62. Diagrames de Stiff. Període de forta intrusió.

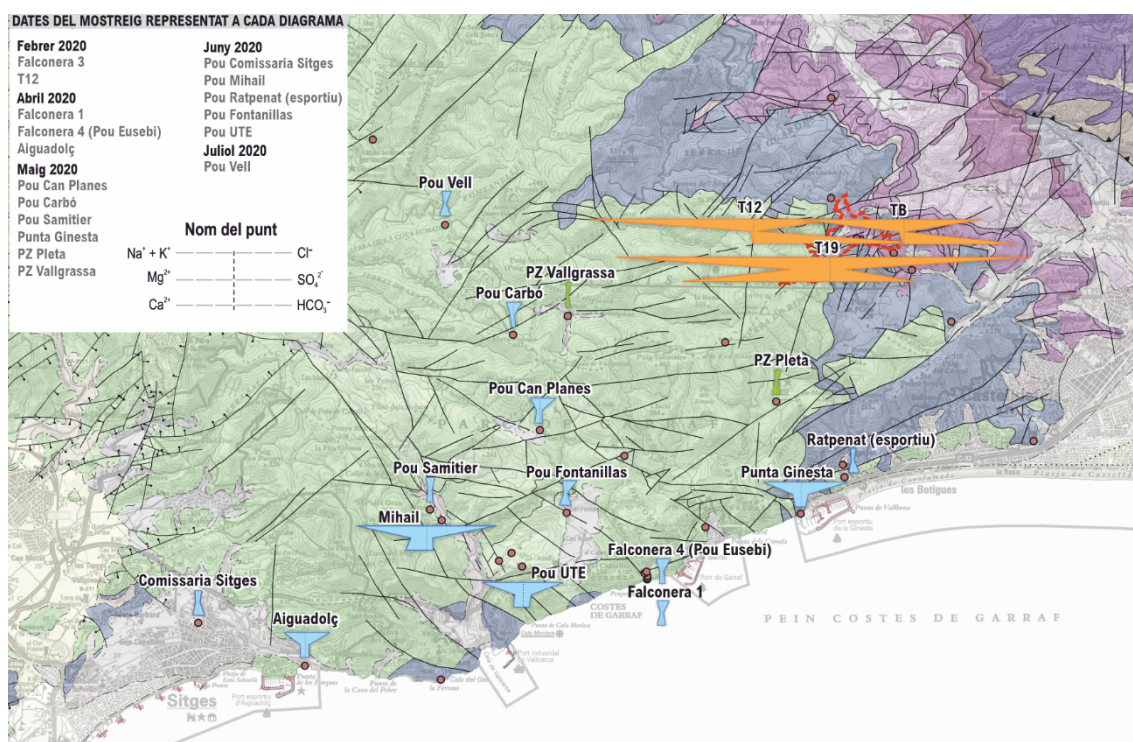


Figura 8.63. Diagrames de Stiff. Període de predomini de la descàrrega càrstica.

L'esquema d'evolució o funcionament observat a la surgència de la Falconera es repeteix cicle rere cicle. La figura 8.64 ens mostra que l'esquema o patró d'evolució es repeteix en tres cicles hidrològics 2016-2017, 2017- 2018 i 2019 -2020.

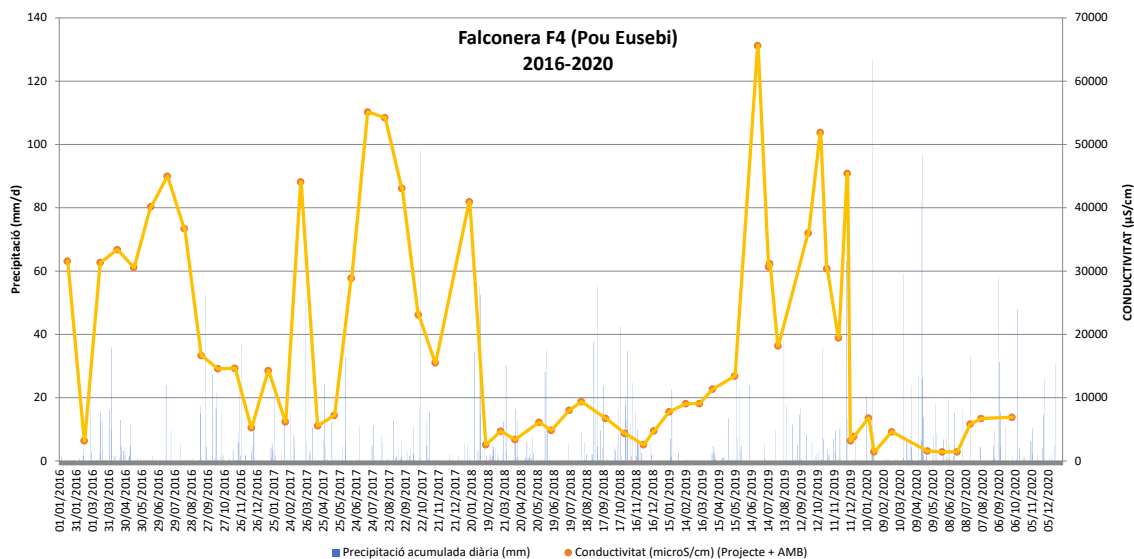


Figura 8.64. Surgència de la Falconera. Esquema o model d'evolució o funcionament que es repeteix cicle rere cicle. De l'any 2016 al 2020 hi hauria tres cicles hidrològics que observarien el mateix esquema de comportament.

8.6.2. L'evolució de la conductivitat, pH, Eh, O₂, sulfur, bicarbonat i calci a F4 i F1-F3

L'explicació d'aquests paràmetres en el cicle hidrològic es fa per conèixer la seva evolució en els punts d'observació bàsics de la Falconera, d'una banda a F4 (pou Eusebi) i d'una altra banda als punts F3 i F1. F1 i F3 a l'efecte de l'anàlisi que es realitza es consideren aproximadament equivalents.

L'esquema d'evolució per a F4 i F1-F3 per a qualsevol paràmetre ha de ser comparable, doncs es tracta de punts situats a l'estructura de drenatge. F1 i F3 al mateix conducte que defineix l'estructura de drenatge i F4 en una finestra que connecta inferiorment amb l'estructura de drenatge.

I de fet, és així: cadascun dels paràmetres (conductivitat, pH, Eh, O₂, sulfur, bicarbonat i calci) presenten evolucions del tot comparables (Figures.8.65 a 8.69.). Les diferències que s'observen són sempre menors i responen clarament a la diferent situació del punts d'observació (F1-F3 i F4) ja explicades anteriorment.

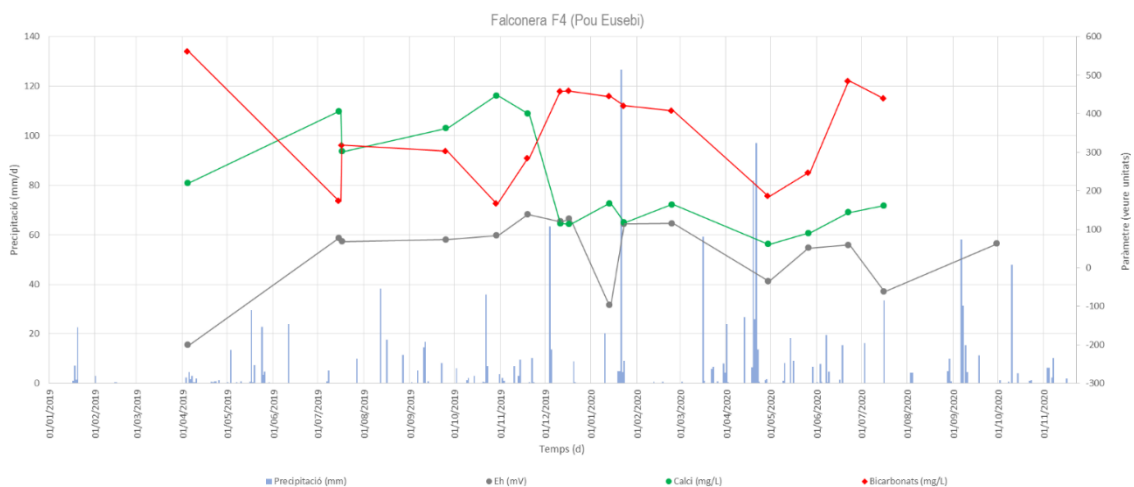


Figura 8.65. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació, Eh, calci i bicarbonats.

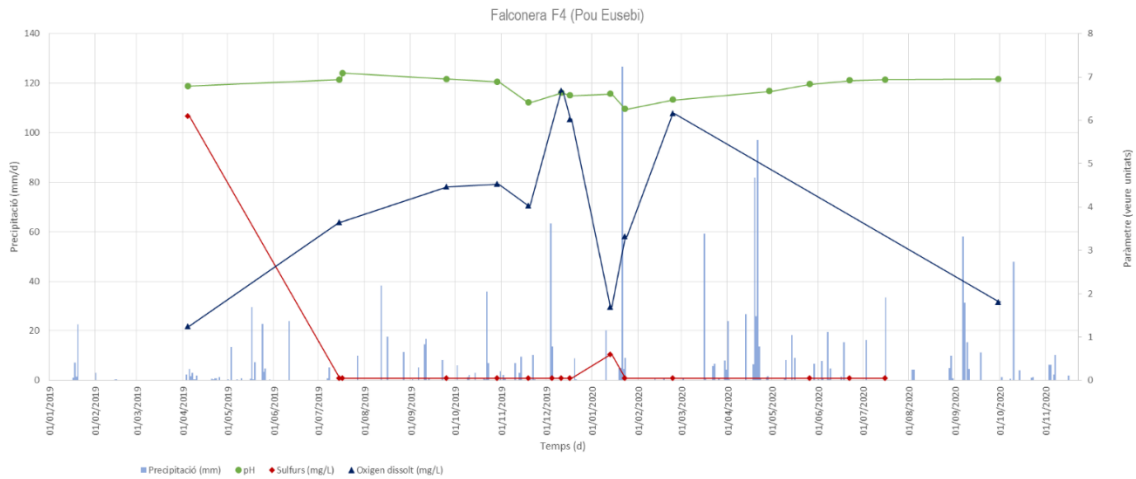


Figura 8.66. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació, pH, sulfurs i oxigen dissolt.

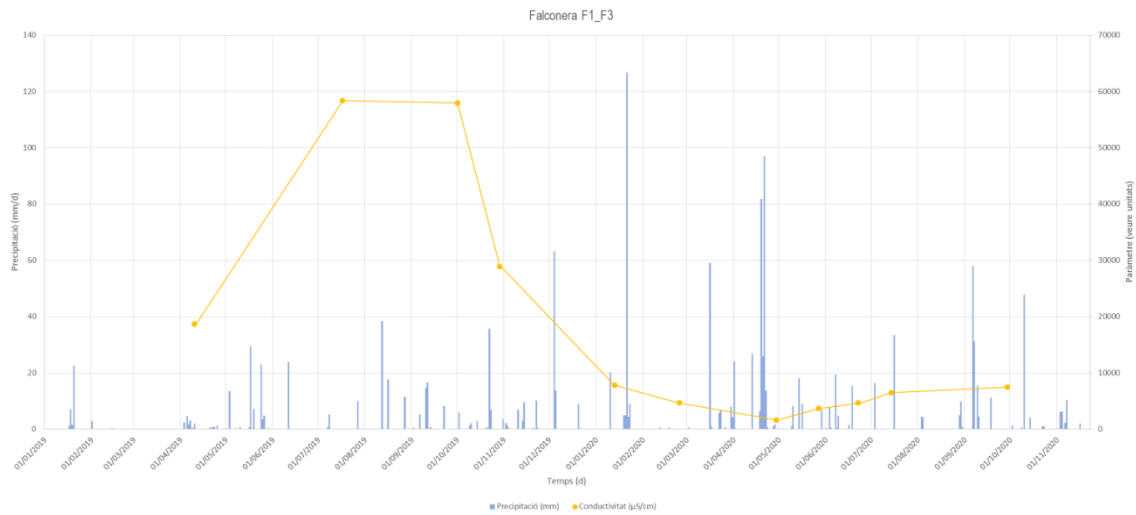


Figura 8.67. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació i conductivitat.

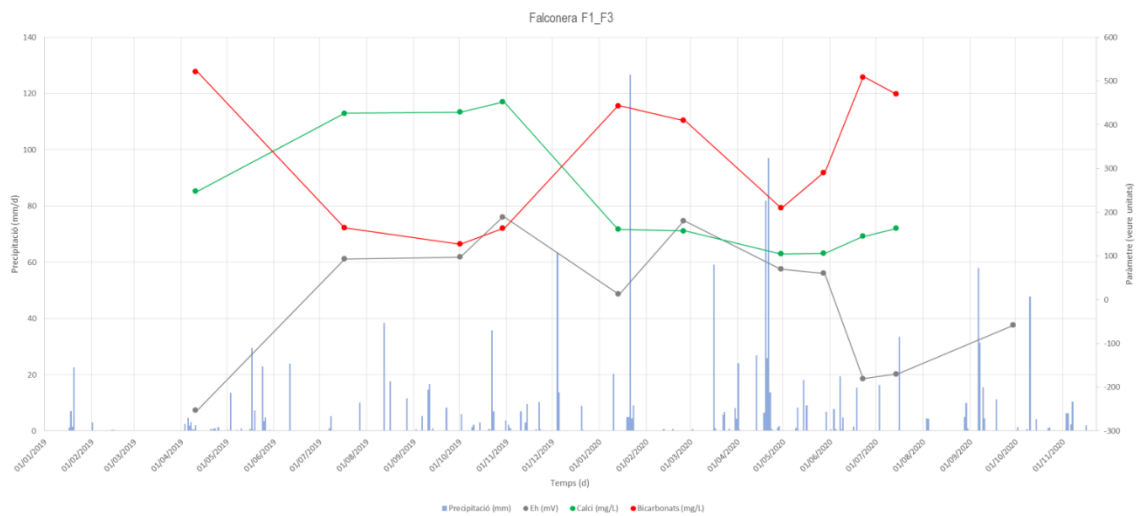


Figura 8.68. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació, Eh, calci i bicarbonats.

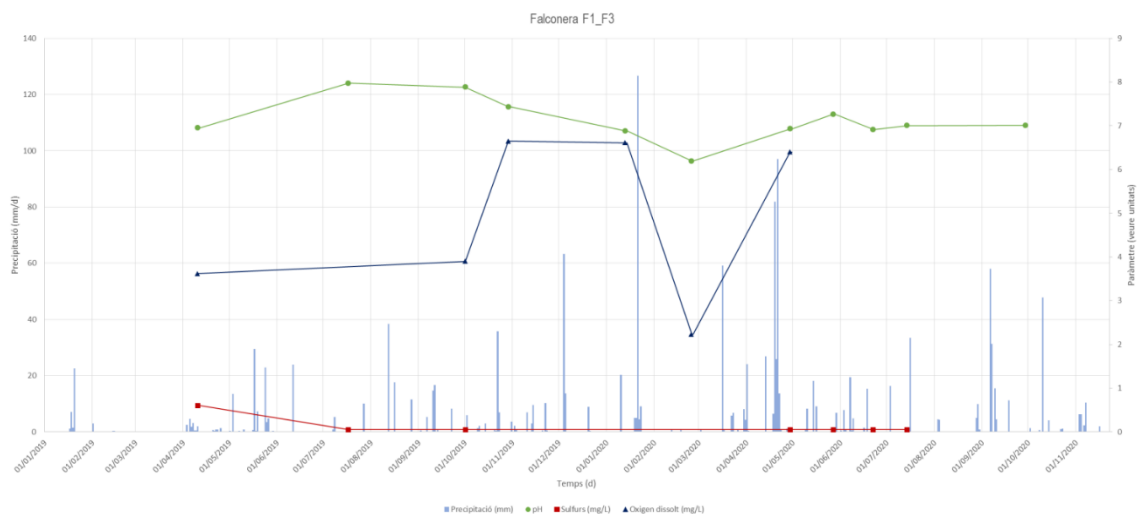


Figura 8.69. Surgència de la Falconera. Evolució al llarg del cicle hidrològic: precipitació, pH, sulfurs i oxigen dissolt.

Es poden fer les remarques següents:

- Les evolucions del pH són comparables, però F1-F3 reflecteix una major influència d'aigua de mar, si més no temporalment, amb valors més alcalins propers a 8 upH i inclús superiors, mentre que a F4 el pH presenta valors propers a 7 upH i, fins i tot, inferiors. No obstant, es tracta de valors de pH comparables, doncs al capdavall la mitjana a F4 és 6,75 upH i la mitjana a F1-F3 és 7,1 upH.
- Els valors en sulfur són puntualment significatius amb un valor màxim de 6,1 mg/L, però en general tan a F1-F3 com a F4 les concentracions en sulfur són molt poc importants i inferiors a 1 mg/L.
- L'Eh presenta valors màxims positius més elevats a F1-F3 que a F4. Ambdós punts d'observació presenten temporalment valors negatius d'Eh; la mitjana a F1-F3 és -43 mv, mentre que la mitjana a F4 és 43,6 mv. Remarcar que a la Falconera 1 la mitjana de l'Eh és -88.6 mv.
- Els valors de les mitjanes d'O₂ d'F1-F3: 4,61 mg/L i d'F4 : 3,97 mg/L. són del tot comparables. Però com succeeix amb tot els paràmetres F1-F3 indica una major influència de l'aigua de mar: onatge cap a l'interior de l'estructura de drenatge.

8.6.3. La crescuda de la surgència de la Falconera del dia 5 de desembre de 2019

Té un interès enorme remarcar les dades analítiques de la mostra presa a F4 (pou Eusebi) en plena crescuda (entre la puja i la punta de crescuda del 5 de desembre de 2019) amb 116 mg/L d'amoni i 70 mg/L de TOC. Aquests són els valors d'amoni i TOC més elevats analitzats en les aigües subterrànies del Garraf. En els mostrejos que es realitzen habitualment des de la Xarxa de Control no s'han controlat episodis de crescuda, però és evident que ens aquests episodis s'han de detectar concentracions elevades en amoni i TOC i encara més coneixent els elevats valors de l'amoni i TOC que s'han determinat en els lixiviats –al pou T19: 5.901 mg/L d'amoni i 37.640 mg/l de TOC– i la situació “no confinada” dels lixiviats a l'abocador com han demostrat les aproximacions geofísiques tomogràfica i magnetotel·lúrica, afavoreix la seva incorporació cap a l'interior de l'aqüífer, és a dir, el volum de lixiviats existent a l'interior de l'abocador i a la part superior dels materials carbonàtics (zona no saturada de la part superior de l'aqüífer), alimentaria permanentment els diferents tipus de circulació càrstica: infiltració en pèrdues o en cavitats reactivades, infiltració ràpida i infiltració lenta cap a la zona saturada de l'aqüífer. A més, els valors d'amoni de 116 mg/L i de TOC de 70 mg/L en la crescuda de l'aqüífer càrstic de la Falconera indicarien un temps de trànsit ràpid

de solament unes hores de l'abocador a la Falconera, només explicable a partir de l'estructura de drenatge que existeix entre l'abocador i la surgència (al voltant d'unes 15-20 hores) (Figura 8.73).

Les figures 8.70, 8.71 i 8.72 mostren les respostes de la conductivitat, l'amoni i el TOC de la crescuda de desembre de 2019. Les respostes les origina un episodi de pluja superior als 60 L/m².

En les recerques actuals d'hidrologia del carst en sistemes càrstics naturals no influïts per contaminació s'està utilitzat el TOC com un marcador ideal en l'estudi de la infiltració ràpida i d'aigües de trànsit ràpid en el carst (SNO KARST, 2020).

Aquesta crescuda també suposà una important aportació de H₂S a la surgència de Falconera.

Els metalls solubles també observaren concentracions considerables: Arsènic, 18 µg/L; titani, 23,3 µg/L ; vanadi, 15,3 µg/L; molibdè, 7 µg/L; seleni, 9 µg/L; i antimoni 2,7 µg/L.

En aquesta crescuda també es va produir una aportació important de microcontaminats orgànics entre els que es troben els marcadors utilitzats en aquest estudi: bisfenol A, 12 µg/L; pirazines en concentracions molt elevades, S8 (sofre molecular) en quantitats elevades i també compostos nitrogenats com els indòls o pirròls, entre altres (screening SVOC).

El conjunt de respostes observades en la crescuda en Amoni, TOC, metalls pesants (titani, vanadi, arsènic, seleni, etc.) i microcontaminats orgànics (bisfenol A, pirazines, sofre molecular-S8, etc.) són clarament indicatives de la importància de l'estructura de drenatge que caracteritza el sistema de la Falconera de l'abocador a la surgència i, d'una manera general, les diferents parts del sistema càrstic de la Falconera.

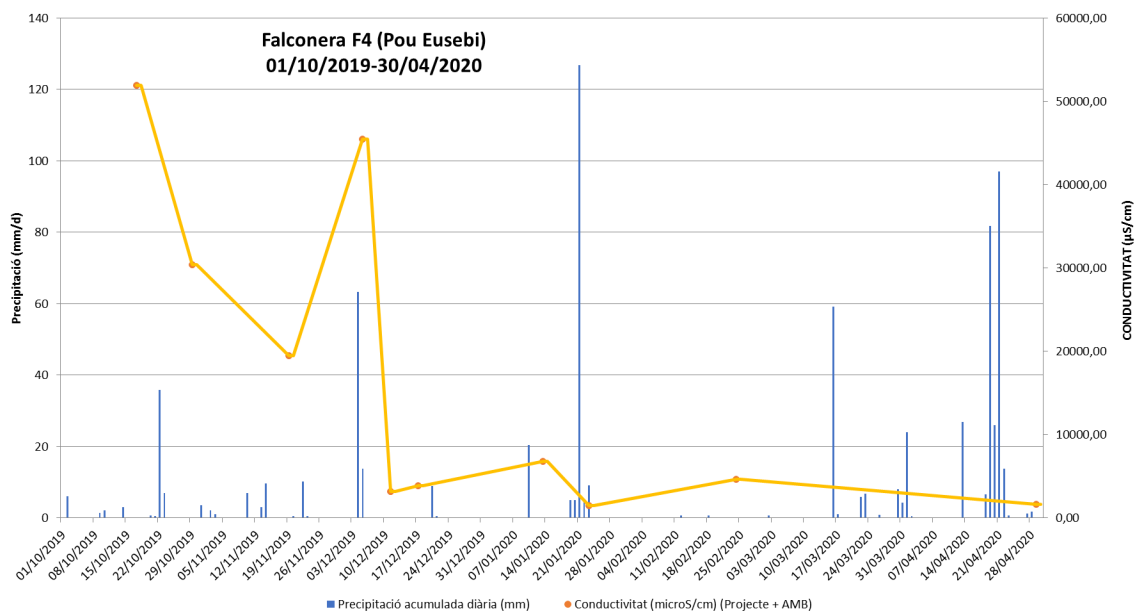


Figura 8.70. Surgència de la Falconera. Resposta de la conductivitat a la crescuda del 5 de desembre de 2019.

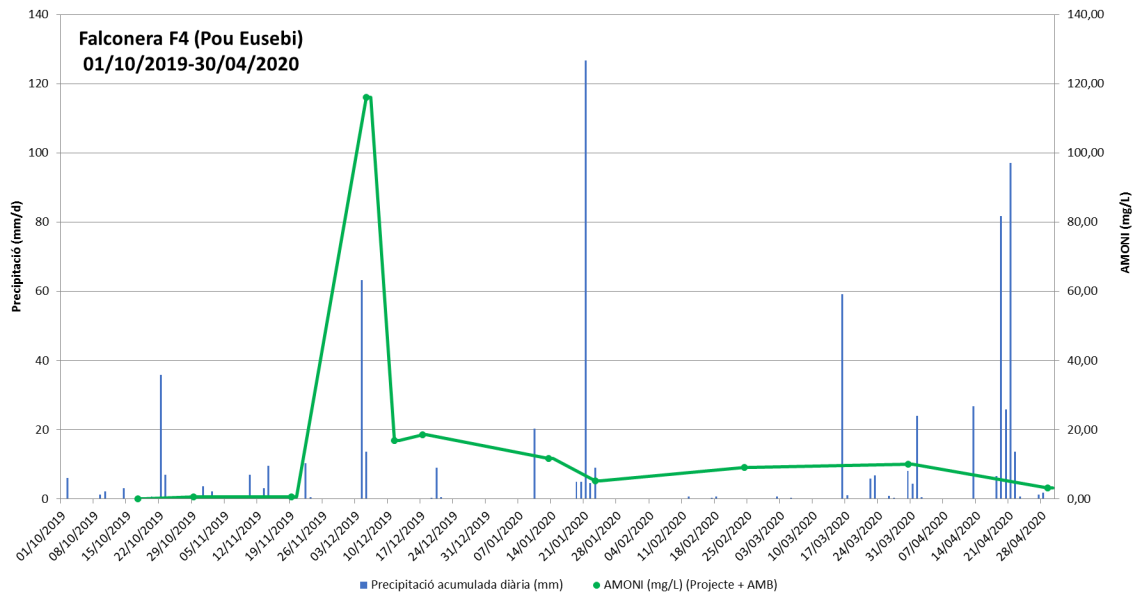


Figura 8.71. Surgència de la Falconera. Resposta de l'amoni a la crescuda del 5 de desembre de 2019.

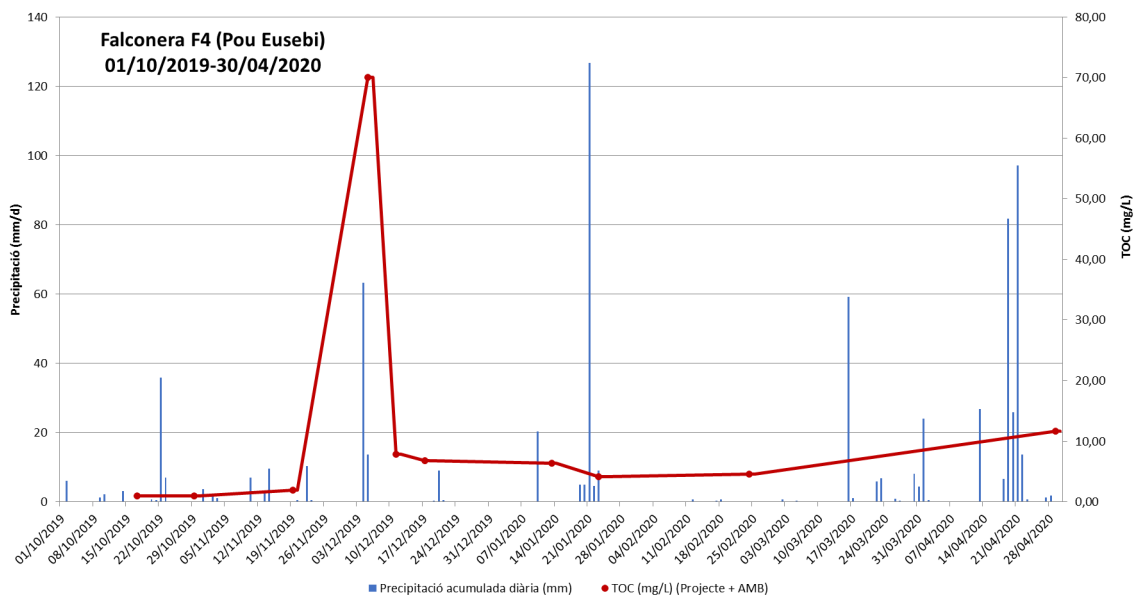


Figura 8.72. Surgència de la Falconera. Resposta del TOC a la crescuda del 5 de desembre de 2019.



Figura 8.73. Surgència de la Falconera. Mostreig de la crescuda del 5 de desembre de 2019 al pou Eusebi (cabal: 3 L/s). El color groc fosc de l'aigua a "boca de pou" (bassa pedrera) és per la influència dels lixiviats (Fotografia AMB).

8.7. Els indicadors de contaminació i les normes de qualitat

A continuació s'analitzen a partir de diagrames de barres les dades comparades dels punts d'aigua següents: Lixiviats (T19), F4, Punta Ginesta, Aiguadolç, Falconera 3, Carbó, Samitier, Vallgrassa, La Pleta, Can Planes, Vell, Fontanillas, UTE i pou Comissaria de Sitges. Es comparen els diferents diagrames dels lixiviats amb els dels diferents punts citats. Els indicadors de contaminació que s'utilitzen són: amoni, TOC, mercuri, arsènic, titani i vanadi. Quan hi ha límits de potabilitat s'indiquen en els diagrames de barres: amoni, mercuri i arsènic.

La figura 8.74 permet comparar les mitjanes d'amoni dels lixiviats amb els diferents punts d'aigua, els valors màxims d'amoni dels diferents punts d'aigua, els valors mitjans d'amoni amb límit màxim (0,5 mg/L) acceptat per a les aigües potables, i les mitjanes d'amoni i els límits normatius dels diferents pus d'aigua.



Figura 8.74. L'amoni en els diferents punts d'aigua: mitjanes, màxims, i mitjanes i límits de qualitat

La figura 8.75 compara l'elevada mitjana del TOC dels llixiviats amb 4.220 mg/L amb les mitjanes dels diferents punts d'aigua subterrània, els valors màxims de TOC dels diferents punts: els més elevats corresponen a la surgència de la Falconera (F4 i F3) amb el màxim de 70 mg/L a F4 i al pou Comissaria de Sitges amb 30 mg/L. la resta de punts quasi tots presenten valors considerables: Aiguadolç, Samitier, Fontanillas, UTE i Can Planes amb valors màxims al voltant de 20 mg/L.

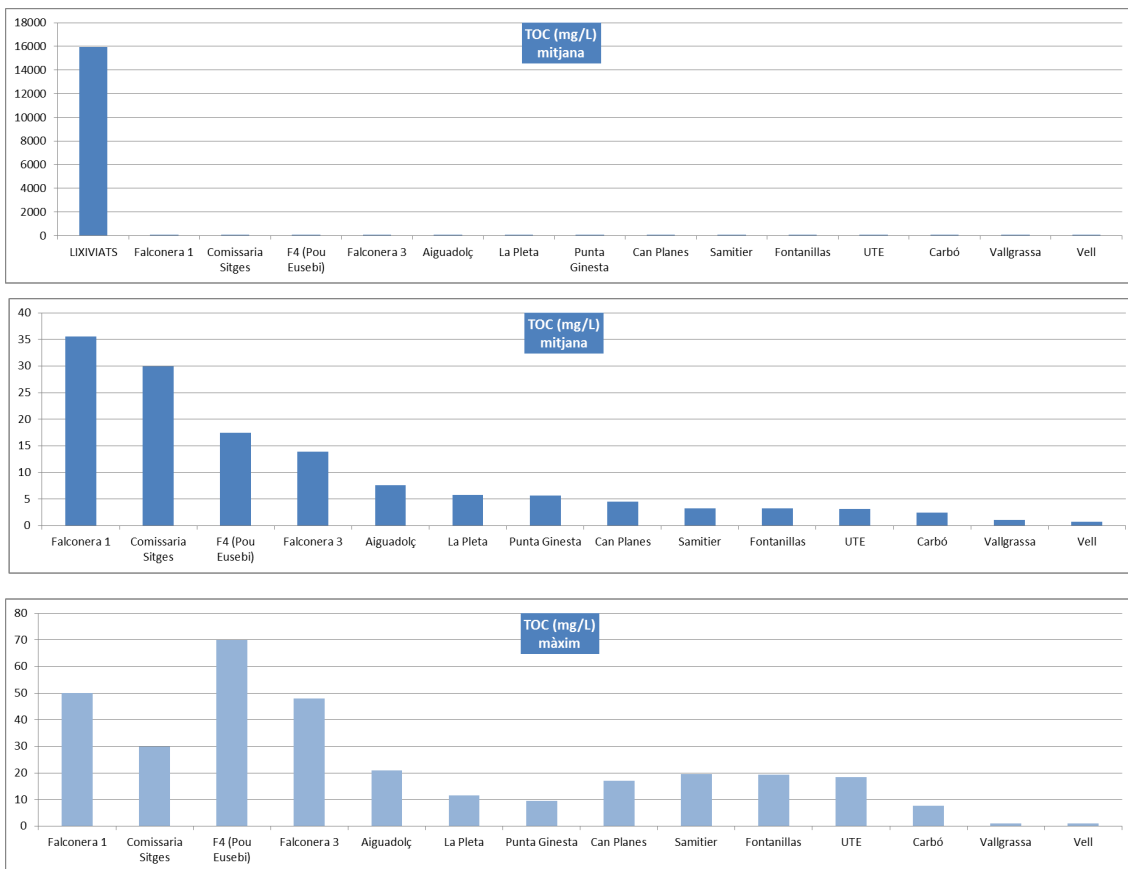


Figura 8.75. Mitjanes de TOC dels llixiviats i dels diferents punts d'aigua subterrània i valors màxims de TOC de les aigües subterrànies.

La figura 8.76 compara els continguts màxims de mercuri dels llixiviats amb els diferents punts d'aigua subterrània: Falconera 4, Falconera 3, Carbó, Aiguadolç, Fontanillas, UTE, Samitier, Punta Ginesta, Vallgrassa, La Pleta, Can Planes i Vell. El senyal de mercuri es troba en la majoria de punts d'aigua subterrània estudiats; aquest es un aspecte remarcable si es consideren les implicacions que té el mercuri en el medi i la seva elevada toxicitat. A la Figura 8.76 presenta també els valors màxims en mercuri de la diversitat de punts d'aigua subterrània en relació al límit màxim de mercuri acceptat per a les aigües potables (1 µg/L). Com es pot veure les surgències de la Falconera sobrepassen aquest valor i la d'Aiguadolç s'hi apropa. La resta de punts: pous i piezòmetres se situen clarament per sota del màxim normatiu. És particularment remarcable l'elevada concentració de mercuri a la surgència de la Falconera que un cop més fa evident el paper de l'estructura de drenatge del sistema en la transferència de la contaminació. Les surgències, en el cas de la Falconera és palès, però Aiguadolç i Punta Ginesta també semblen respondre a un flux hídric subterrani "privilegiat i singular", que s'explicaria per una permeabilitat en conductes i buits càrstics (i en discontinuïtats estratigràfiques i tectòniques) poc desenvolupada o de menor entitat, si es compara amb la Falconera, però suficientment important com per facilitar el transport de determinats contaminants en concentracions elevades.

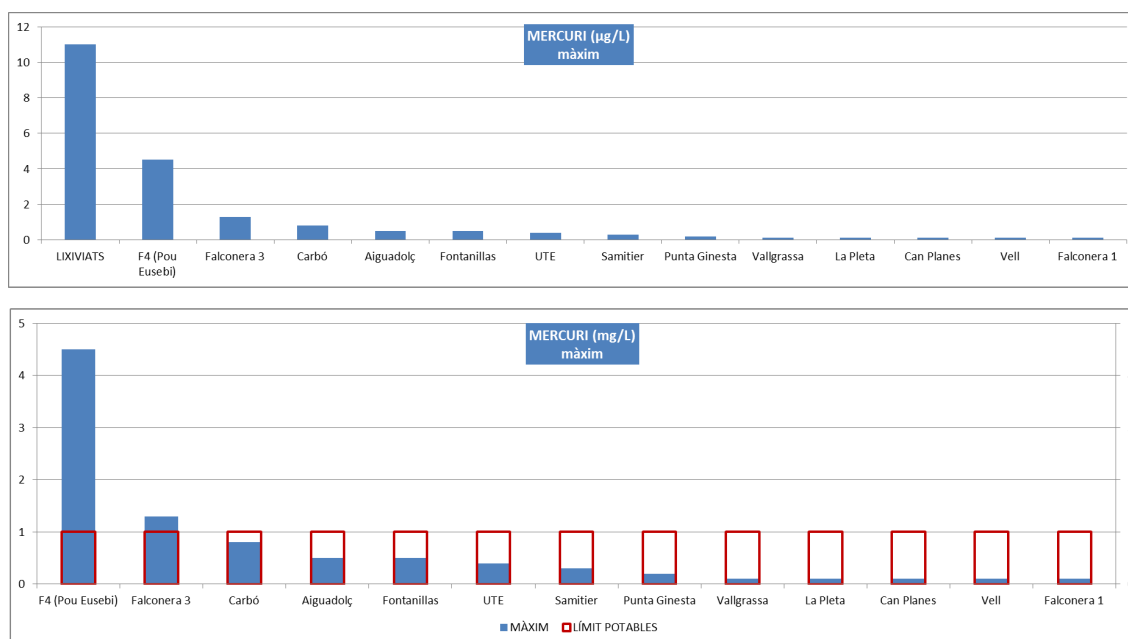


Figura 8.76. Comparació del valors màxims de mercuri del llixiviats i punts d'aigua subterrània i els valors màxims trobats amb el límit de potabilitat.

L'arsenic és un element molt problemàtic des d'una perspectiva ambiental i de la salut. En els llixiviats hi ha concentracions molt elevades: superiors a 300 µg/L i s'ha determinat analíticament en surgències, pous i piezòmetres: Falconera 4, Aiguadolç, Falconera 3, Punta Ginesta, Carbó, Samitier, Vallgrassa, La Pleta, can Planes, Vell, Fontanillas, UTE i Comissaria de Sitges (Figura 8.77). De nou les concentracions més importants són a la surgència de la Falconera (F3 i F4), però les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta també presenten valors propers als 10 µg/L (límit màxim sanitari). La figura 8.77 presenta també les concentracions en arsenic dels diferents punts d'aigua subterrània en relació amb el límit màxim sanitari.

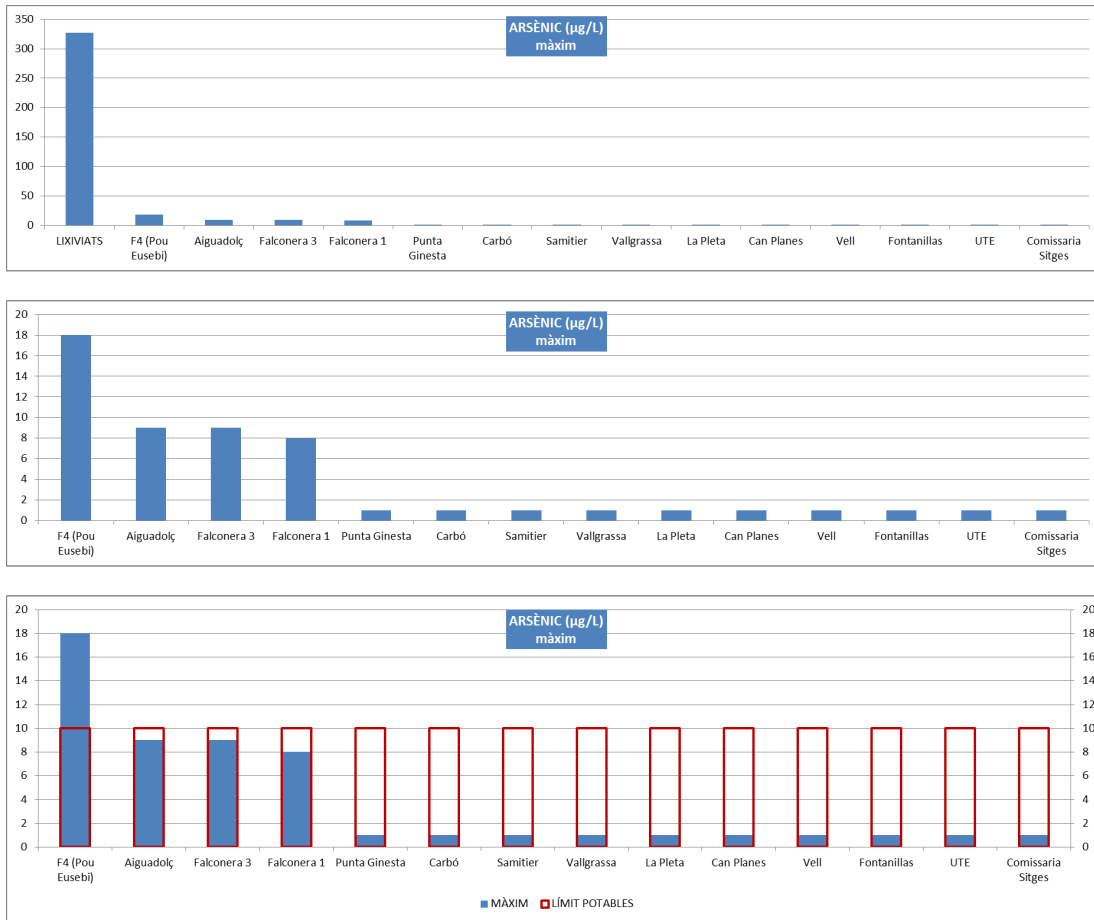


Figura 8.77. Valors màxims d'arsenic en lixiviat i aigües subterrànies, valors màxims d'arsenic de les aigües subterrànies comparats i, valors màxims d'arsenic i límit de potabilitat.

En el cas del titani les concentracions en el lixiviat són importants i és present en la major part del punts estudiats, en general per sota del 5 µg/L, però la Falconera presenta concentracions elevades amb un valor màxim de 23 µg/L (Figura 8.78). Pel titani tampoc hi ha límit normatiu, però les concentracions existents a la surgència de la Falconera en cap cas s'haurien de trobar en aigües de boca.

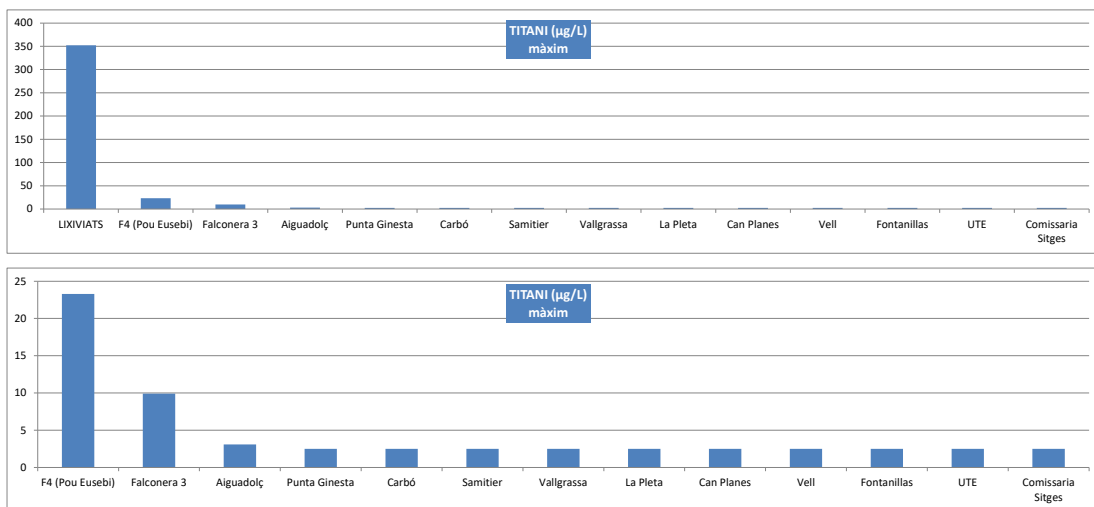


Figura 8.78. Valors màxims de titani de lixiviat i aigües subterrànies i, valors màxims de titani d'aigües subterrànies comparats.

El vanadi es presenta en concentracions elevades en els llixiviats amb més de 50 µg/L. La concentració a la Falconera és considerable amb 15,3 µg/L. La resta de punts d'aigua subterrània tenen vanadi en concentracions just per sobre de 2 µg/L (Figura 8.79).

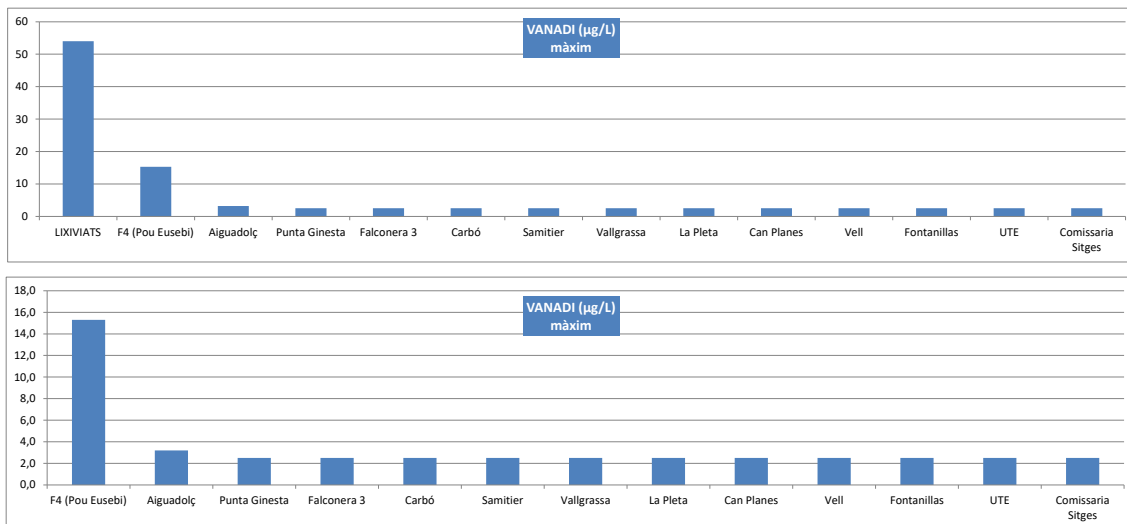


Figura 8.79. Concentracions màximes de vanadi en llixiviats i aigües subterrànies; concentracions màximes en punts d'aigües subterrànies.

8.8. L'origen de l'H₂S o àcid sulfhídric: els processos sulfatoreductors

La presència de l'H₂S a les aigües subterrànies de Garraf, a part de possibles aportacions més o menys considerables des de l'abocador, tindria un origen evident a la zona saturada o inundada del sistema hidrogeològic del Garraf, més concretament a la interfase aigua dolça-aigua salada. L'explicació es troba en els processos sulfatoreductors que caracteritzen la interfase aigua dolça-aigua salada com a conseqüència de la considerable aportació de sulfats (fins a 2.608 mg/L) per l'aigua de mar (anàlisi de l'aigua de mar F0, (Taula.8.12) i de l'aportació de matèria orgànica (fins a 70 mg/L de TOC a la surgència de la Falconera), per part de les aigües subterrànies afectades per la contaminació originada pels llixiviats de l'abocador.

Les equacions més bàsiques de la sulfatoreducció s'expliquen a continuació en dos blocs de reaccions que tradueixen els mateixos resultats:

a) la **matèria orgànica** es considera com a **C** (carboni) i

b) la **matèria orgànica** es considera com a **CH₂O** (formaldehid).



Tant en un cas com en l'altre les **formes químiques** que es poden trobar són: CO_3^{2-} , CO_2 , S^{2-} i HS^- , segons el pH.

La sulfatoreducció o sulforeducció també ha estat analitzada en l'estudi dels microcontaminats orgànics (veure l'apartat 8.4 dedicat als microcontaminats orgànics).

La surgència de la Falconera és la que en situacions de crescuda aporta quantitats més importants de H_2S . Per aquest motiu origina una atmosfera interior que ha creat problemes en els diferents treballs que s'hi estan desenvolupant (exploració, mostreig, topografia, monitoratge...) i també crea una situació de males olors en l'atmosfera de la població de Garraf. En efecte, l'aportació de H_2S per part del surgència de la Falconera origina un impacte ambiental considerable i problemàtic per les activitats humanes del seu entorn, sobretot a la població de Garraf i els seus equipaments. L'impacte que s'origina depèn de la importància de la crescuda i/o de la successió d'episodis de crescuda de la surgència de la Falconera i els efectes es poden perllongar setmanes, mesos o períodes encara més llargs. Les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta també aporten H_2S , però el seu impacte ambiental s'ha de considerar de menor importància. Per les observacions de camp realitzades la surgència submarina del Pas Trencat també presenta una aportació de H_2S amb forta influència en el penya-segat i entorn proper.

Finalment, l'origen del H_2S , no únicament està relacionat amb els processos de la sulfatoreducció que es desenvolupen a la zona saturada de l'aqüífer o aqüífers, si no que una part no menyspreable de l' H_2S pot provenir de l'abocador (on també hi ha processos de sulfatoreducció). Les observacions recents realitzades a la surgència de la Falconera indicarien que una part de l' H_2S pot provenir directament de l'abocador.

8.9. Origen i transferència de la contaminació

En diferents apartats d'aquest document i particularment quan s'han explicat les possibles fonts potencials de contaminació en el massís del Garraf ja s'ha arribat a la conclusió que per les seves característiques: indicadors bàsics, orgànics i isotòpics i les concentracions observades només podia existir una font contaminant de tipus massiu que l'originés. Aquesta font contaminant de tipus massiu és l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan, situat a la part oriental del Bloc del Garraf a l'anomenat fons o fondo de Terradelles-vall de Joan. Les altres possibles fonts contaminants per la seva poca entitat i les seves característiques particulars en cap cas podrien aportar una contaminació com la observada en les surgències, pous i piezòmetres del sistema hidrogeològic del Garraf. A més, com també s'ha comentat anteriorment s'han realitzat analítiques sistemàtiques dels lixiviats (pous i bassa de lixiviats) que qualitativament defineixen els contaminants de la funció d'entrada al medi hidrogeològic. Aquests contaminants es retroben a les surgències, pous i piezòmetres que defineixen la funció de sortida del sistema (o subsistemes).

En els diferents apartats i en el dedicat a l'abocador es dona informació aprofundida en diversos aspectes: geologia, morfologia càrstica, fenomen de captura, hidrogeologia, etc. i també s'ha definit l'abast geogràfic de la contaminació que aproximadament correspondria a la part meridional del Bloc de Garraf.

A continuació s'insistirà en l'origen físic i situació de la font contaminant i en com aquesta contaminació es transfereix a unitats o sistemes hidrogeològiques de diferents característiques de la part sud del massís del Garraf i entre de les poblacions de Castelldefels i Sitges.

Primerament cal insistir en la ubicació i origen dels lixiviats. Els lixiviats o aigües residuals de l'abocador de residus sòlids urbans se situen al vas de l'abocador i també en el seu subsòl carbonàtic on per manca d'estanqueïtat s'ha infiltrat. La geofísica tomogràfica i magnetotel·lúrica han estat les aproximacions que han definit els lixiviats a l'interior de massís carbonàtic que constitueix el subsòl de l'abocador.

Aquests materials carbonàtics del subsòl de l'abocador (veure els talls realitzats a l'abocador (apartat 9) constitueixen una captura càrstica de primer ordre. Es tracta d'una captura càrstica del fons de les Terradelles- i vall de Joan. Aquesta captura determina que aigües pertanyents a la conca superficial dels fons de les Terradelles-vall de Joan-riera dels Canyars que drena superficialment el massís del Garraf al Baix Llobregat (hemidelta sud del Llobregat) s'incorporin al sistema càrstic de la Falconera. De fet, el subsòl del fons de les Terradelles-vall de Joan constitueix part de la zona no saturada del referit sistema, precisament la zona no saturada existent sota l'abocador presenta unes estructures de drenatge pròpies d'aquest domini hidrogeològic: drens verticals que asseguren la circulació hídrica en profunditat i altres de subhoritzontals o inclinats que donen suport a l'escorrentia subterrània, aquests finalment desemboquen a la zona saturada; per cert, zona saturada que, si es consideren les dades piezomètriques (PZ Pitxot,...), tindria una limitada entitat sota el vas de l'abocador. A la zona saturada és desenvolupa una important estructura de drenatge que té en la surgència de la Falconera el dispositiu de descàrrega al mar. Així és defineix el primer tipus de transport, transferència o flux subterrani dels lixiviats i la seva contaminació de l'abocador de la vall de Joan a la surgència de la Falconera (vegeu tall de l'abocador a la surgència de la Falconera (apartat 4, Figura.4.6). Es tracta d'un flux hídric de naturalesa càrstica que defineix la circulació subterrània del sistema càrstic de la Falconera.

El sistema càrstic de la Falconera, per la seva situació central en el marc dels altres sistemes o subsistemes del sistema hidrogeològic del Garraf, podria tenir un paper important en la transferència de la contaminació al altres subsistemes. Podria succeir que les surgències d'Aiguadolç estiguin alimentades des de l'estructura de drenatge profunda (eix de drenatge i sistemes annexos) suposant que l'estructura de drenatge profunda estigui connectada hidrodinàmicament amb la zona saturada de flux difús que alimenta les surgències d'Aiguadolç (temporals i permanents) i possiblement també altres surgències submarines, situades al sud-oest de la surgència de la Falconera (Cala del Forn, Pebre, Congre...).

Quan entra en càrrega el sistema de la Falconera, s'estableix un fort gradient respecte les zones saturades amb flux difús, així es podrien transferir els contaminants de l'estructura de drenatge de la Falconera a les surgències d'Aiguadolç i el mateix podria succeir amb les surgències de Punta Ginesta (Pas Trencat...).

Per tant, en el cas de Punta Ginesta hi hauria dues possibilitats o vies de transferència dels contaminants: a) a partir del carst de la Falconera i b) a partir d'un flux difús de l'abocador a la surgència de Punta Ginesta.

La geometria de les isopiezes que es dibuixa a l'entorn de la surgència de la Falconera (eix de drenatge) més aviat posa problemes al desenvolupament d'un flux de tipus difús cap al sud-oest, és a dir, cap a Aiguadolç, i per això la transferència es podria produir en profunditat des de l'estructura de drenatge de la Falconera a la zona saturada o inundada que alimenta la surgència d'Aiguadolç.

En el cas de la surgència de Punta Ginesta la transferència de contaminants també es podria produir a partir del flux de tipus difús de nord a sud, és a dir, de l'abocador a Punta Ginesta (pous Rat Penat,...) i la resta de punts d'aigua que defineixen la descàrrega d'aquesta part oriental. El gradient o el flux que marquen les isopiezes de l'abocador a la surgència de Punta Ginesta és molt explícit.

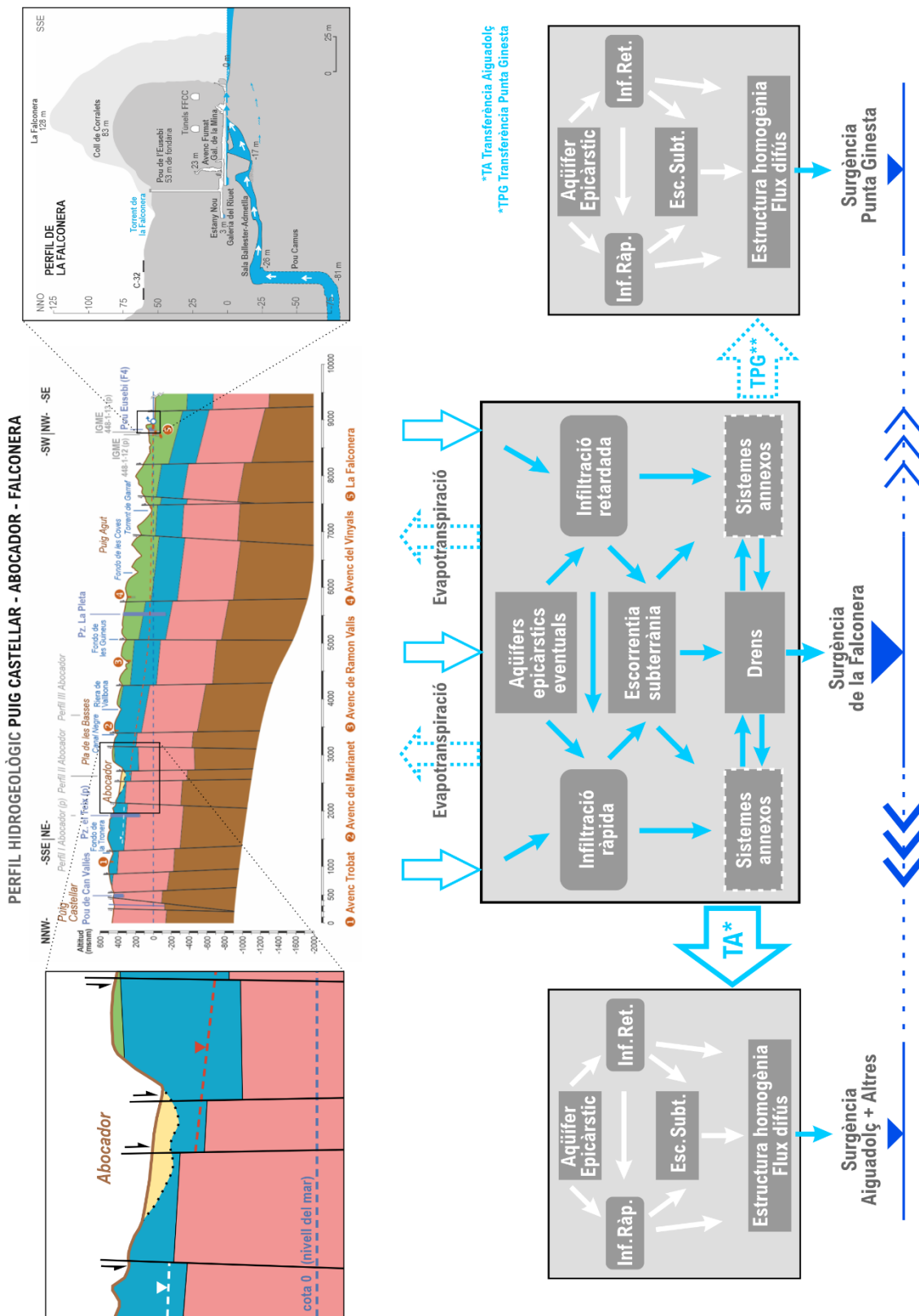


Figura 8.80a. Esquema conceptual del sistema hidrogeològic del Garraf.

orgànics) dels punts d'aigua estudiats. A la descàrrega difusa que defineixen els brolladors d'Aiguadolç la contaminació hi arriba per la transferència que es produeix des de l'estructura de drenatge del sistema càrstic de la Falconera a l'aquífer situat al SW, que alimenta els diferents brolladors d'Aiguadolç (TA). Als brolladors de Punta Ginesta la contaminació hi pot arribar transferida des de l'estructura de drenatge del sistema de la Falconera (TPG) o bé, directament des de l'abocador. El tall A il·lustra la relació que hi ha entre el domini de l'abocador i el de la surgència de la Falconera: la macroestructura tectònica determina, encara avui, un considerable potencial de carstificació (un significatiu gradient hidràulic); en aquest tall es fa evident una ben desenvolupada estructura de drenatge: el temps de trànsit només és d'algunes hores. El sistema càrstic de la Falconera és l'únic al Garraf en el qual s'ha observat un comportament càrstic funcional. El tall B relaciona l'avenc de l'Esquerrà amb la ressurgència de la Falconera (els conductes inferiors a quasi 300 m de fondària, són l'expressió de l'escorrentia subterrània i són tallats pel nivell piezomètric). Tot sembla indicar que la transferència de la contaminació des de l'estructura de drenatge profunda de la Falconera cap el SW no únicament influeix i afecti els brolladors d'Aiguadolç, sinó també el conjunt de brolladors que defineixen la descàrrega submarina difusa que existeix entre la Falconera i Aiguadolç.

Per tant, el transport per flux difús, no solament existeix, si no que té una importància considerable en el marc del sistema hidrogeològic de Garraf. Tanmateix en determinats pous i piezòmetres la contaminació hi arriba a partir d'un flux de tipus difús. En definitiva, hi hauria dos tipus de flux en la transferència de la contaminació: el càrstic i el difús.

8.10. Síntesi de la contaminació

En el marc metodològic de l'estudi el coneixement dels lixiviatos és bàsic i indispensable com a punt de partida per definir les característiques composicionals de la contaminació de la funció d'entrada al sistema. La contaminació que s'observa en diferents punts d'aigua del sistema hidrogeològic del Garraf té l'origen en els lixiviatos de l'abocador. L'estudi dels lixiviatos defineix tot un conjunt de paràmetres o marcadors que es poden reconèixer en els punts d'aigua subterrània contaminats. Alguns marcadors robusts que caracteritzen el lixiviatos són els que s'han trobat en els diferents punts d'aigua subterrània. És el cas del TOC i de l'amoni, que com a marcadors genuïns dels lixiviatos també es troben a les aigües subterrànies del Garraf. A més, hi ha entre els marcadors que "grosso modo" han estat definits com a bàsics: ions fonamentals, compostos de N i de S, ions minoritaris (ferro, manganés...) i un bloc important de metalls solubles (mercuri, arsènic, titani, seleni, vanadi...), entre altres. Així elements com el mercuri, l'arsènic, el titani... que provenen dels lixiviatos també es poden reconèixer en la composició de les aigües subterrànies objecte de l'estudi. En general, els indicadors o marcadors bàsics són els que aporten les primeres orientacions sobre l'origen i característiques de la contaminació i a més a més, faciliten un marc per introduir altres marcadors, com succeeix amb els isòtops. En el marc de l'estudi té interès insistir en l'aportació dels microcontaminants orgànics, complementària dels indicadors bàsics i dels isòtops.

Les conclusions sobre els microcontaminants orgànics: Bisfenol A, DEET, Benzotiazolona i Pirazines (grup de les pirazines) tenen particular interès en el sentit que constitueixen marcadors molt robusts que prèviament han estat analitzats i estudiats en els lixiviatos (pou T19).

Un dels marcadors és el Bisfenol A. Aquest marcador apareix en la pràctica totalitat de punts d'aigua mostrejats: pou Vell, pou Carbó, pou de Can Planes, pou Eusebi (surgència de la Falconera), pou UTE, pou Fontanillas, surgència d'Aiguadolç, pou Samitier, surgència de Punta Ginesta, pou de Mas Quadrell nº 8 (o pou Migheíl), pou Rat Penat (riera), pou Rat Penat (esportiu), pou Comissaria, F1 (surgència de la Falconera), piezòmetre de la Pleta i piezòmetre de Vallgrassa. Òbviament, el Bisfenol A no apareix a l'aquífer epicàrstic mostregat al llarg del cicle hidrològic: font de les Piques i tampoc a l'aquífer epicàrstic del pou de la Mata (mostreig general del projecte, 2019).

A F5 no apareix el Bisfenol A, però sí, com ja s'ha comentat, a la resta de punts mostrejats a la surgència de la Falconera. És necessari indicar les particularitats físiques d'aquest punt: es tracta d'una galeria artificial inundada marcant clarament un nivell piezomètric comparable al de la finestra F4 (pou Eusebi). Molt possiblement F5 s'alimenti des dels conductes de la zona inundada o saturada situats a molt escassa distància, però no s'hi observa una connexió tan clara com a F4. F5 presenta algunes característiques composicionals particulars i a l'informe final sobre els isòtops s'assenyala l'existència de processos de desnitrificació (DNRA).

Com era de suposar el Bisfenol A no apareix al pou de Can Vallès, ni al pou de "Piedras y derivados".

Altres marcadors genuïns d'aigües residuals d'abocadors com el DEET, la benzotiazolona i les pirazines apareixen en molts dels punts d'aigua analitzats i de forma important a les surgències de la Falconera (F1, F3 i F4 o pou Eusebi), Aiguadolç i Punta Ginesta; i també d'una manera significativa en mostres dels pous Carbó i Samitier. Precisament els marcadors orgànics abans referits: Bisfenol A, DEET, Benzotiazolona i Pirazines (grup de les pirazines) reforcen les informacions aportades pels paràmetres bàsics i els indicadors isotòpics. Així en les conclusions aportades pels isòtops referents a aquells punts que només alguns indicadors isotòpics assenyalen una marca que es pot relacionar amb els lixiviats (pou Comissaria, el Congre, pou Mas Quadrell nº 8, pou Vell, PZ la Pleta, pous Rat Penat...), els paràmetres bàsics i, sobretot, els marcadors orgànics sí que contribueixen a determinar l'impacte dels lixiviats.

Els processos sulfato-reductors caracteritzen particularment les surgències i alguns dels pous que presenten contaminació relacionada amb els lixiviats de l'abocador. Aquests processos s'observen d'una manera molt important a la surgència de la Falconera: de manera sistemàtica en les observacions realitzades de finals de 2019 i al llarg del 2020, sigui per detecció olfactiva, per mesures que s'han realitzat amb sensors específics o per determinacions analítiques (presència de sulfurs) i d'una manera menys important a les surgències d'Aiguadolç i Punta Ginesta. En alguns pous també s'ha detectat la presència de H₂S: pous Samitier i Garraf. A més, al penya-segat del Pas Trençat (surgència submarina a poca fondària del nivell del mar a tocar de Punta Ginesta) i a l'entorn de la platja del Garraf repetidament s'ha detectat la presència de H₂S (observacions pròpies i de l'AMB). El Laboratori d'Espectrometria de Masses-Contaminació Orgànica del CSIC-IDAEA remarca que les pirazines també contribueixen a les olors detectades a les surgències marines estudiades complementant l'olor en H₂S.

En general, les concentracions dels marcadors orgànics utilitzats en l'estudi són més aviat baixes o molt baixes. El Bisfenol A, també és possible trobar-lo en aigües residuals relacionades amb infraestructures de sanejament, però a l'interior del Bloc del Garraf: els diferents masos habitats, urbanitzacions com la de Plana Novella, no disposen pròpiament d'infraestructures de sanejament; no obstant, sí que existeixen infraestructures de sanejament a Begues, Olesa i Olivella per esmentar poblacions situades a la part superior del relleu del Garraf. No obstant, per les seves característiques, els marcadors orgànics mesurats a les aigües subterrànies (surgències, pous i piezòmetres) es relacionen amb l'abocador de la vall de Joan i la seva aportació de lixiviats a les aigües subterrànies. Al Bloc meridional del Garraf l'única font contaminant que pot aportar o transferir "d'una manera massiva" determinats contaminants: TOC, amoni, metalls pesants, orgànics (Bisfenol A, DEET, benzotiazolona, pirazines...), entre altres, en concentracions importants i/o significatives és l'abocador de la vall de Joan.

És molt possible que la presència generalitzada d'un marcador com el Bisfenol A en la quasi la totalitat dels punts d'aigua, amb concentracions relativament més importants a la surgència de la Falconera: 50.284 ng/L o bé, molt poc importants al piezòmetre de Vallgrassa: 10 ng/L i, encara menys, en el cas del pou

Fontanillas: 2,3 ng/L, tingui com a una única font contaminant l'abocador de la vall de Joan. Les diferències en les concentracions observades estan completament influïdes per les característiques hidrodinàmiques de cada sistema hidrològic subterrani, per les relacions hidrodinàmiques entre els diferents sistemes hidrològics subterranis i, sobretot, pels mecanismes de transport: drenatge càrstic o difusió, entre altres factors més o menys importants (Figura 8.81).

8.11. Àmbit geogràfic i hidrogeològic de la contaminació

En el context del treball realitzat és necessari assenyalar que més enllà de disposar d'un cert coneixement hidrodinàmic: piezometria, descàrregues naturals, cabals o estimació de cabals..., del funcionament del sistema hidrogeològic del Garraf i del sistema càrstic de la Falconera, com a part o subsistema del sistema hidrogeològic del Garraf (i a l'espera de les dades del monitoratge instrumental Falconera, en curs de realització), ha estat la informació dels marcadors: bàsics, orgànics i isotòpics utilitzats en el treball la que ens ha portat a definir un sistema de sistemes: el sistema hidrogeològic del Garraf que inclouria altres unitats hidrogeològiques, sistemes o subsistemes. La relació hidrodinàmica entre els diferents subsistemes s'ha establert principalment a partir de l'estudi dels diferents marcadors. És important assenyalar que les conclusions aportades pels marcadors bàsics (ions fonamentals, compostos de N: sobretot NH_4 i nitrogen amoniacal, i de S: SH_2 , SO_4^2 , TOC i metalls solubles), els microcontaminants orgànics i els isòtops són, en gran mesura, coincidents. I això és el que dona sentit a la metodologia d'enfocament sistèmic i interdisciplinària que s'ha utilitzat. La microbiologia ha aportat informació complementària relativa a altres fonts contaminants de característiques diferents de l'abocador.

S'ha constatat que la contaminació s'estén del límit oriental (Punta Ginesta, pou Rat Penat,...i encara, possiblement, més a l'est: surgència de la cova del Centenari...) a l'occidental (surgències d'Aiguadolç, pou Comissària, Baluard...) del sistema. I que el subsistema càrstic de la Falconera que inclou a la seva conca d'alimentació l'abocador (fons de les Terradelles-vall de Joan), pot tenir un paper determinant en la transferència de la contaminació als altres subsistemes. El pou Vell, amb indicis de contaminació, contribuiria a marcar el límit nord de la zona afectada per la contaminació i el límit sud el definiria la línia de costa on hi ha varies de les surgències i també existirien límits mar endins, allunyats de la costa just fins on es desenvolupen una diversitat de descàrregues submarines, doncs els materials carbonàtics del Juràssic i el Cretaci que constitueixen els aqüífers, s'endinsen mar endins sota el litoral marí.

Tanmateix cal insistir que la darrera evolució glacioeustàtica (ascens de 120 m del nivell del mar, aproximadament en els darrers 25.000 anys), determina la transició d'un sistema obert a un de tancat (Freixes 2014, 2020). No obstant, el caràcter hidrogeològic encara marcadament obert al mar del sistema hidrogeològic del Garraf (sobretot del Bloc meridional del Garraf) és prou important com ho expressa la descàrrega directa a nivell del mar i submarina. El bloqueig de la descàrrega (sistema tancat) d'aigües subterranies al mar tindria un paper relatiu. La descàrrega total és de l'ordre d'uns 31 hm³ incloent la submarina i la transferència hídrica a la Depressió de Sant Pere de Ribes-Sitges.

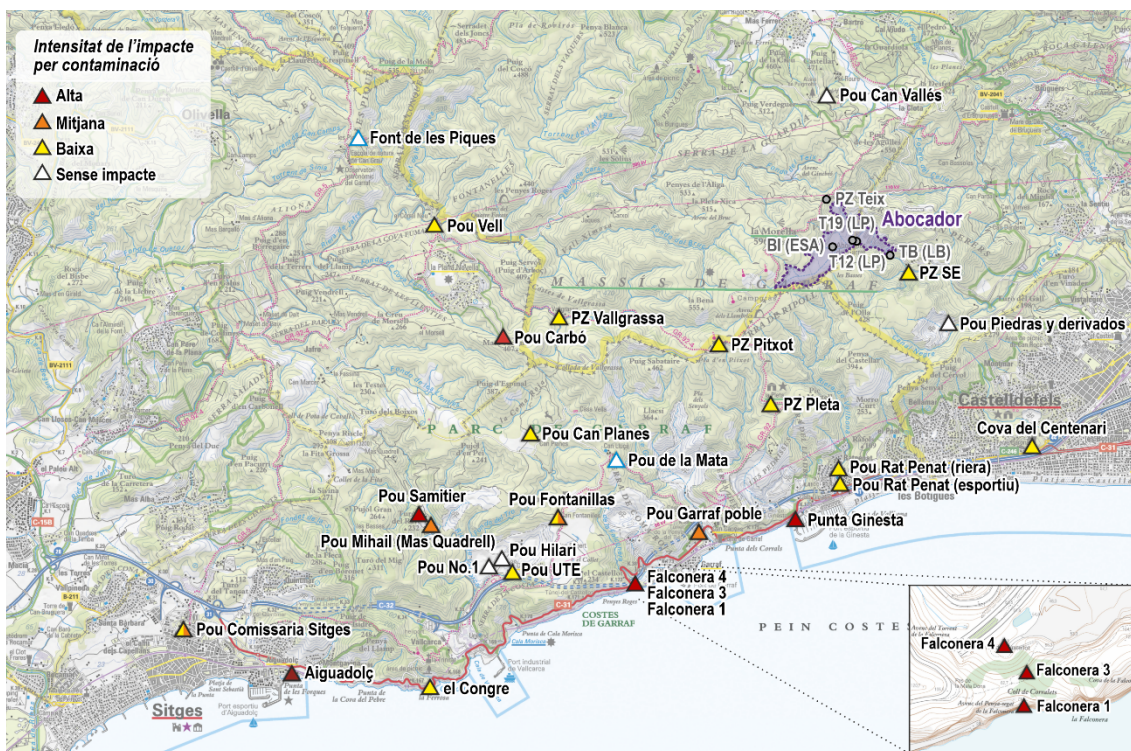


Figura 8.81. Impacte per contaminació registrada als punts de control.

Després d'haver comentat alguns aspectes de context i dels processos hidrogeològics s'ha de remarcar que dels punts situats al límit superior del sistema hidrogeològic del Garraf n'hi ha que observen particular interès: un és la font de les Piques, situat a l'aqüífer epicàrstic que es troba al nord de la zona d'estudi i l'altre és el pou o font de la Mata, que es troba en un aquífer epicàrstic, situat al sud i en l'àmbit del torrent de la Falconera, i, un tercer punt, però situat a l'extrem oriental del Garraf, prop de l'abocador, és el pou de "Piedras y derivados". Aquests punts d'aigua, per la seva situació hidrogeològica, no poden rebre cap influència de la contaminació de l'abocador com així ho indiquen les dades analítiques dels mostreigs realitzats (Figura 8.81).

9. L'abocador de residus sòlids de la Vall de Joan

Als apartats precedents, sobre la hidrologia subterrània i la qualitat i la contaminació s'ha demostrat a partir d'aproximacions i marcadors diferents, que l'abocador de la vall de Joan (fons de les Terradelles) constitueix el focus i origen de la contaminació del sistema hidrogeològic del Garraf. En conseqüència, conèixer l'abocador, els seus processos i les seves implicacions hidrogeològiques és una qüestió bàsica per comprendre millor les característiques de la contaminació i com aquesta es transfereix al sistema hidrogeològic del Garraf i a les seves diferents parts o subsistemes.

A l'informe inicial sobre la metodologia i l'estat de situació (Geoservei, 2019) ja es va tractar l'abocador i es va analitzar tot una diversitat de característiques bàsiques relatives a aquests tipus d'instal·lacions, més tard s'ha constatat la seva manca d'estanqueïtat a partir de relacionar els resultats de la geofísica tomogràfica i la topografia original de la vall de Joan abans d'esdevenir abocador.

Els aspectes analitzats en síntesi foren els següents:

- La vall de Joan com a ubicació desfavorable per a l'abocador de residus sòlids urbans de Barcelona i Àrea Metropolitana de Barcelona, atenent a les característiques geològiques, geomorfològiques càrstiques, hidrogeològiques i ecològiques del Garraf.
- L'abocador com a part de la conca hidrogeològica.
- Cartografies temàtiques: equipaments de l'abocador, mapa de gruixos dels residus i àrea de l'abocador, subsidència i combustió interna.
- El cicle de vida i el segellament de l'abocador.
- La xarxa de control de l'escorrentia superficial i la xarxa de lixiviats.
- Pous de lixiviat i producció de biogàs.
- La xarxa de control piezomètric.
- Nova aproximació geofísica i sondeigs mecànics.
- Solucions i alternatives en la gestió.

Precisament l'anàlisi de les tomografies en el vas de l'abocador i la seva intersecció amb la topografia del vas original portà a la proposta i realització de l'estudi de geofísica magnetotel·lúrica que es presenta en aquest document, i que ha facilitat una millor definició de la incidència dels lixiviats a la zona no saturada situada als materials carbonàtics del juràssic-cretaci que formen la base de l'abocador.

A continuació s'analitzen novament la pràctica totalitat d'aspectes tractats en els informes precedents introduint però, noves informacions o coneixements aportats des de les diferents aproximacions.

9.1. Hidrologia de la vall de Joan i de l'abocador

Aquest apartat sintetitza diferents característiques de l'abocador: geologia, morfologia i carst: epicarst, hidrologia i carst de la vall de Joan, processos interns a l'abocador (lixiviats i biogàs): implicacions en la

contaminació i carstificació, aproximació magneto tel·lúrica i situació física dels lixiviat, i Garraf i l'abocador de la vall de Joan.

9.1.1. Geologia

Com s'observa en els perfils de la vall de Joan-abocador realitzats a partir dels mapes geològics existents, de les informacions aportades pels nous piezòmetres i de noves observacions de terreny (Figura 9.1) els materials implicats en el substrat de l'abocador són efectivament les dolomies del Juràssic i les calcàries i calcàries dolomítiques del Cretaci. A la base dels materials carbonàtics del Juràssic i Cretaci hi ha els materials del Keuper (Triàsic superior) de naturalesa més aviat impermeable, que defineixen un límit inferior impermeable de caràcter general en el Bloc del Garraf; no obstant, la tectònica de blocs pròpia del massís determina que aquest límit tingui un caràcter discontinu que pot tenir les seves implicacions hidrogeològiques facilitant o dificultant la connectivitat hidràulica en funció de les distribucions geomètriques.

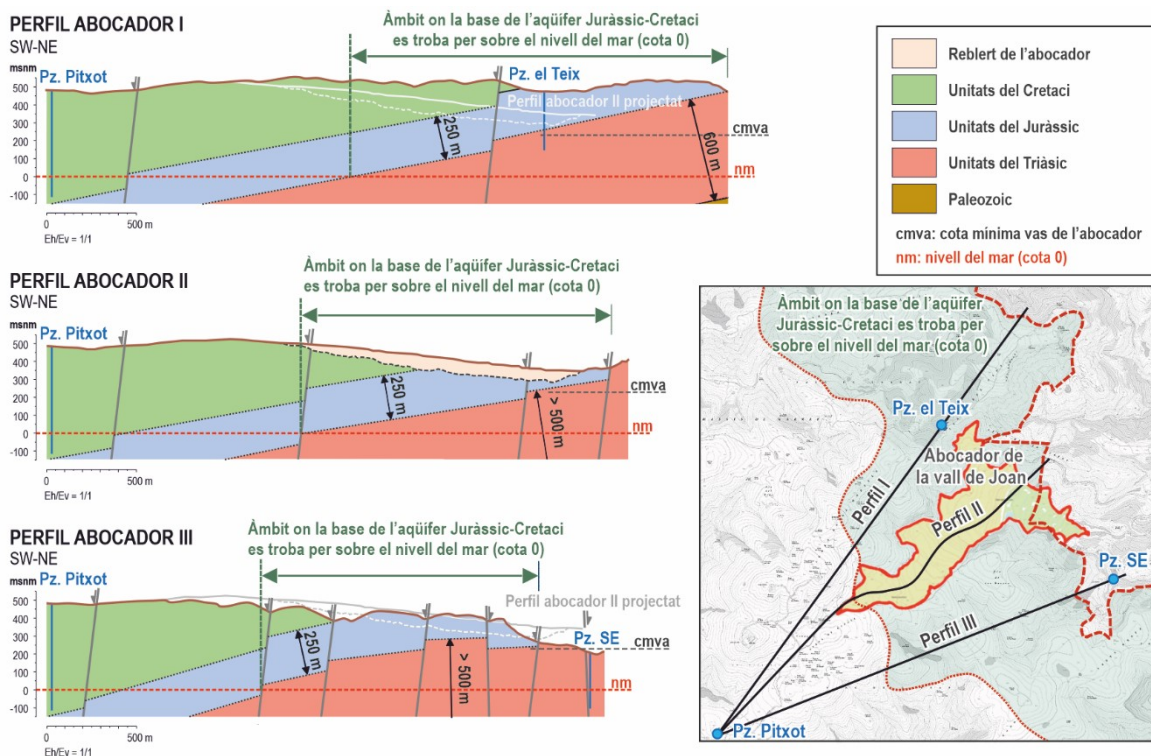


Figura 9.1. Perfils geològics de detall de l'àmbit de l'abocador.

Cal remarcar l'interès i el rol de la neotectònica, és a dir les estructures tectòniques en distensió, que s'interpreta que han tingut un paper determinant en la hidrogeologia i la carstificació del massís. Els materials de substrat estan compartimentats en blocs per les falles normals i altres de salt en direcció afectant els materials del Juràssic i Cretaci de l'àmbit de l'abocador, i els materials Triàsics que es desenvolupen cal al nord-est. La disposició de la macroestructura geològica de l'interior del massís al mar (basculament dels materials del Mesozoic i particularment del carbonats del Juràssic i Cretaci cap al sud-oest (i cap a l'oest), determina una estructura favorable a la circulació subterrània cap al sud-oest.). Aquesta macroestructura segur que ha estat un dels factors importats en la definició del potencial de carstificació i tanmateix del gradient hidràulic que va determinar els processos de carstificació del sistema càrstic de la Falconera.

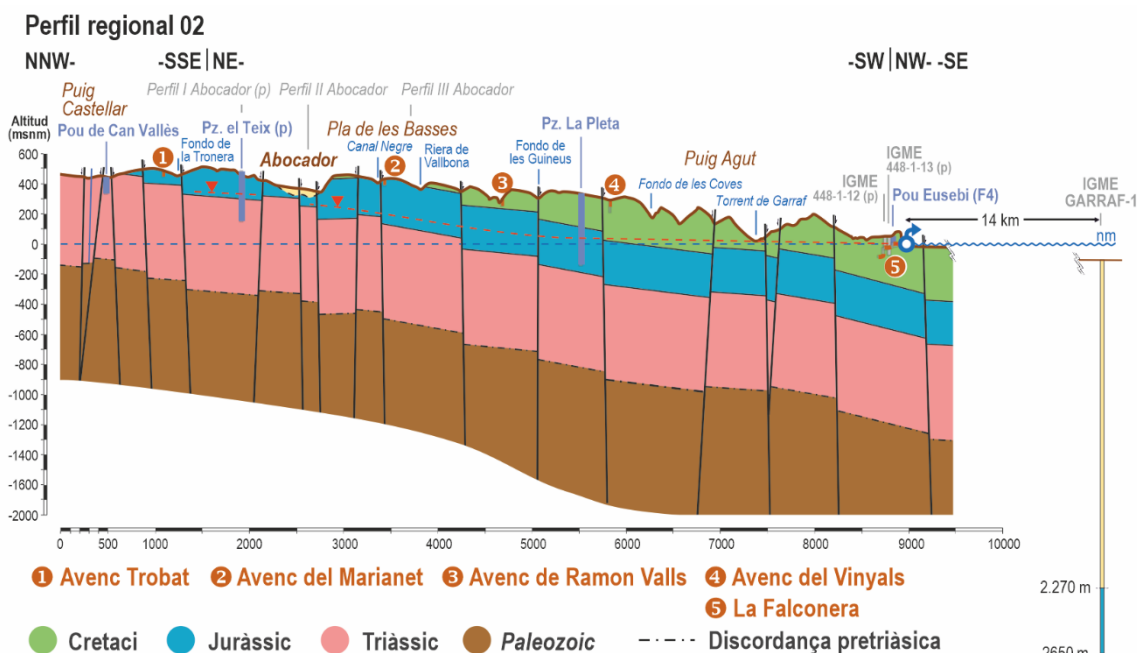


Figura 9.2. Perfil hidrogeològic entre l'abocador i la Falconera.

9.1.2 Morfologia i carst. L'epicarst

A part de la morfologia càrstica, és necessari referir la morfologia fluvial que, com ja s'ha explicat, té un desenvolupament molt importat al Bloc del Garraf: rieres de Begues i Jafre i rieres de Garraf i els seus fondos.

És interessant insistir en el modelat fluvial, doncs la vall de Joan, també anomenada Fons o Fondo de les Terradelles, on es troba l'abocador, respon a un tipus de modelat fluvial característic del Garraf amb una morfologia abrupta, rectilínia i de fort pendent. Si l'observació només es realitzés a petita escala i a partir d'una imatge de satèl·lit es conclouria que s'està davant d'una morfologia superficial de tipus fluvial malgrat no registrar-s'hi circulació d'aigua.

Les observacions de camp indiquen que tota la part oriental del massís de nord a sud presenta una carstificació més desenvolupada, particularment en les calcàries i dolomies del Cretaci, però també a les dolomies del Juràssic.

Un dels àmbits del Garraf amb major carstificació és precisament la vall de Joan i el seu entorn (La Morella, Campgràs, El Rascler...). La morfologia superficial està molt desenvolupada amb formes exocàrstiques tipus dolina, uvala, rascler, pèrdues. En general, tot l'epicarst definit des d'una perspectiva hidrològica és molt important també, concretament, als vessants de la vall de Joan on es troba l'abocador. A més de la morfologia càrstica superficial, cal esmentar les formes endocàrstiques amb moltes cavitats de desenvolupament vertical que eren i, en part, encara constitueixen drens verticals de la part superior de la zona no saturada; aquests drens verticals tenen desenvolupaments superiors als 100 m.

Per acabar aquesta part dedicada a la morfologia simplement remarcar la importància de l'epicarst a la Vall de Joan. En efecte, la disposició del cabussament general cap al sud-oest o cap a l'oest pot ser determinant que els aqüífers epicàrstics que hi ha al Fons de les Terradelles (abocador) presentin un drenatge lateral

que podria incorporar un flux considerable cap a l'interior de l'abocador. L'arribada d'una quantitat important de lixiviat a la bassa de pretractament confirmaria el paper de l'epicarst amb relació a l'abocador. A més, això s'ha observat una vegada segellada la part superficial de l'abocador. I constitueix una de les respostes als episodis de pluja que afecten la vall de Joan. L'altra resposta és la infiltració del lixiviat més enllà del límit inferior de l'abocador. Òbviament, també es produeix un cert escolament superficial.

9.1.3. Hidrologia i carst de la vall de Joan

Encara que en l'anàlisi de la morfologia ja s'han avançat algunes qüestions hidrològiques, és indispensable abordar la hidrologia superficial i subterrània de la vall de Joan per l'interès que té per a comprendre el que succeeix des del punt de vista de la contaminació i les seves implicacions ambientals.

El fondo de la vall de Joan drena cap el Baix Llobregat (Gavà), és a dir, cap a l'est, i finalment desguassa al mar com a riera dels Canyars, travessant una part de l'hemidelta sud del Llobregat. Cal recordar que aquesta riera es coneix com a riera Seca, ja que rarament porta aigua, en sortir del massís i abans de rebre el nom de riera dels Canyars i desguassar al mar. La seva conca és 19,8 km².

Tot i que la riera de la vall de Joan limita amb la capçalera oriental de la riera de Jafre, no té res a veure amb la xarxa hidrològica superficial del Garraf que defineixen les rieres de Begues i Jafre, i que drenen cap a l'oest. Efectivament la part més important de l'aigua que cau al fons de les Terradelles o vall de Joan s'infiltra com a conseqüència de la carstificació que s'hi desenvolupa. Així existeix una important captura càrstica i un volum considerable de l'aigua infiltrada passa a circular subterràniament amb un flux orientat cap al sud-oest, mitjançant una estructura càrstica organitzada. Aquest flux subterrani forma part de l'estructura de drenatge del sistema càrstic de la Falconera. Aquestes característiques hidrogeològiques òbviament eren les que ja existien abans d'ubicar l'abocador a la vall de Joan. La permeabilitat de naturalesa càrstica de la vall és tan important que les infraestructures d'impermeabilització no han estat efectives ni en l'etapa inicial ni en les posteriors de creixement de l'abocador.

Així a la vall de Joan s'hi reconeixen els tipus de flux propis la zona no saturada d'un carst o aquífer càrstic: la infiltració ràpida i la infiltració lenta, i també un desenvolupament important dels aquífers epicàrstics. La infiltració ràpida s'ha de desenvolupar principalment en pèrdues situades al llarg del tàlveg o tàlvegs de la xarxa hidrogràfica de la vall de Joan. Aquesta infiltració està relacionada amb estructures o drens de desenvolupament vertical i també amb les estructures pròpies de l'escorrentia subterrània, aquests tipus d'estructures són les que connecten la part inferior de la zona no saturada amb la saturada. Al vessants nord i sud del vall de Joan és desenvolupa un considerable epicarst i aquífers epicàrstics eventuals. Els aquífers epicàrstics presenten les característiques descrites per Mangin (1975): rasclers, infiltració ràpida i lenta, zona saturada temporal i nivell piezomètric (Figura 6.7), però en el cas de la vall de Joan- Fons de les Terradelles hi hauria una component lateral del flux. La infiltració lenta és defineix com un flux difàsic aigua-aire i es la responsable del transport del CO₂ a les parts profundes de la zona no saturada. La infiltració ràpida reprèn el CO₂ aportat per la infiltració lenta i així s'expliquen els fenòmens de dissolució situats a la transició de la zona no saturada i saturada i a la mateixa zona saturada. La infiltració lenta per tan és un tipus de flux, que aporta aire i per tant pot introduir O₂ a les zones no saturada i saturada. Aquestes consideracions són molt importants per entendre el desenvolupament dels processos de dissolució relacionats amb els processos interns de l'abocador (elevades concentracions de CO₂ i potencial producció d'H⁺).

L'estructura de drenatge de l'abocador a la surgència de la Falconera es fa evident pel temps de trànsit de solament unes hores que defineix el drenatge més ràpid (veure l'apartat d'hidrologia subterrània).

Les falles normals, a part de definir l'estructura tectònica en blocs, ha tingut un paper remarcable en els processos de carstificació, així les cavitats explorades, topografiades i inventariades ubicades al vas de l'abocador (avencs de l'Arcada, del Vallès, de l'Heura, del Rovelló, de les Terradelles, del Gaietà, del Damians, del José Antonio 1 i 2, coves de l'Heura, cova Fosca, Forat de la Molsa i avenc del Penya-Segat (Figura 9.3). Tanmateix, altres cavitats no conegudes, que de ben segur existeixen en el vas de l'abocador o en un nivell inferior, també poden relacionar-se amb aquestes discontinuïtats o altres d'associades de menor entitat. Les observacions realitzades a la dècada dels 70 del passat segle i posteriorment en les diferents cavitats situades al vas, avui sota els residus, indiquen que pròpiament no s'haurien impermeabilitzat i que simplement es van cobrir amb unes planxes metàl·liques abans d'iniciar el reblliment amb residus (J.M. Miñarro, comunicació personal).

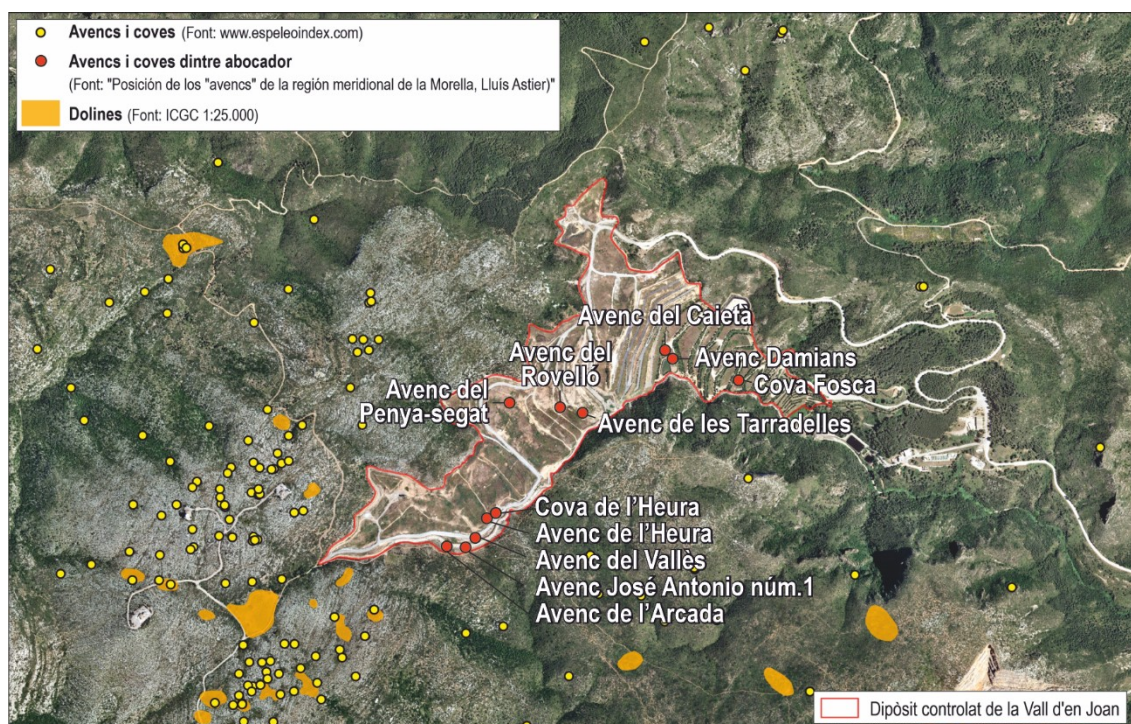


Figura 9.3. Fenòmens càrstics a l'abocador i entorn immediat.

Algunes de les cavitats de l'entorn de l'abocador tenen un desenvolupament considerable: per a il·lustrar això un bon exemple és l'avenc de la Sivinota, situat a 800 m al sud de l'abocador i a 377 m s.n.m., amb una fondària de 132 m. L'avenc de la Sivinota, com succeeix amb moltes cavitats de desenvolupament vertical del Garraf (Ferla, Bruch, Esquerrà), aparentment no observa activitat hidrològica. Aquestes cavitats estan pràcticament aïllades de la circulació càrstica actual, és a dir, no són funcionals. I, en general, es pot afirmar que formen part del paleocarst i es poden definir com a paleodrens de disposició vertical situats a la zona no saturada. No obstant, cavitats d'aquestes característiques, dimensions i profunditat poden trobar-se (a l'interior) en el vas de l'abocador i la seva reactivació hidrològica podria haver tingut i tenir actualment un paper important en la transferència de la contaminació en profunditat. Això és el que indica la geofísica tomogràfica que s'ha contrastat amb la topografia del vas de l'abocador (Figures 9.6) és a dir, hi ha perfils tomogràfics que indiquen que els lixiviats s'introdueixen en el massís rocós carbonàtic per sota de la superfície inferior de l'abocador (en general, es tracta lixiviats d'elevada conductivitat, amb altes

concentracions i densitat). La geofísica magnetotel·lúrica confirma completament les consideracions realitzades per la tomografia: els lixiviat s'endinsen a l'interior dels materials carbonàtics (Figura 9.9a-b).

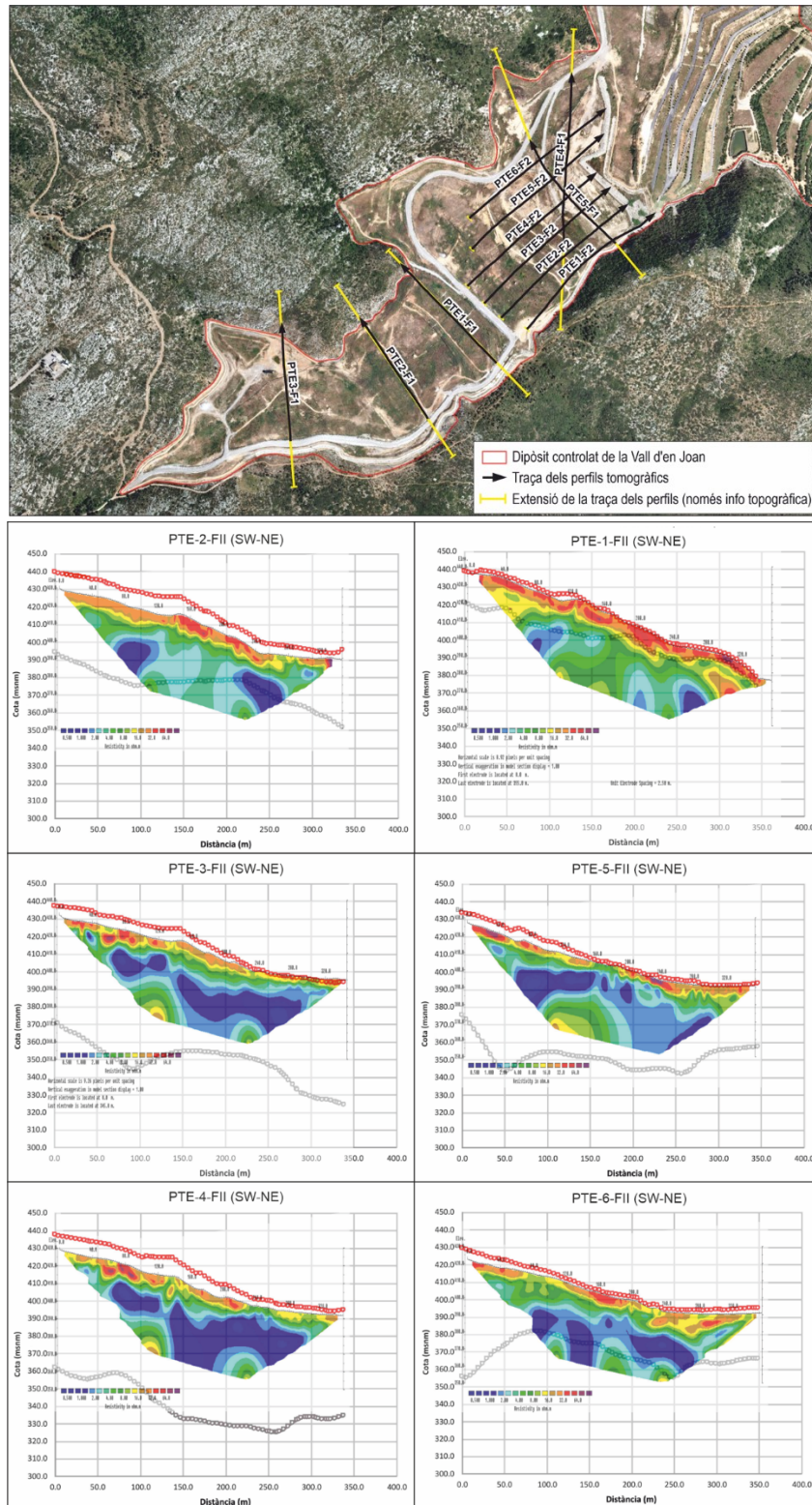


Figura 9.4. Contrast dels resultats de la geofísica tomogràfica amb la topografia original del vas de l'abocador.(Geoservei, 2019).

augmentarien els hidrogenions (H^+) i en conseqüència els potencials de dissolució i carstificació, tal i com passa en els carsts hidrotermals sulfúrics en el medi natural, generalment també en condicions d'elevada temperatura. No obstant, si en el cas del CO_2 es disposa de dades que indiquen elevades concentracions mesurades en l'estudi experimental dels pous de gasos (i lixiviats) actualment en curs, en el cas de la possible formació de sulfúric (amb una important aportació d'ions H_3O^+ i en definitiva d' H^+) no es disposa de dades objectives suficients, tot i que els pH àcids mesurats i altres variables puguin estar d'acord amb la possible gènesi de sulfúric. Ara mateix, com es pot veure a la figura 9.6 l'abocador observa unes condicions generals fortament sulfato-reductores amb una producció de H_2S elevada i, per tant, aquestes condicions no són favorables a la gènesi de sulfúric.

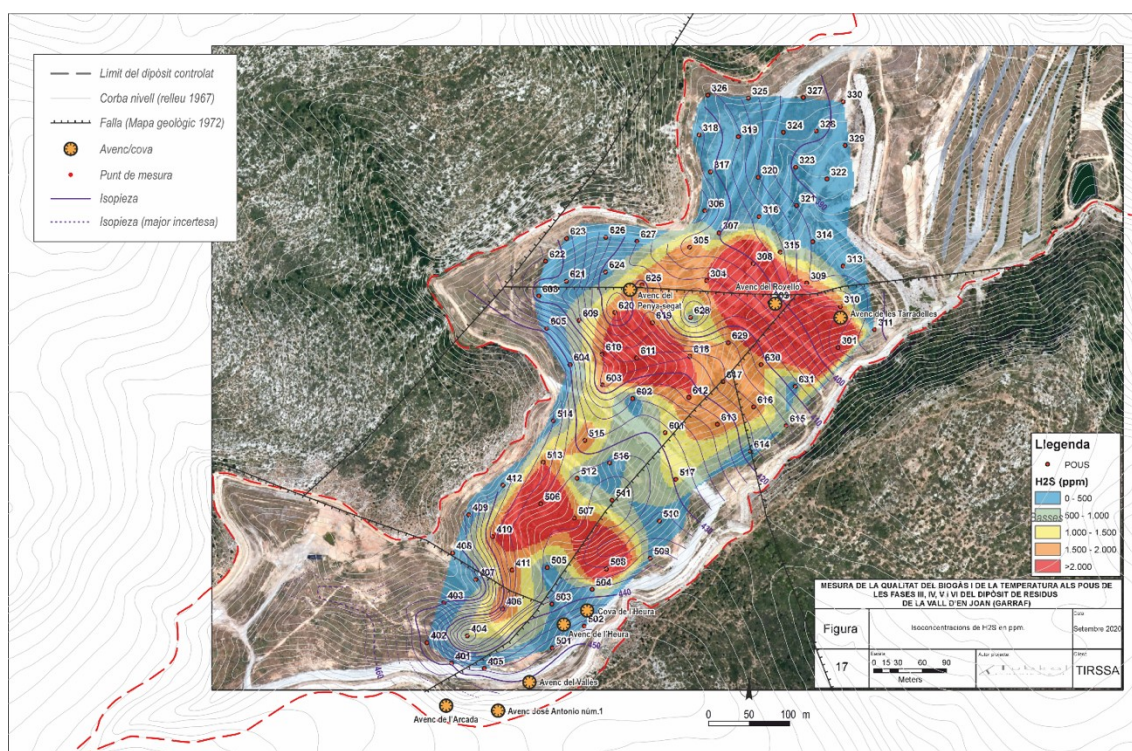


Figura 9.6. Mapa d'isocentracions d' H_2S a l'abocador de la vall de Joan (setembre de 2020) (Anufru, TIRSSA- AMB).

Tal i com s'observa en els mapes de les figures 9.5 i 9.6 i de forma més explícita en el mapa que analitza les isoplezes dels lixiviats a l'abocador (Figura 9.7) s'observen zones diferenciades possiblement amb una infiltració més important. Aquestes zones sembla que estan relacionades amb la presència de cavitats pretèrites que actualment es podrien definir com a part d'un paleocarst reactivat.

La figura 9.7 és il·lustrativa dels dos tipus generals d'infiltració: ràpida i lenta que ja caracteritzaven la vall de Joan, abans que esdevingués un abocador, però que ara mateix mantenen la seva funcionalitat transferint els lixiviats a l'estructura de drenatge del sistema càrstic com les dades experimentals indiquen molt bé.

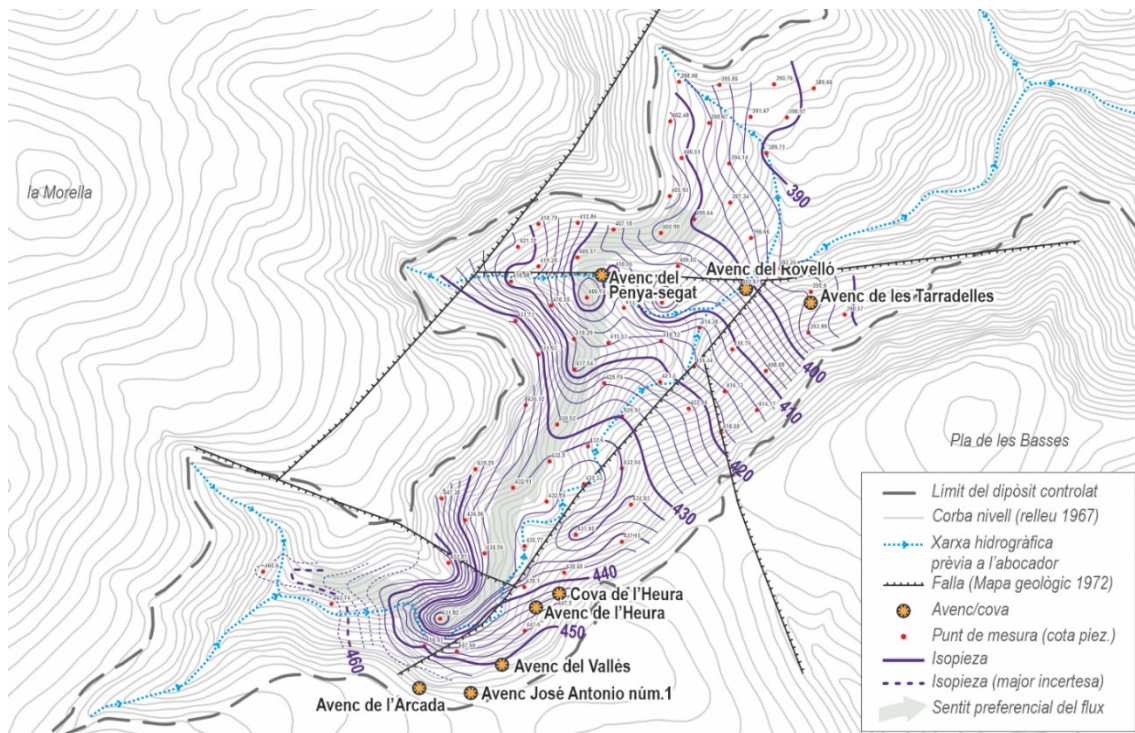


Figura 9.7. Piezometria dels lixiviats. Estructura en distensió: falles normals i situació de les cavitats conegudes al vas de l'abocador. Zones d'infiltració privilegiades.

La vall de Joan, abans d'esdevenir un abocador, formava part de la conca d'alimentació del sistema càrstic de la Falconera, i en unes poques hores transferia importants volums d'aigua a la surgència de la Falconera, gràcies a la important estructura de drenatge subterrània que existeix de la vall a la surgència. Actualment, passa exactament el mateix, però amb els 26.805.857 de tones de residus urbans ubicats a la vall de Joan, que transfereixen els seus lixiviats al sistema càrstic de la Falconera, ja que l'abocador en forma part. A més, ara ja es coneix, gràcies a l'aproximació magnetotel·lúrica, que els lixiviats han traspassat el límit inferior del vas de l'abocador. El que s'observa, en realitat, és un procés dinàmic que explica un desplaçament en profunditat dels lixiviats cap a l'interior de la zona no saturada del carst i que es fa visible, com ho indiquen els resultats de la prospecció magnetotel·lúrica, a la part superior de la zona no saturada. Les diferents modalitats de flux del carst a la zona no saturada i després a la zona saturada, desplaçarien els lixiviats i els seus contaminants de la part d'aigua amunt de l'aquífer a la d'aigua avall fins a l'estructura de drenatge profunda de la zona inundada que descarrega a la surgència de la Falconera (de la modelització magnetotel·lúrica s'interpreta que hi pot haver circulació profunda, a més de 1000 m).

Actualment l'explotació de biogàs de l'abocador no està en funcionament o no ho està en el ritme que ho havia estat. Aquesta situació, juntament amb el segellament superior de la superfície de l'abocador, ha afavorit un increment d'expansió i sortida dels gasos a les cavitats càrstiques de la zona no saturada situades a la perifèria de l'abocador. Així aquest problema que ja des de fa uns anys s'ha detectat en algunes cavitats del Garraf, darrerament ha esdevingut més important i algunes de les cavitats afectades ja no es poden explorar per la toxicitat dels gasos i l'anòxia creixent.

Així es pot definir l'impacte que té l'abocador en l'atmosfera subterrània de les cavitats del Garraf, un impacte que s'ha de considerar important; com és posa de relleu en els estudis realitzats per la FCE i

col·laboradors d'universitats i centres de recerca (Domingo et al., 2020). El estudis realitzats indiquen, a partir de marcadors isotòpics, que l'origen dels gasos a les cavitats és l'abocador.

Aquesta situació requerirà mesures en el sentit d'evitar que l'impacte augmenti més enllà de les cavitats actualment ja afectades.

Els gasos no únicament es troben a les cavitats de la zona no saturada, sinó que es transporten pel flux hídic càrstic existent entre l'abocador i la surgència de la Falconera (i en menor grau també a les altres surgències temporals) i també al conjunt de surgències que defineixen la descàrrega submarina. El H₂S mesurat els anys 2020 i 2021 a la Falconera, a part d'originar-se per processos sulfatoreductors que es desenvolupen a la zona inundada com ja s'ha explicat, també poden provenir directament de l'abocador a partir del transport hídic càrstic, sobretot si es consideren les fortes condicions sulfatoreductores actualment existents. A la Falconera arribarien CH₄ (que és molt poc soluble), H₂S i CO (i possiblement també CO₂, procedent de l'abocador).

9.3. Aproximació magnetotel·lúrica i situació física dels lixiviats

Primerament remarcar que els lixiviats a l'interior de l'abocador serveixen una estructura molt complexa i heterogènia. I la seva composició també es heterogènia. A més, l'existència de rebliments amb materials més o menys impermeables per aïllar les diferents masses de residus es tradueix en l'existència, fins i tot, de nivells penjats (aproximació tomogràfica per a definir la situació i característiques dels lixiviats), no obstant, les mesures recents de nivell en els pous de lixiviats indiquen, si més no en la part occidental de l'abocador, l'existència d'una piezometria ben definida en els lixiviats.

Els perfils tomogràfics del vas de l'abocador quan es van relacionar amb la topografia original de la vall de Joan (Geoservei, 2019) van mostrar clarament l'existència de lixiviats a l'interior del massís carbonàtic subjacent del dipòsit (Figura 9.4). Aquesta constatació conduí a plantejar i executar una prospecció geofísica magnetotel·lúrica (Figura 9.9a-b), és a dir, una aproximació més a petita escala que definís globalment la situació dels lixiviats a l'interior dels carbonats de la base de l'abocador. Precisament, aquest ha estat l'objectiu més important de la geofísica magnetotel·lúrica que s'ha realitzat al Garraf. L'annex 6 recull l'informe complet sobre l'estudi de modelització magnetotel·lúrica que s'ha realitzat per part de l'Institut de Recerca Geomodels de la Universitat de Barcelona (Martí et al., 2021).

La modelització magnetotel·lúrica determina l'existència d'una zona conductora superficial que es correlaciona amb el reblert de residus sòlids urbans de l'abocador i que s'estén per sota de la topografia original de l'abocador, en algunes zones fins a 100 m de profunditat. Aquesta alta conductivitat s'interpreta per la presència de lixiviats que presenten una elevada mineralització o conductivitat. El model mostra clarament que els lixiviats penetren per sota del vas de l'abocador (això fa pensar en un paper significatiu de la infiltració lenta en l'emplaçament del lixiviat, però no únicament). No obstant, no ha estat possible definir l'heterogeneïtat que existeix com a conseqüència de les diferents estructures càrstiques i tipus de flux que s'han definit. Tot i que el model geofísic no permet una definició del medi càrstic que faciliti la visualització de les diferents estructures i tipus de flux sí que ha permès confirmar una transferència generalitzada de lixiviats per sota el vas de l'abocador.

La figura 9.8 il·lustra l'existència d'una capa o làmina amb presència de lixiviat entre 0 i 80 m de gruix, que localment pot assolir els 100 m de fondària, i que afectaria els materials carbonàtics de la base de

l'abocador. Aquests lixiviats influeixen principalment la part superior de la zona no saturada que es desenvolupa a la base de l'abocador.

En definitiva, la modelització magnetotel·lúrica confirma la informació que prèviament havia aportat parcialment l'aproximació tomogràfica.

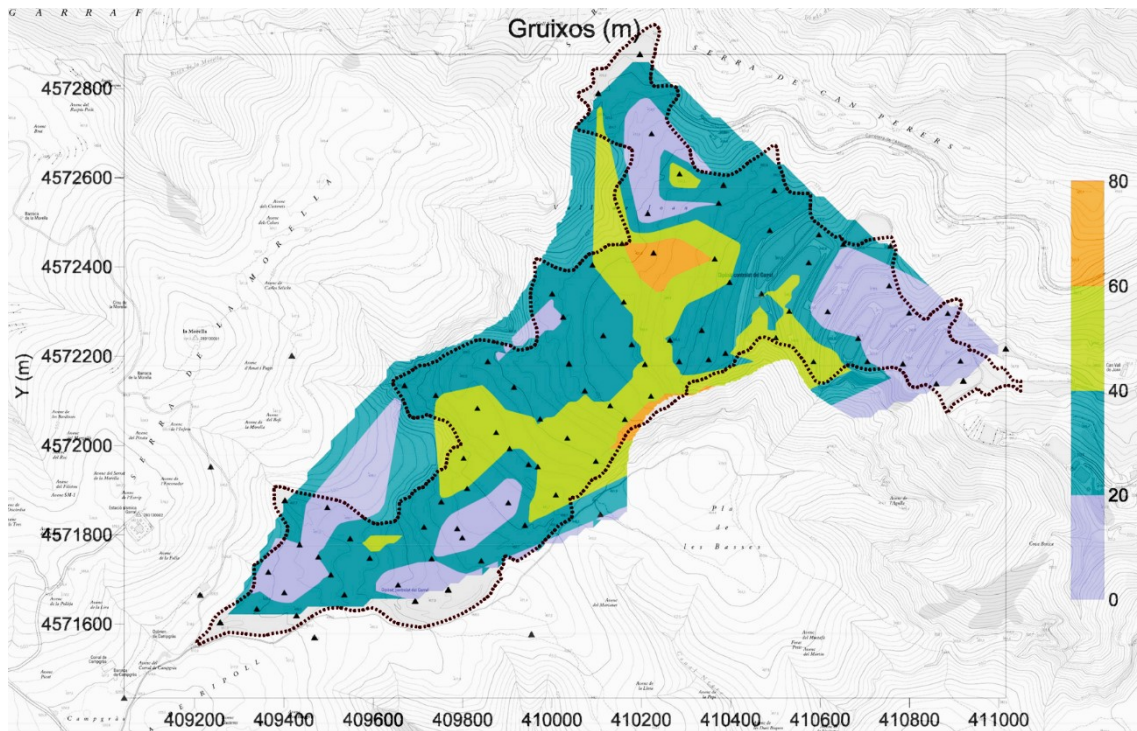


Figura 9.8. Superfície de la base de l'abocador en contacte amb el subsòl carbonàtic. Diferents gruixos de lixiviats (conductor).

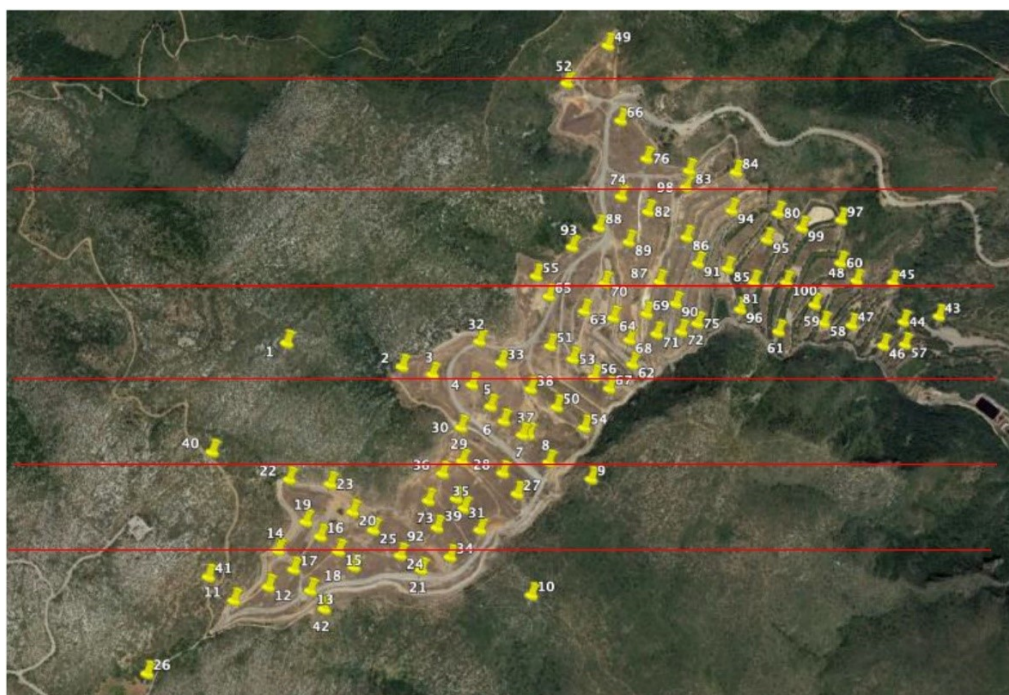


Figura 9.9a. Prospecció geofísica magnetotel·lúrica. Situació de diferents seccions de l'abocador.

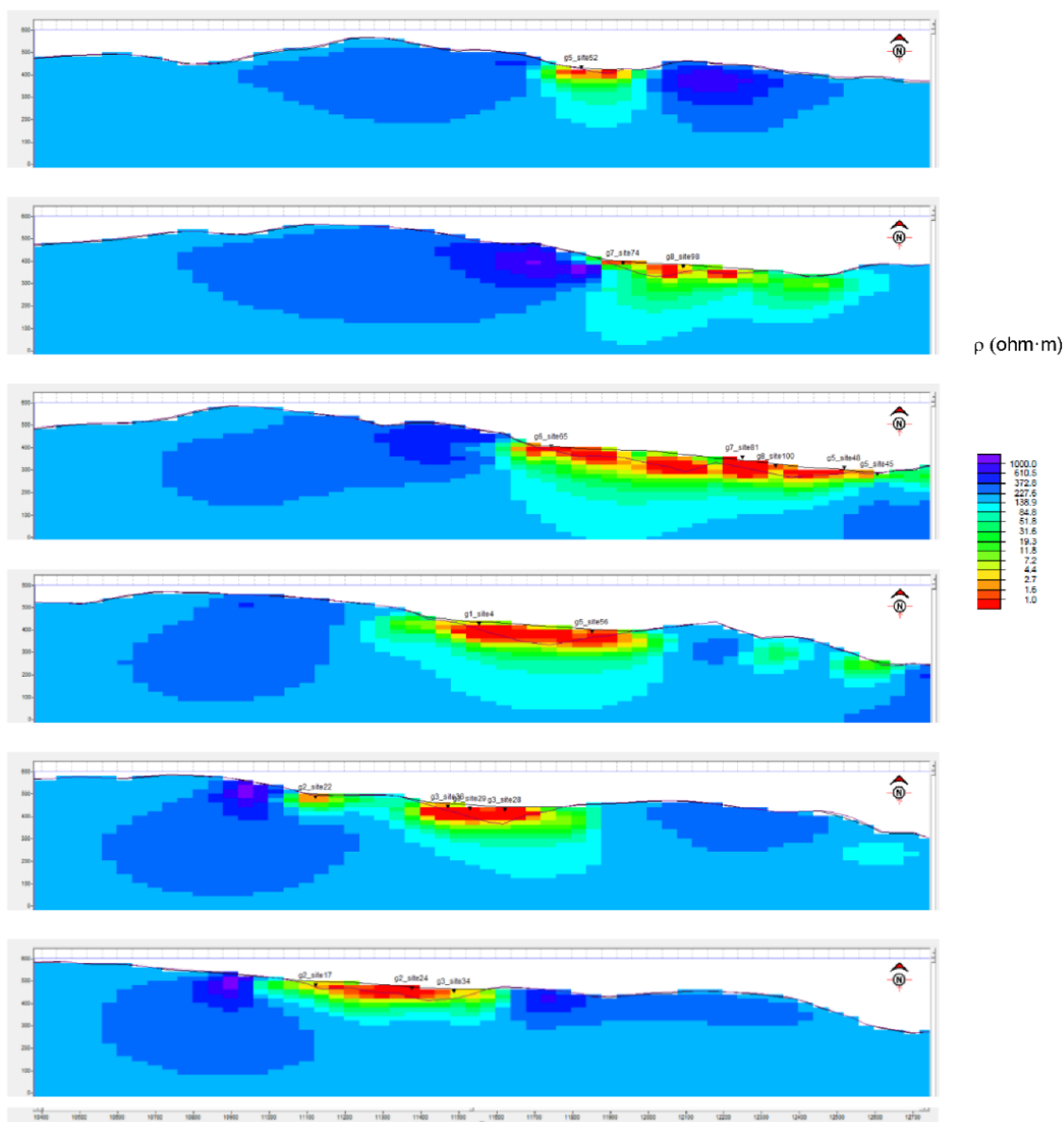


Figura 9.9b. Prospecció geofísica magnetotel·lúrica. Panells de nord a sud que es corresponen amb les diferents seccions de la imatge de satèl·lit. Topografia actual: línia negra i topografia de 1967 (original): línia violeta.

9.4. Garraf i l'abocador de la vall de Joan

Una vegada es reconeixen les característiques geològiques, geomorfològiques i hidrològiques del massís del Garraf i particularment les de l'abocador de la vall de Joan i el seu entorn, fàcilment es conclou que és difícil trobar un emplaçament més desfavorable per ubicar un dipòsit de residus sòlids urbans de grans dimensions i respondre a les necessitats d'abocament d'una ciutat com Barcelona i les poblacions de la seva àrea metropolitana. La importància de l'abocador es fa evident amb la gran quantitat de tones de residus abocats, sense comptabilitzar les terres i altres materials utilitzats en les diferents operacions d'impermeabilització i de reblliment i aïllament dels residus i de creació d'infraestructures, gruiços del reblliment de fins a 80 m, una conca d'abocament de 0.7 km² i un període d'abocament de 32 anys (1974-2006). L'impacte d'una infraestructura d'aquestes dimensions pot arribar a ser molt important, particularment si les característiques del medi físic són completament desfavorables i exigències bàsiques

com l'estanqueïtat del vas de l'abocador no són possibles o senzillament no s'han aconseguit (Caldwell i Reith, 1993). Actualment l'impacte de l'abocador és important tant per la contaminació de les aigües subterrànies com per la incidència dels gasos en les cavitats càrstiques de la zona no saturada del massís i també per l'aportació de gasos en els punts d'aigua subterrània sigui a les surgències naturals o bé, en piezòmetres i pous. Aquests gasos aportats per les aigües subterrànies tenen una significativa incidència en l'atmosfera d'espais oberts, com succeeix en el cas de la surgència de la Falconera i la població de Garraf. Finalment, la descàrrega marina i submarina, que és molt important, aporta una càrrega de contaminants de diferents característiques originant també un impacte encara no avaluat en les aigües marines i els seus ecosistemes.

L'anàlisi de les dades hidrològiques dels treballs recentment desenvolupats indica clarament que la decisió d'ubicar a la vall de Joan l'abocador de residus sòlids urbans de Barcelona i àrea metropolitana fou un error de conseqüències greus, que encara no es coneixen en tota la seva amplitud. La major part dels problemes existents en la gestió d'aquest equipament té a veure amb les característiques físiques del medi i si s'introdueix la perspectiva ecosistèmica i l'interès ecològic del massís del Garraf el problema encara assoleix una dimensió superior. Les característiques del medi físic no es van observar, considerar i analitzar com s'hauria d'haver fet. En cap cas, la vall de Joan era una opció viable per a un abocador.

És necessari introduir iniciatives de gestió per disminuir i, si és possible, evitar l'impacte observat a les cavitats esmentades. Això vol dir:

- Recuperar de manera urgent la cremació, extracció i explotació del biogàs (CH₄, SH₂, CO₂, ...).
- Discutir si s'ha de reconduir o no la situació de metanogènesi incompleta (biocombustió i piròlisi) en la perspectiva de mantenir la degradació ràpida o no de la matèria orgànica a l'abocador, és a dir, disminuint o allargant el cicle de vida de l'abocador i per tant la persistència (durant dècades) del problema ambiental originat.
- La primera consideració és encara més urgent donades les conseqüències del segellament superior de l'abocador doncs les noves condicions de confinament de gasos a l'abocador han determinat una major difusió cap a la zona no saturada del carst i les seves cavitats.

9.5. Consideracions finals

9.5.1. Medi físic i captura càrstica

- La problemàtica mediambiental del Garraf originada per l'abocador de la vall de Joan els darrers 47 anys té una relació estreta amb el fenomen de captura càrstica de la vall de Joan. Aquest fenomen de captura càrstica ja existia abans de la instal·lació de l'abocador i s'ha de remarcar que des dels primers anys d'activitat a l'abocador a l'actualitat aquesta captura ha estat activa i ha determinat la transferència de la contaminació dels lixiviats de l'abocador a l'aqüífer i també ha influït en la transferència de gasos més enllà del vas de l'abocador.
- Aquesta captura té la seva expressió i definició en l'estructura de drenatge càrstica organitzada que se situa en els materials carbonàtics juràssico-cretacis del vas i subsòl de l'abocador. Aquesta estructura de drenatge a part del seu desenvolupament a l'interior del carbonats situats a la base de l'abocador té relació amb l'epicarst i els aquífers epicàrstics de funcionament temporal situats als vessants que alimenten lateralment el vas de l'abocador, així com amb les pèrdues preexistents (a l'abocador) situades al tàlveg de la vall de Joan. A més, cal introduir com un aspecte més de l'estructura de drenatge: la reactivació d'antigues cavitats que formaven part del paleocarst existent a la vall de Joan.

- El fons de les Terradelles-vall de Joan com a conseqüència del fenomen de captura forma part de la conca d'alimentació del sistema càrstic de la Falconera. La seva descàrrega natural més important és la surgència a nivell de mar i submarina de la Falconera.
- El substrat carbonàtic del fons de les Terradelles-vall de Joan observa una carstificació polifàsica (sis o més fases de carstificació: de l'Oligocè a l'actualitat), que estableix una molt elevada permeabilitat de naturalesa càrstica.

9.5.2. Contaminants i origen dels contaminants

- Les aigües residuals de l'abocador (lixiviats) i els seus contaminants constitueixen l'origen de la contaminació de les aigües subterrànies. Lixiviats en diferents situacions: pous de lixiviat i Bassa de Lixiviats (contaminants: Amoni, TOC, mercuri, arsènic, titani, vanadi, seleni.... microcontaminats orgànics: Bisfenol A, Pirazines, Benzotiazolona, P-Cimé,...)
- Gasos a les cavitats. Processos de l'abocador: incendi profund, biocombustió, piròlisi: CH₄, CO₂, H₂S, CO i COV (volàtils) i la difusió del gasos fins a les cavitats a partir de la permeabilitat del terreny.
- Els processos sulfatoreductors de la zona saturada són els responsables, en part, de la presència de H₂S en surgències, pous i piezòmetres. Però, l'H₂S també pot arribar a les surgències (Falconera, Aiguadolç,...) des de l'abocador a partir del flux hídric de les estructures de drenatge càrstiques o altra tipus de permeabilitat.
- La circulació càrstica també pot tenir un paper en el transport dels gasos cap a les cavitats càrstiques de la zona sud-oest i l'oest de l'abocador per l'acció del flux hídric a les zones no saturada i saturada, però particularment a partir de les modalitats de flux pròpies de la zona no saturada que hi ha sota l'abocador: infiltració ràpida (drens verticals i esorrentia subterrània), i infiltració lenta.

9.5.3. Tipus d'impacte

- L'abocador no observa l'estanqueïtat que com a condició principal hauria de definir tot abocador de residus sòlids urbans.
- L'abocador i els seus contaminants fluids determinen diferents tipus d'impacte:
 - a) Al medi hidrogeològic del Garraf: sistema càrstic de la Falconera i sistema hidrogeològic del Garraf (contaminants de l'aigua i gasos). Surgències, pous i piezòmetres.
 - b) Al medi atmosfèric que constitueix la zona no saturada del carst: gasos als avencs de Carles Selicke, Aritjols, Sivinota, Llamp, forat de la Ruda, Emili Sabater, Ramon Valls i Aragalls. Situacions d'hipòxia i anòxia.
 - c) Als espais oberts i subterrànies a partir de gasos aportats per les surgències, pous i piezòmetres. Aquesta situació caracteritza particularment la surgència de la Falconera (H₂S, CH₄, CO...) i el seu entorn proper: població de Garraf.
 - d) A l'ecosistema litoral marí (contaminants i gasos aportats pel flux d'aigua que defineix la descàrrega submarina de les Costes del Garraf (SGD)). L'estudi realitzat és una primera aproximació però rigorosa dels contaminants (i marcadors isotòpics) aportats qualitativament

i quantitativa per les surgències a nivell de mar (Aiguadolç, Falconera, Punta Ginesta) que contribueixen i defineixen la descàrrega submarina (paràmetres bàsics, microcontaminants orgànics, microbiologia i marcadors isotòpics).

9.5.4. Evolució en l'espai dels lixiviats

- La no impermeabilitat de l'abocador ha afavorit la infiltració dels lixiviats de l'abocador a l'interior del massís carbonàtic subjacent (de 0 a 100 m de profunditat) (on hi ha l'estructura de drenatge càrstica) com ho ha definit molt bé la geofísica magnetotel·lúrica.

9.5.5. Nous potencials de carstificació (dissolució)

- L'elevada producció de CO₂ i la seva incorporació al flux subterrani suposen un augment molt important del potencial de dissolució.
- L'augment del potencial de dissolució també es podria produir a partir de la incorporació d'oxigen (O₂) que determinaria l'oxidació dels sulfurs i una elevada aportació de hidrogenions (H⁺) que afavoriria la dissolució. La infiltració lenta pot aportar l'O₂ a partir del flux difàsic: aire-aigua que la caracteritza, però també podrien existir altres mecanismes d'incorporació d'aire (oxigen) sobretot si es considera la importància del drenatge en profunditat (estructura de drenatge) que pot influir i afavorir altres vies d'aeració.
- Aquestes "noves condicions" de dissolució poden tenir un doble efecte: (1) un augment de la dissolució o carstificació dels carbonats suprajacents i un major desenvolupament de l'estructura de drenatge i, (2) la degradació i destrucció de les infraestructures de ciment i/o formigó que tenen com a objectiu la impermeabilització del vas de l'abocador.

9.5.6. Nova Xarxa Piezomètrica

- Paral·lelament al desenvolupament d'aquest estudi s'ha impulsat una nova xarxa de control amb alguns piezòmetres de gran profunditat: fins a quasi 600 m al Pitxot. A la nova xarxa hi ha els piezòmetres de Vallgrassa, Pleta, Pitxot, Abocador SE i el Teix, que ja han demostrat el seu interès en el control dels contaminants de l'aigua i la presència de gasos. Els nous piezòmetres en cap cas han tallat l'estructura de drenatge profunda.

9.5.7. Cicle de vida. Gestió de lixiviats i gasos. Remediació. Nova geoenginyeria

- Si es té en compte el cicle de vida de l'abocador i davant de l'impacte ambiental que existeix, ara mateix es genera un dubte fonamental: aturar o no l'incendi profund a l'abocador? Aturar l'incendi profund i tot procés de degradació de la matèria orgànica determinarà un cicle de vida de més llarga durada amb tots els inconvenients que això tindria: una major duració en el desenvolupament dels diferents impactes que actualment existeixen. No aturar l'incendi profund té avantatges i inconvenients: en general, escurçaria el cicle de vida de l'abocador, però exigiria una gestió molt rigorosa dels gasos (cremació o bé explotació o bé, les dues opcions de manera simultània); entre els inconvenients hi hauria: l'existència d'una font potent de producció de gasos, situació que com dèiem s'hauria de gestionar molt acuradament, a més hi hauria una contínua pèrdua de volum amb desenvolupament de col·lapses i subsidència... A més, és problemàtic assegurar que encara que es faci una òptima gestió dels gasos, no n'arribaran a les cavitats càrstiques de la zona no saturada.

- La gestió dels lixiviatos ha esdevingut un problema molt complex: hi ha una contaminació que ja caracteritza l'aqüífer d'est a oest del massís: sistema hidrogeològic del Garraf, que experimenta una evolució segons la major o menor influència de la recàrrega a la vall de Joan, entre altres factors. A més, la magnetotel·lúrica ha demostrat que hi ha una incorporació massiva de lixiviatos a la zona no saturada, que s'ha d'entendre com un procés dinàmic, és a dir, en la mesura que es creen més lixiviatos hi ha una major incorporació d'aquests al subsòl carbonàtic; lixiviatos que s'incorporen al flux subterrani que defineix l'estructura de drenatge càrstica. Els lixiviatos en la mesura que tenen una presència permanent en els residus de l'abocador alimentaran el subsòl carbonàtic sense solució de continuïtat. Això és així independentment que hi hagi recàrrega o no a l'aqüífer. Però, això sí, quan hi ha una recàrrega important (precipitacions al voltant dels 50 mm) la transferència dels lixiviatos a l'interior del massís carbonàtic ha d'experimentar un augment molt considerable. Tanmateix s'ha d'assenyalar que els lixiviatos a l'abocador experimenten un retard en la seva transferència al massís rocós, com a conseqüència de la permeabilitat més aviat baixa dels residus de l'abocador, però una vegada passen a l'estructura de drenatge la transferència a la surgència de la Falconera es pot realitzar en unes poques hores.
- La remediació de l'aqüífer o aquífers és extremadament difícil per la diversitat de contaminants de naturalesa i característiques molt contrastades encara que localment es poguessin concretar algunes iniciatives.
- Es considera pràcticament inviable, tècnica i econòmicament, una geoenginyeria per crear una barrera impermeable per evitar la formació de nous lixiviatos. La barrera en tot cas hauria d'evitar l'aportació dels aquífers epicàrstics eventuals a l'abocador, però, encara que es disposés del mitjans tècnics i econòmics, només s'aïllaria una part de l'aportació hídrica. La constatació de la manca d'estanqueïtat de l'abocador en un període de més de 47 anys ens aporta una experiència interessant sobre les enormes dificultats que hi ha per contrarestar l'elevada permeabilitat del medi càrstic, i encara més si es té en compte la important estructura de drenatge càrstica que hi ha a la vall de Joan. En conclusió la barrera o altra geoenginyeria per evitar la formació de nous lixiviatos sembla, coneixent el medi, poc raonable i inviable. És necessari, partint de la xarxa de pous de biogàs actual, la creació d'una infraestructura pensada per a l'extracció de lixiviatos. L'objectiu d'aquesta infraestructura és l'extracció màxima possible de lixiviatos per evitar la seva transferència a les zones no saturada i saturada. Es tracta en definitiva de minimitzar la transferència de contaminants (lixiviatos) a les aigües subterrànies.
- Abans de plantejar-se i d'emprendre determinades iniciatives de geoenginyeria, que, com la barrera, no és consideren viables, és indispensable un major coneixement del medi. La realització de sondeigs mecànics d'exploració en profunditat a l'abocador i el seu subsòl de naturalesa càrstica pot ser una opció com ja s'havia plantejat. En aquest sentit, també s'hauria de considerar l'opció de realitzar un perímetre experimental d'observació amb piezòmetres a diferents profunditats (Botton, 1985, Freixes, 2014) per conèixer la incorporació dels lixiviatos al subsòl càrstic (a la part lateral, a la base i a un nivell inferior de la base de l'abocador).
- Realitzar injeccions en profunditat amb l'objectiu d'impermeabilitzar la base de l'abocador és una altra de les alternatives que ja s'havien plantejat. Però, la magnetotel·lúrica no ens ha aportat una definició precisa de les heterogeneïtats pròpies de l'estructura de drenatge situada a la base de l'abocador i això fa molt difícil de planificar la realització de les esmentades injeccions. És una iniciativa difícil que s'ha de replantejar considerant les limitacions del coneixement del subsòl que és disposa actualment.

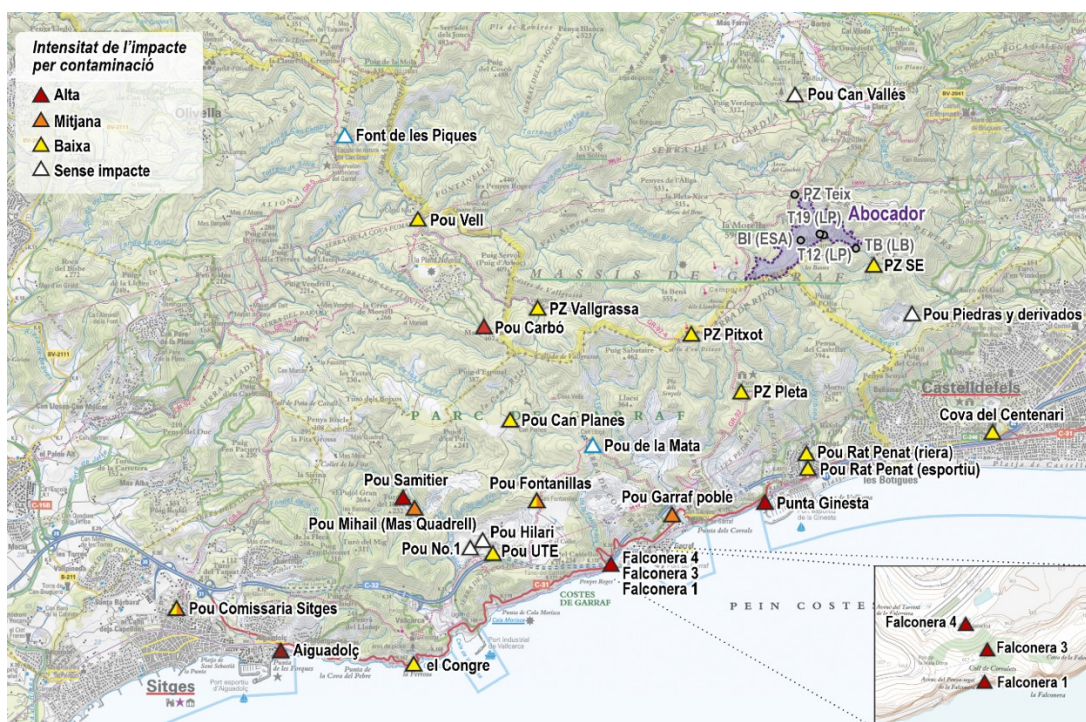
10. Conclusions i recomanacions

10.1. Conclusions

1. El sistema hidrològic del Garraf té una extensió de l'ordre de 233 km², i es desenvolupa principalment en unitats carbonàtiques del Juràssic i Cretaci, que conformen la major part del massís del Garraf, amb uns gruixos (sumant la zona no saturada i saturada) de fins a 1.000 m.
2. Els problemes que s'han analitzat tenen a veure amb l'emplaçament de l'abocador de residus urbans de Barcelona (i posteriorment de l'AMB) sobre roques carbonàtiques, atès que el fons de les Terradelles-vall de Joan constitueix una captura càrstica de primer ordre. L'emplaçament de l'abocador a la vall de Joan és el més desfavorable de tots els que es podien decidir.
3. La captura càrstica afecta el fons de les Terradelles-vall de Joan on les aigües de pluja s'infiltra originant una significativa circulació subterrània cap a la surgència de la Falconera, situada a la línia de costa prop de la població de Garraf (i a altres surgències, punts d'aigua subterrània i aquífers o subsistemes hidrogeològics diversos del Garraf).
4. La conca del fons de les Terradelles-vall de Joan pertany, des del punt de vista funcional, al sistema càrstic de la Falconera. En el subsòl del fons de les Terradelles-vall de Joan existeix una important estructura de drenatge (captura càrstica) situada a la base de l'abocador que connecta la zona no saturada amb la saturada i, finalment, el flux desguassa a mar a través de la surgència de la Falconera. Els temps de trànsit estimats en el sistema càrstic de la Falconera són d'unes poques hores.
5. Aquesta estructura de drenatge natural ha seguit funcional i operativa un cop instal·lat l'abocador amb motiu de no haver impermeabilitzat amb èxit el vas del dipòsit. Per tant, d'ençà que es va instal·lar i va créixer l'abocador aquesta estructura de drenatge, a banda del transport d'aigua que flueix cap al dipòsit des de l'aquífer epicàrstic, ha afavorit mobilització dels lixiviat i els seus contaminants cap a les aigües subterrànies de la zona inundada o saturada i les seves surgències situades a la línia de costa i mar endins. En situació de recàrrega la funcionalitat augmenta i la transferència de lixiviat i contaminants esdevé molt important.
6. L'aproximació geofísica magnetotel·lúrica realitzada en el marc d'aquest estudi (com inicialment ho va fer la tomogràfica) indica que sota el vas de l'abocador hi ha una zona conductora d'uns 80-100 m de gruix, que confirma la transferència (sortida) de lixiviat del fons de l'abocador.
7. La problemàtica de la contaminació, no se circumscriu, únicament a la transferència de lixiviat al medi hídic, sinó també a la transferència de gasos dins de la zona no saturada, afectant algunes cavitats càrstiques properes.
8. La utilització d'una metodologia d'enfocament sistèmic, interdisciplinària i experimental (quantitativa) durant un cicle hidrològic (2019-2020), s'ha demostrat efectiva i resoltiva per a la caracterització de la contaminació de les aigües subterrànies i la presència de gasos al sistema hidrològic del Garraf. Aquesta metodologia ha permès definir la gravetat i extensió de la problemàtica, el dia d'avui, i

l'establiment de marcadors paramètrics que faciliten els controls rutinaris i extraordinaris de l'evolució de la contaminació en l'aigua subterrània del sistema.

9. Des de l'enfocament sistèmic s'ha analitzat i estudiat la funció d'entrada al sistema-aqüífer, qualitativament definida pels lixiviat: salinitat, amoni, TOC, metalls solubles (arsènic, mercuri, antimoni, titani, vanadi, molibdè, seleni, alumini, coure, níquel, ferro, manganès...), microcontaminats orgànics (bisfenol A, benzotiazolona, DEET, pirazines, diclorobenzè, p-cimè... i un espectre molt ampli de substàncies orgàniques), marcadors isotòpics (triti, deuteri...). També s'ha analitzat i estudiat la funció de sortida a les surgències de la Falconera, Aiguadolç i Punta Ginesta i en pous d'exploració i piezòmetres. La conclusió és que un espectre molt ampli de contaminants de diferents característiques propis dels lixiviat s'ha detectat també a les aigües subterrànies en concentracions més que considerables.
10. El conjunt de treballs realitzats permet concloure que al massís del Garraf no hi ha cap altra font potencial de contaminació comparable amb l'abocador de la vall de Joan. La contaminació que es reconeix als diferents punts d'aigua subterrània només la pot donar una font contaminant massiva com l'abocador, que d'una manera continua i persistent aporta aquesta contaminació.
11. Una quantitat important de compostos (inorgànics...) detectats en l'aigua subterrània es troben per sobre de la normativa de qualitat d'aigües potables i, altres compostos, com succeeix amb els microcontaminats orgànics, en cap cas, haurien de formar part de la composició de les aigües subterrànies. El grau d'afectació de les aigües subterrànies és important i l'extensió geogràfica de la contaminació, com es pot veure a la figura següent, va de Castelldefels a Sitges. Cap al nord, el pou Vell contribueix a marcar el límit de la contaminació, cap al sud, el front marí de les costes del Garraf, és el principal receptor de les aigües contaminades.



12. En diferents punts d'aigües subterrànies estudiats s'ha detectat la presència de H₂S, particularment a la surgència de la Falconera. Els treballs realitzats en el present estudi han permès determinar dos possibles motius de la presència del H₂S:
- A partir dels processos sulfatoreductors de la zona inundada o saturada de l'aqüífer en contacte amb la intrusió marina; procés ja conegut i corroborat per les determinacions isotòpiques.
 - A partir de la mobilització del H₂S, generat a partir dels processos sulfatoreductors que tenen lloc a l'abocador (incendi profund i piròlisi) des d'on el flux subterrani el transporta fins als punts d'aigua estudiats (especialment, la surgència de la Falconera).
13. És possible que certs processos interns de l'abocador -biocombustió i piròlisi- que contribueixen de forma especial a una elevada producció (aportació) de CO₂ hagin afavorit els processos de dissolució que es desenvolupen al substrat carbonàtic. En efecte, l'aportació de CO₂ al flux subterrani hauria augmentat molt notablement el potencial de carstificació (dissolució), situació que es traduiria en un major desenvolupament de l'estructura de drenatge, que alhora comportaria un major flux de lixiviats i contaminants cap a l'interior de l'aqüífer.

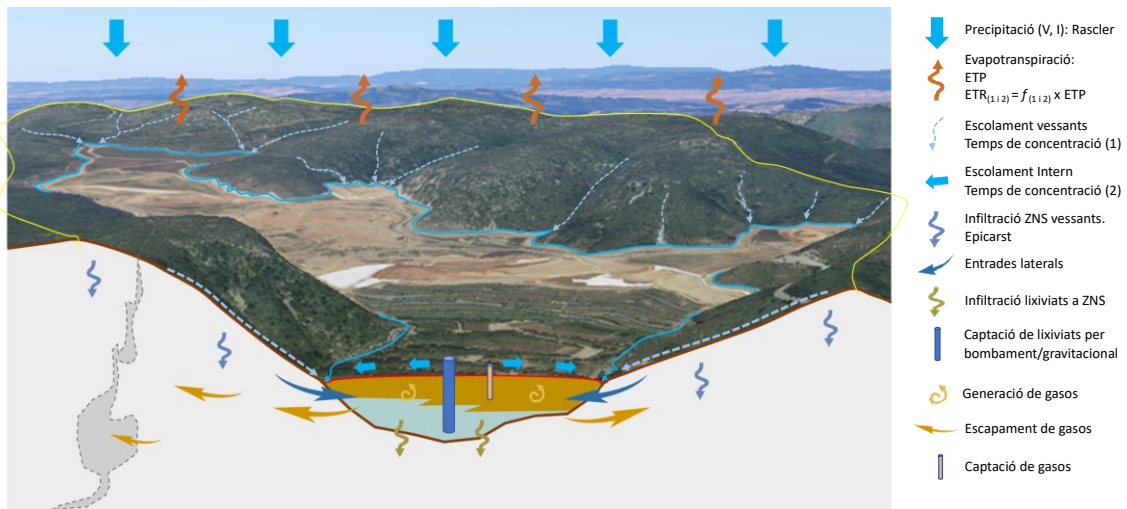
10.2. Recomanacions

Els nous escenaris d'emergència climàtica influiran més aviat negativament la gestió d'un abocador problemàtic com el de Garraf, amb possibles episodis de precipitació més freqüents i de major intensitat, com els de l'any 2018 o 2019, afectant la Falconera amb una major transferència de contaminants, amb un ascens del nivell del mar que tindrà un paper cada cop més important de la intrusió marina amb totes les seves implicacions: augment de la salinització de les aigües subterrànies, una major influència en la dispersió dels contaminants en el sistema hidrogeològic del Garraf, etc.

En aquest marc, cal fer les recomanacions següents:

1. **Seguiment i control a l'interior i a l'exterior de l'abocador.** És fonamental mantenir el seguiment de l'estat del medi i de la contaminació en l'aigua (lixiviats) i en l'aire (gasos) per tal de conèixer millor la seva evolució i entendre millor els processos hidrològics que la governen, en els diferents aquífers del sistema hidrològic del Garraf, inclòs tot el front costaner.

El monitoratge intern ha de contribuir, a més del coneixement de l'estat i la qualitat del medi, a la quantificació dels paràmetres que intervenen en el balanç hídric de l'abocador. Aquest seguiment està en curs des de l'abril de 2021. El model funcional que permet visualitzar els paràmetres que participen del seguiment, iniciat el mes d'abril de 2021 és el següent:



No tots els paràmetres són quantificables però la disposició del major nombre de dades possible amb una periodicitat mensual ha de permetre controlar l'evolució del dipòsit i contribuir a valorar el resultat d'aquelles actuacions que es puguin anar duent a terme al llarg del temps.

En el marc d'aquest treball també s'ha proposat una xarxa de control piezomètric i de qualitat exterior de l'aigua subterrània i dels gasos presents en cavitats i pous/piezòmetres, zona no saturada i/o saturada. Aquest seguiment també està en curs des de l'abril de 2021.

X. EXTERNA X. INTERNA	PUNTS DE CONTROL	PERIODICITAT I PACKS ANALÍTICS												"cc"	
		OCT	NOV	DES	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Control continu	
	Piedras y derivados	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	MONITRATGE	
	Eusebi (F4)	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A		
	PZ Vallgrassa	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	MONITRATGE	
	PZ Pleta	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A		
	PZ Pitxot	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	MONITRATGE	
	PZ abocador SE	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A		
	PZ el Teix (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MONITRATGE	
	Pou Can Planes	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A		
	La Falconera (F3)													MONITRATGE	
	Aiguadolç*	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A		
	Punta Ginesta*	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	0ABC	0A	0A	0AB	0A	0A	MONITRATGE	
	Pou Samitier**	0ABC		0AB				0ABC			0AB				
	Pou Carbó**	0ABC		0AB				0ABC			0AB			MONITRATGE	
	Pou Fontanillas***	0ABC													
	Pou UTE***	0ABC												MONITRATGE	
	Pou Can Surià	0D			0D			0D			0D				
	Pou Mas Mestre	0D			0D			0D			0D			MONITRATGE	
	Pou Poble	0D			0D			0D			0D				
	Pou Riera	0D			0D			0D			0D			MONITRATGE	
	Cavitat Arifjols (2n)	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E		
	Cavitat Sivinota (1n)	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	MONITRATGE	
	Cavitat Ramon Valls (2n)	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E		
	Cavitat Llamp (2n)	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	MONITRATGE	
	Cavitat Carles Selike (2n?)	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E		
	Cavitat Emili Sabaté (1nP)	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	MONITRATGE	
	Cavitat Aragalls (1nP)	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E		

* Punts/surgències a mostrejar quan siguin funcionals.

** Punts a mostrejar trimestralment

*** Punts a mostrejar anualment

(1) Al Piezòmetre el Teix tot i que es considera un pou sec s'hi han de controlar mensualment els gasos i verificar si té nivell d'aigua subterrània amb sonda manual de 200m. En cas que es confirmi presència d'aigua s'hauria d'intentar mostrejar (amb baier o amb bomba).

Packs de mesures i anàlisis	"C"	Sensors en continu. Control de funcionament mensual. Punts: F4 (Tª, CE, pH, Eh, Terbolesa, OD, NH ₄); F3 (Caball)
	"O"	Mensual. In situ. Mesura de nivell piezomètric. Pous amb sensors instal·lats. Subjecte a subministrament elèctric. X ¹ (Pz el Teix); verificar si té nivell (sec?) Mensual. In situ. Sonda manual: Tª, CE, pH, Eh i OD. X ¹ (Pz el Teix)
	"A"	Mensual. Mesura de gasos ZNS i ZS. Pous/punts accessibles. Compostos: O ₂ , CO ₂ , CO, H ₂ S, CH ₄ , COV's Totals
	"B"	Mensual. Paràmetres segons RD 1-1997 Annex 5: pH, CE, Cl. X ¹ (Pz el Teix) Mensual. TOC i amoni. Altres paràmetres i resta de cations i anions majoritaris. X ¹ (Pz el Teix)
	"C"	Trimestral. Anàlisi completa d'acord amb els paràmetres del Decret 1/1997 Annex 5: pH, CE, TOC, Carbonats/bicarbonats, Cianurs, Cl, Fluorurs, NO ₃ , NO ₂ , SO ₄ , Sulfurs, Al, NH ₄ , Ba, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Sb, As, Cd, Cr total (CrVI), Hg, Ni, Pb, Se, Ca, Mg, K, Na, index de fenols, AOX. X1 (Pz el Teix) Trimestral. Altres paràmetres: Ti, Va. X ¹ (Pz el Teix)
	"D"	Semestral o Anual, segons el punt. Compostos orgànics marcadors: Bisfenol A, Pirazines, altres. X ¹ (Pz el Teix) Semestral o Anual, segons el punt. Isòtops marcadors: triti. X ¹ (Pz el Teix); si té nivell
	"E"	Punts conveni Olivella. Trimestral. Mesura de dades In situ "O" + Lab. Pack "A" reduït: Cl, NH ₄ i TOC
	"E"	Mensual. Mesura de gasos ZNS. Cavitats. Compostos: O ₂ , CO ₂ , CO, H ₂ S, CH ₄ , COV's Totals

2. Explotació-extensió del monitoratge. Complementàriament al seguiment descrit, és indispensable un monitoratge exhaustiu de la surgència de la Falconera (en curs d'equipament instrumental) i de les surgències d'Aiguadolç i de Punta Ginesta/pous Rat Penat, entre altres. A més, s'hauria de tendir a monitoritzar els piezòmetres/pous que aportin la informació més interessant amb relació a la contaminació.

3. La gestió dels lixiviats i dels gasos a l'interior de l'abocador. Aquesta hauria de ser la prioritat davant qualsevol altra iniciativa en el procés o programa de tancament i clausura definitiva de l'abocador:

- La gestió dels lixiviats a partir d'una extracció sistemàtica permetria la disminució del flux de contaminants que arriba als diferents aqüífers del Garraf. Es tractaria de millorar i optimitzar la infraestructura de gestió que ja existeix (evitant possibles efectes negatius).
- La gestió dels gasos mitjançant l'explotació del biogàs, la cremació o altres sistemes que permeti la disminució de la seva mobilització a la zona no saturada de l'aqüífer fora de l'àmbit de l'abocador.

4. Aprofundiment en el coneixement de l'abast geogràfic de la contaminació en els límits occidental i oriental del Bloc del Garraf, i també en el límit nord que assenyalava la contaminació de la Plana Novella (pou Vell...). Tanmateix considerant la importància de la descàrrega submarina és també necessària una aproximació d'enfocament ecològic per conèixer l'estat de l'espai costaner litoral. Els resultats d'aquest projecte defineixen, sobretot qualitativament, la funció d'entrada de la descàrrega submarina al medi marí litoral.

Qualsevol iniciativa dirigida a l'aprofundiment del coneixement de l'abocador i el sistema hidrogeològic del Garraf s'ha de fonamentar en l'enfocament sistèmic, interdisciplinari i experimental (quantitatiu) del present treball atès que el problema caracteritzat està controlat per un funcionament hidrogeològic càrstic complex.

5. Addicionalment, caldria definir detalladament un Programa de mesures i actuacions encaminades a l'assoliment dels següents objectius:

1. Mitigar la potencial contaminació (actuacions a l'abocador i entorn):
 - Minimitzant l'entrada d'aigua l'abocador: directa/superficial i lateral
 - a. Impermeabilització superficial (executada)

- b. Intercepció de flux: barrera hidràulica/barrera física
 - Minimitzant la sortida de lixiviats
 - a. Impermeabilització del fons del vas
 - b. Impermeabilització de cavitats puntuals existents a la base de l'abocador
 - c. Extracció/bombament de lixiviats de l'abocador
 - d. Intercepció de flux: barrera hidràulica/barrera física
 - Minimitzant la generació, l'acumulació i la sortida de gasos a l'abocador
 - a. Extracció de gasos
 - b. Manteniment/no manteniment incendi
 - Minimitzant la càrrega contaminant dels lixiviats dins l'abocador o en conductes càrstics mitjançant tractaments fisicoquímics/biològics
- 2. Mitigar les molèsties per olors a La Falconera
 - Implementant una planta d'extracció i tractament dels gasos generats a l'interior de La Falconera. Prova pilot.
- 3. Millorar la qualitat de l'aigua de les captacions particulars afectades: pou Samitier, pou Fontanillas...
 - Subministrant aigua d'una font alternativa (connexió a xarxes existents...)
 - Implementant tractaments fisicoquímics/biològics en dipòsit
 - Implementant tractaments fisicoquímics/biològics a l'interior o l'entorn del pou
- 4. Millorar la qualitat atmosfèrica en les cavitats
- 5. Potenciar la col·laboració entre administracions (Nova governança)

6. Consideracions al Programa de mesures i actuacions.

- Les mesures o actuacions que s'empenguin han de tenir en compte l'actual marc d'incertesa que genera el fet que, a diferència d'un cas ideal, l'abocador es comporta com un sistema obert. Aquesta situació pot comportar un cicle de vida més llarg al dipòsit i, sobretot, un resultat menys previsible de qualsevol actuació amb relació als resultats esperats.
- En l'estat actual, la impermeabilització del vas de l'abocador per evitar entrades laterals d'aigua o sortides de lixiviats, es considera de poca viabilitat tècnica i/o econòmica per les dificultats que introdueix la complexitat del medi epicàrstic de l'entorn amb infinitat de cavitats/discontinuitats de les quals no es pot tenir un coneixement prou detallat. Tot i aquesta consideració, algunes possibles iniciatives de geoenginyeria de cara a impermeabilitzar l'entorn de l'abocador són:
 - Injecció d'impermeabilitzants al fons del vas
 - Injecció d'impermeabilitzants a cavitats subjacents al fons del vas
 - Execució de barreres hidràuliques
 - Execució de pantalles impermeables

- L'extracció de lixiviats un cop ja s'han incorporat a la zona no saturada on es troba l'estructura de drenatge també es considera extremadament difícil per la gran complexitat del medi. La informació aportada per la prospecció magnetotel·lúrica aporta orientació sobre quins sectors de l'abocador podrien ser objecte de treballs pilot.
- La minimització de la càrrega contaminant dels lixiviats dins l'abocador o en conductes càrstics mitjançant tractaments fisicoquímics/biològics planteja dificultats considerables amb motiu de (1) l'ampli espectre de contaminants presents, (2) la dificultat pràctica d'aplicar els tractaments, (3) la magnitud dels volums a tractar, (4) l'existència de processos de combustió a l'interior de l'abocador...
- La minimització de les molèsties per olors a la Falconera, mitjançant un tractament localitzat de gasos es preveu factible i potencialment efectiu; ja en el primer informe (GEOSERVEI, 2019) es va avançar una proposta de prova pilot experimental per a enfocar i ajudar a resoldre el problema.
- Potenciar la col·laboració entre administracions (Nova governança). El conjunt d'entitats públiques amb competències i responsabilitats mediambientals del país, amb la Generalitat de Catalunya al capdavant, haurien de ser coneixedores de la situació de l'abocador del Garraf i de la magnitud de la seva afecció a l'exterior per tal d'implicar-se a tots efectes en la gestió de la seva problemàtica. La situació exigeix un acord interinstitucional que faciliti reconduir els problemes existents i proposi una nova gestió seguint criteris d'una nova governança en la relació entre el medi natural i antròpic.

Girona/Barcelona, juny 2021



Dr. Antoni Freixes i Perich

Director del Projecte la Falconera-Garraf



Joan Solà i Subiranas

Director de Geoservei Projectes i Gestió Ambiental, SL

Referències bibliogràfiques

Geoservei, Projectes i gestió ambiental, SL.

[Referències bàsiques: geologia, carst, hidrologia del carst, hidrodinàmica, hidrogeoquímica, climatologia, termodinàmica, remediació i abocadors]

Agencia Estatal de Meteorología (2021): Proyecciones climáticas para el siglo XXI.

Almela, L., Barraquet, V. i Almela, J. (2019) Nuevos trabajos de topografía en el avenc de l'Esquerrà. Gota a gota, nº17 : 26-33.

Andrieux, C. (1978) Les enseignements apportés par la thermique dans le karst. Le Karst. Son originalité physique. Son importance économique. Réunion AGSO – Colloque de Tarbes.

Ayuntamiento de Barcelona (1972) Informe sobre el proyectado vertedero de basuras en el macizo de Garraf. Laboratorio Municipal. Barcelona.

Bakalowicz, M. (1979 a) *Contribution de la géochimie des eaux a la connaissance de l'aquifère karstique et la karstification*. Tesi doctoral. Paris: Université Pierre et Marie Curie.

Bakalowicz, M. (1981) "Les eaux d'infiltration dans l'aquifère karstique". *8th International Congress of Speleology, Bowling Green, KY, USA*.

Bakalowicz, M. (1979) *Contribution de la géochimie des eaux a la connaissance de l'aquifère karstique et la karstification*. Tesi doctoral. Paris : Université Pierre et Marie Curie.

Bakalowicz, M. (2018) Coastal Karst Groundwater in the Mediterranean: A Resource to Be Preferably Exploited Onshore, Not from Karst Submarine Springs. *Geosciences*, 8, 258.

Baqués, V. (2012). *Diagenesis and fluid-fracture evolution in an intracontinental basin: The Penedes half-graben, western Mediterranean*. Tesi doctoral. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona.

Bakalowicz, M. i Mangin A. (1980) "L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification." *Mém. H. Ser. Soc. Géol. France* 11: 71-91.

Botton, R. (1984) *Étude de certaines modalités de fonctionnement de l'aquifère karstique (zone d'infiltration et zone saturée) sur deux champs de forages nord-montpellierains*. Tesi de 3r cicle. Montpellier : Université des Sciences et Techniques du Languedoc.

Cano, R. i Font, X. (2016) .Estudi hidrodinàmic i hidrogeoquímic de la surgència de la Falconera. VII Trobada d'Estudiosos del Garraf i d'Olerdola. Diputació de Barcelona.

Cervelló, J.M. (2015). El carst de Garraf: la seva evolució a partir del registre sedimentari. Actes de la primera Jornada d'Arqueologia de Sitges (2014) . pàgs 15-27. Coord. i ed. Pere Izquierdo i Tugas. . Consorci del Patrimoni de Sitges. Barcelona.

Cervelló, J.M. (inèdit). Carst i evolució geològica al Garraf.

Cervelló, J.M. i Freixes, A. (1992) El domini càrstic. Història Natural dels Països Catalans. Volum Geologia II. Geomorfologia. Enciclopèdia Catalana, S.A. Barcelona.

Corominas, J. (1997) Perímetre de protecció per a les captacions municipals d'aigua potable de la comarca del Garraf. Estudis i monografies 19. Servei del Medi Ambient. Diputació de Barcelona.

Custodio, E. (1976) Evolución de la calidad del agua de la surgencia litoral de La Falconera en relación con un gran vertedero de basuras en el macizo de Garraf (Barcelona). II Asamblea Nacional de Geofísica y Geodesia.

Custodio, E. (1982) Calidad del agua y protección de los acuíferos karsticos ante la contaminación. Reunión monográfica sobre el Karst de Larra 82. Isaba-Navarra. Publicaciones del Servicio Geológico de la Dirección de Obras Públicas de la Diputación Foral de Navarra.

Eweis, J.B., Ergas, S.J., Chang, D. P.Y. i Schroeder, E. D. (1999) Principios de Biorrecuperación. Mc Graw-Hill/ Interamericana de España. S.A.U.

Faura i Sans M. (1912) En busca del riu soterrani del Garraf. Exploració de l'avenc Font i Sagué. Butlletí del CEC vol 22 núm 205, pàgs 42-57. Barcelona.

Faura i Sans M. (1922) Periodicitat de la Font Santa de Subirats, deu intermitent termal. Butlletí del CEC, vol 32, núm 335, pàgs 381-385. Barcelona.

Faura i Sans M. (1923) Explicació de la fulla núm. 39. Vilanova i Geltrú. Servei del Mapa Geològic de Catalunya. Mancomunitat de Catalunya, Junta de Ciències Naturals de Barcelona.

Faura i Sans M. (1923) Explicació de la fulla núm. 39. Vilanova i Geltrú. Servei del Mapa Geològic de Catalunya. Mancomunitat de Catalunya, Junta de Ciències Naturals de Barcelona.

Fleury, P. (2005) Sources sous-marines et aquiferes karstiques côtiers méditerranéens. Fonctionnement et caractérisation. Université Paris VI- Pierre et Marie Curie.

Freixes, A. (1986) "El carst conglomeràtic experimental de Rellinars: un enfocament sistèmic i hidrogeològic en la recerca del medi càrstic". Barcelona: Universitat de Barcelona.

Freixes, A. (1987) "Características del funcionamiento y la estructura de los sistemas hidrogeológicos karstificados de los conglomerados de la Serra de l'Obac (Depresión terciaria del Ebro)." *Geogaceta* 2: 49-51.

Freixes, A. (1993) "El medio kárstico: de la investigación observacional y experimental a la modelización. Hidrología Subterránea y Migración de Contaminantes". In *Hidrología subterránea y migración de contaminantes*. A. Correig (ed.). Barcelona: Universitat de Barcelona - Institut d'Estudis Catalans: 97-141.

Freixes, A. (1994) "El carst com a sistema". *Curs de Biologia Subterrànea, Museu de Zoologia*. Ajuntament de Barcelona.

Freixes, A. (1995 a) "Carst, entropia i potencial de carstificació". Report intern del Servei Geològic de Catalunya. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques.

Freixes, A. (1995 b) "Equipament instrumental dels sistemes aquífers o conques hidrogeològiques experimentals de Catalunya". Report intern del Servei Geològic de Catalunya. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Institut Cartogràfic de Catalunya.

Freixes, A. (2014) Els aquífers càrstics del Pirineus de Catalunya. Interès estratègic i sostenibilitat. Tesi doctoral. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona.

Freixes, A., Cervelló, J.M., Ramoneda, J. i Martínez, A. (1989) "El karst com a recurs pedagògic". *Segon Symposium sobre l'Ensenyament de les Ciències Naturals, Tarragona*.

Freixes, A., Gourcy, L., i Ramoneda, J. (1997) The Bastareny karstic system. Final Report. "A multidisciplinary global approach of groundwater flows in karstic areas and its consequences for water resources and environment studies" CHRX-CT-0567. Servei de Recursos Hídrics Subterranis i Recerca. Junta d'Aigües de Catalunya. Conselleria de Política Territori i Obres Públiques. Generalitat de Catalunya.

Freixes, A., Monterde, M. i Ramoneda, J. (1993) "Hidrología de los sistemas kársticos del Valle de Arán (Pirineos, Catalunya)". *I Taller Internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Matanzas (Cuba)*. 6-11 de Abril, 1992, Publicaciones de la Universitat Jaume I de Castelló: 131-140.

Freixes, A., Monterde, M. i Ramoneda, J. (1996 b) "Geochemistry of the surface and ground waters of the upper basin of the river Llobregat". *Pirineos* 147-148: 41-59.

Freixes, A., Monterde, M. i Ramoneda, J. (1997) "Tracer tests in the Joèu karstic system (Aran Valley, Central Pyrenees, NE Spain)". In *Tracer Hydrology 97*. A. Kranjc (ed.). Rotterdam, Balkema: 219-225.

Freixes, A., Monterde, M. i Ramoneda, J. (1998 a) "Spring water temperature as a characteristic feature of karst aquifer behaviour. Examples from the Central Pyrenees (NE Spain)". *Hydrogéologie* 1: 31-39.

Freixes, A., Monterde, M. i Ramoneda, J. (1998 b) "The karstification potential of the aquifers in the Val d'Aran (Catalonia)". *Acta Geologica Hungarica* 41(1): 23-39.

Freixes, A., Monterde, M., Morin, J.P. i Ramoneda, J. (1996 a) "Recursos hídricos e implicaciones ambientales del sistema de Aigüeira (Val d'Aran)". *Recursos Hídricos en Regiones Kársticas: exploración, explotación, gestión y medio ambiente, (Vitoria-Gasteiz, 14-17 Octubre, 1996)*.

Freixes, A., Ramoneda, J. i Monterde, M. (1999 a) "Anàlisi i implicacions del fenomen hidrogeològic de captura càrstica del riu Cardener al diapir de Cardona". Report intern del Servei de Recursos Hídrics Subterranis i Recerca. Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Junta d'Aigües de Catalunya.

Freixes, A., Ramoneda, J. i Monterde, M. (2000) "Les apports hydriques souterrains de la Garonne au Val d'Aran (Catalogne). Le système karstique de Joèu". *Hydrogéologie* 3: 59-68.

Freixes, A., Ramoneda, J., Monterde, M. i Morin, J.P. (1998 d) "Sistemes càrstics experimentals de Catalunya: unitats de referència per a la recerca i la gestió hidrològica". *Espais* 44: 53-63.

Freixes, A., Ramoneda, J., Monterde, M. i Rocas, A. (1999 b) "Importancia ecológica de las aguas subterráneas: el ejemplo de los sistemas kársticos de la cabecera del río Llobregat (Pirineo Oriental, Catalunya)". I Congreso sobre caudales ecológicos. Terrassa, Barcelona: 95-109.

Font i Sagué N. (1897) Sota terra. Excursió espeleològica á las Costas de Garraf. La Renaixensa, any I, núm 120. 15 d'agost de 1897, pàgs 1908-1911. Barcelona.

Geoservei (2010) El paper de les activitats de clausura de l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan (Garraf) en els impactes sobre el medi físic i la seva gestió (novembre, 2020).

Geoservei (2018) Estudi hidrogeològic de l'àmbit proper al diposit controlat de la vall de Joan (Garraf). Proposta de xarxa de control piezomètric i de qualitat. Àrea Metropolitana de Barcelona.

Geoservei (2019) Consideracions sobre la gestió de l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan i la seva incidència en la contaminació de l'aqüífer de la Falconera (Garraf) (Juny, 2019).

Geoservei (2019) La qualitat de l'aigua del sistema hidrogeològic del Garraf. Metodologia i estat de situació (juliol 2019).

Geoservei (2019) La surgència d'Aiguadolç i el pou Samitier (sistema hidrogeològic del Garraf). Característiques hidrològiques i contaminació (novembre 2019).

Geoservei (2020) L'impacte ambiental de l'abocador de residus sòlids urbans de la vall de Joan (Garraf) i la seva gestió (novembre 2020).

Guell, E. (1899) Manantial de Garraf. Abastecimiento de Aguas de Barcelona.

Guimerà, J (1982). Estudi estructural de les zones de fractura de Garraf i de Vallcarca (massís de Garraf). Institut d'Estudis Catalans. Arxius de la Secció, LXIV.

ICGC (2017) Mapa geològic de Catalunya. Geotrell I. Mapa geològic. Castelldefels, Vallcarca. 1.25000. Generalitat de Catalunya.

Kresic, N. (2013). Water in Karst. Management, Vulnerability and Restoration. Mc Graw-Hill.

Llopis Lladó, N. (1954). Nociones de Espeleología. Compendios de Investigación. Editorial Alpina. Granollers.

Llopis Lladó, N. (1970) Fundamentos de Hidrogeología Cárstica (introducción a la geospeleología). Editorial Blume. Madrid.

Mangin, A. (1975) Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Tesi doctoral. In Annales de Spéléologie 29(3) : 283-332 ; 29(4) : 495-601 ; 30(1) : 21-124.

Mangin, A. (1978) "Le karst, entité physique, abordé par l'étude du système karstique". Le Karst. Son originalité physique. Son importance économique. Réunion AGSO – Colloque de Tarbes.

Mangin, A. (1982) L'approche systématique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques. Reunión Monográfica sobre el Karst-Larra 82, Isaba-Navarra, 4-11 octubre 1982. Publicaciones del Servicio Geológico de la Dirección de Obras Públicas de la Diputación Foral de Navarra.

Marsaud, B. (1997) Structure et fonctionnement de la zones noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux. Tesi doctoral. Orléans, France : Documents du BRGM 268.

Mazón, J. (2008): Alguns trets climàtics del massís del Garraf, V Trobada d'Estudiosos del Garraf.

Mazón, J. (2008): Anàlisi pluviomètrica del massís del Garraf, V Trobada d'Estudiosos del Garraf.

Montoriol, J. (1966) Las resurgencias de las costas de Garraf. Dritter Intern. Kongr. für Speläologie, V: 43-49. Viena.

Nogués, A. i Couso, C. (2011) Caracterització dels aqüífers del Garraf. Proposta de Gestió. Nabra, Asesoría Hidrogeológica. Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya.

Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050).

Real Decreto 902/2018, de 20 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, y las especificaciones de los métodos de análisis del Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y del Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano. BOE, nº 186, 1 d'agost o de 2018, Sec. I. Pg. 77350.

Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano.. BOE, nº 183, 30 de julio de 2016 Sec. I. Pág. 53106

Rouch, R. (1978) Le système karstique et son unité biologique. Le Karst. Son originalité physique. Son importance économique. Réunion AGSO – Colloque de Tarbes.

Salas, R. (1987) El Malm i el Cretaci inferior entre el Massís de Garraf i la Serra d'Espadà. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona. 345 p.

Servei Meteorològic de Catalunya (2019). Butlletí climàtic mensual. Agost del 2019.

Servei Meteorològic de Catalunya (2019). Butlletí climàtic mensual. Octubre del 2019.

Servei Meteorològic de Catalunya (2020). Butlletí climàtic mensual. Setembre del 2019.

Servei Meteorològic de Catalunya (2020): Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020).

SNO KARST (2020) Un réseau de sites d'observations du karst localisés dans des contextes climatiques, anthropiques, géologiques, géomorphologiques et physiographiques variés. Cnrs-Insu, Karst, Ozcar, Oreme. France.

Terrado, E.J. (2016) L'origen de les traces de contaminació detectades en les aigües dels dos pous d'abastament d'aigua de boca de la urbanització "La Plana Novella" dins el terme municipal d'Ollivella. Ars Geotecnica SL.

Vilaró, F., Custodio, E., Galofré, A., Molist, J., Galmés, A., Villuendas, E. i Esteban, M. (1973) Estudio de las afecciones hidrológicas del vertedero controlado de basuras en el macizo de Garraf. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. Memoria. Excmo. Ayuntamiento de Barcelona.

Hidrogeoquímica bàsica

[Treballs del Laboratori d'Anàlisi de l'AMB, lixiviats, abocador]

Feliubadaló, J. (1991) L'impacte ambiental dels abocadors de residus assimilables als urbans. Mètodes de detecció i correcció. But. Soc. Cat. Cièn. Volum XII. Num.1.

Padilla, N. (2014) Anàlisi del Cicle de Vida de diferents tecnologies de tractament de lixiviats procedents de dipòsits controlats de residus. Treball de fi de Màster. Institut Universitari de Recerca en Ciència i Tecnologies de la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya.

Aceves, M., Huerta, M. (2017) Anàlisi de semivolàtils al lixiviat i mostres de pous de control de la Vall de Joan. Informe Tècnic. Laboratori de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

Aceves, M., Huerta, M. (2018a) Resultats de les analítiques realitzades sobre quatre mostres de l'abocador de Garraf. Informe Tècnic. Laboratori de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

Aceves, M., Huerta, M. (2018b) Estudi dels compostos Orgànics identificats als piezòmetres de control i als lixiviats del Dipòsit de la Vall de Joan i revisió de l'evolució. Informe Tècnic. Laboratori de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

Laboratori de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (2019) Estudi dels resultats obtinguts al PZ4-La Falconera de mostres recollides el 2018. Comparació amb mostres anteriors. Informe Tècnic. Àrea Metropolitana de Barcelona.

Hidrogeoquímica isotòpica

[Grup Maima. Isòtops estables i mineralogia. Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona]

Bottcher, J., O. Strelbel, S. Voerkelius, and H. L. Schmidt. 1990. "Using Isotope Fractionation of Nitrate Nitrogen and Nitrate Oxygen for Evaluation of Microbial Denitrification in a Sandy Aquifer." *Journal of Hydrology* 114 (3-4): 413-24. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(90\)90068-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(90)90068-9).

Brunner, Benjamin, Stefano M. Bernasconi, Jutta Kleikemper, and Martin H. Schroth. 2005. "A Model for Oxygen and Sulfur Isotope Fractionation in Sulfate during Bacterial Sulfate Reduction Processes." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69 (20): 4773-85. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.04.017>.

Castañeda, S. S., R. J. Sucgang, R. V. Almoneda, N. D.S. Mendoza, and C. P.C. David. 2012. "Environmental Isotopes and Major Ions for Tracing Leachate Contamination from a Municipal Landfill in Metro Manila, Philippines." *Journal of Environmental Radioactivity* 110: 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.01.022>.

Clark, I. D., Fritz, P. (1997). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Boca Raton, FL: CRC Press/Lewis Publishers.

Claypool, George E., William T. Holser, Isaac R. Kaplan, Hitoshi Sakai, and Israel Zak. (1980a). "The Age Curves of Sulfur and Oxygen Isotopes in Marine Sulfate and Their Mutual Interpretation." *Chemical Geology* 28 (C): 199-260. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(80\)90047-9](https://doi.org/10.1016/0009-2541(80)90047-9).

———. 1980b. "The Age Curves of Sulfur and Oxygen Isotopes in Marine Sulfate and Their Mutual Interpretation." *Chemical Geology* 28 (C): 199-260. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(80\)90047-9](https://doi.org/10.1016/0009-2541(80)90047-9).

Coplen, Tyler B. 2011. "Guidelines and Recommended Terms for Expression of Stable-Isotope-Ratio and Gas-Ratio Measurement Results." *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 25 (17): 2538-60. <https://doi.org/10.1002/rcm.5129>.

Craig, Harmon. 1961. "Isotopic Variations in Meteoric Waters." *Science* 133 (3465): 1702-3. <https://doi.org/10.1126/science.133.3465.1702>.

Custodio, E., A. Bayo, M. Pascual, and X. Bosch. 1993. "Results from Studies in Several Karst Formations in Southern Catalonia (Spain)." *Hydrogeological Processes in Karst Terranes. Proc. International Symposium & Field Seminar, Antalya, Turkey, 1990*, no. 207: 295-326.

Driessche, A. E.S. Van, A. Canals, M. Ossorio, R. C. Reyes, and J. M. García-Ruiz. 2016. "Unraveling the Sulfate Sources of (Giant) Gypsum Crystals Using Gypsum Isotope Fractionation Factors." *Journal of Geology* 124 (2): 235-45. <https://doi.org/10.1086/684832>.

Fritz, Steven J, Jeffrey D Bryan, F Edwin Harvey, and Darrell I Leap. 1994. "A Geochemical and Isotopic Approach to Delineate Landfill Leachates in an RCRA Study." *Groundwater* 32 (5): 743-50. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1994.tb00915.x>.

Fukada, Teppei, Kevin M. Hiscock, and Paul F. Dennis. 2004. "A Dual-Isotope Approach to the Nitrogen Hydrochemistry of an Urban Aquifer." *Applied Geochemistry* 19 (5): 709–19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2003.11.001>.

Goutal, Nicole, Marilyne Luck, Patrick Boyer, Luigi Monte, Françoise Siclet, and Giacomo Angeli. 2008. "Assessment, Validation and Intercomparison of Operational Models for Predicting Tritium Migration from Routine Discharges of Nuclear Power Plants: The Case of Loire River." *Journal of Environmental Radioactivity* 99 (2): 367–82. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.10.016>.

IAEA/WMO. 2015. "Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Available via. <https://Nucleus.iaea.org/Wiser>." 2015. <http://isohis.iaea.org>.

Lucas, L. L., and M. P. Unterweger. 2000. "Comprehensive Review and Critical Evaluation of the Half-Life of Tritium." *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 105 (4): 541–49. <https://doi.org/10.6028/jres.105.043>.

Mayer, Bernhard, Sandra M. Bollwerk, Tim Mansfeldt, Birgit Hütter, and Jan Veizer. 2001. "The Oxygen Isotope Composition of Nitrate Generated by Nitrification in Acid Forest Floors." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65 (16): 2743–56. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(01\)00612-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00612-3).

Mclvin, Matthew R., and Mark A. Altabet. 2005. "Chemical Conversion of Nitrate and Nitrite to Nitrous Oxide for Nitrogen and Oxygen Isotopic Analysis in Freshwater and Seawater." *Analytical Chemistry* 77 (17): 5589–95. <https://doi.org/10.1021/ac050528s>.

Mengis, Martin, Ulrich Walther, Stefano M. Bernasconi, and Bernhard Wehrli. 2001. "Limitations of Using D18O for the Source Identification of Nitrate in Agricultural Soils." *Environmental Science and Technology* 35 (9): 1840–44. <https://doi.org/10.1021/es0001815>.

Millero, Frank J., Rainer Feistel, Daniel G. Wright, and Trevor J. McDougall. 2008. "The Composition of Standard Seawater and the Definition of the Reference-Composition Salinity Scale." *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 55 (1): 50–72. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2007.10.001>. Mutch, R.D., and John D Mahony. 2008. "A Study of Tritium in Municipal Solid Waste Leachate and Gas." *Fusion Science and Technology* 54 (1): 305–10. <https://doi.org/10.13182/FST08-A1819>.

North, Jessica C., Russell D. Frew, and Barrie M. Peake. 2004. "The Use of Carbon and Nitrogen Isotope Ratios to Identify Landfill Leachate Contamination: Green Island Landfill, Dunedin, New Zealand." *Environment International* 30 (5): 631–37. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.12.006>.

Otero, N., R. Carrey, and Sara Herrero-Martín. 2019. "Estudi Isotòpic de Les Aigües Subterrànies Del Sector Del Garraf, En El Marc de l'estudi per a La Determinació de La Representativitat Hidrogeològica Dels Punts de Control Del Dipòsit de La Vall d'en Joan."

Rivett, Michael O., Stephen R. Buss, Philip Morgan, Jonathan W.N. Smith, and Chrystina D. Bemment. 2008. "Nitrate Attenuation in Groundwater: A Review of Biogeochemical Controlling Processes." *Water Research* 42 (16): 4215–32. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.07.020>.

Robinson, H D, and J R Gronow. 1996. "Tritium Levels in Leachates and Condensates from Domestic Wastes in Landfill Sites." *Water and Environment Journal* 10 (6): 391–98. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1996.tb00070.x>.

Rozanski, K, K Froehlich, and W.G Mook. 2001. "Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle." In *Volume III Surface Water*, edited by W.G Mook, 1–117. IAEA.

Stepmvoort, D.R. Van, and H R Krouse. 1994. "Controls on D18O in Sulphate." In *Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation*, edited by C.N. Alpers and D.W Bowles, 446–80.

Tazioli, Alberto. 2011. "Landfill Investigation Using Tritium and Isotopes as Pollution Tracers." *AQUA Mundi* 18: 83–92. <https://doi.org/10.4409/Am-030-11-0030>.

Vitòria, Laura, Neus Otero, Albert Soler, and Angels Canals. 2004. "Fertilizer Characterization: Isotopic Data (N, S, O, C, and Sr)." *Environmental Science & Technology* 38 (12): 3254–62. <https://doi.org/10.1021/es0348187>.

Widory, David, Emmanuelle Petelet-Giraud, Philippe Négrel, and Bernard Ladouche. 2005. "Tracking the Sources of Nitrate in Groundwater Using Coupled Nitrogen and Boron Isotopes: A Synthesis." *Environmental Science and Technology* 39 (2): 539–48. <https://doi.org/10.1021/es0493897>.

Hidroquímica orgànica

[Grup d'Espectrometria de Masses – Contaminants Orgànics: referències bibliogràfiques de les metodologies analítiques emprades i de l'anàlisi de compostos orgànics en matrius mediambientals]

Persistent organic pollutants (POPs) in sediments from fishing grounds in the NW Mediterranean: Ecotoxicological implications for the benthic fish *Solea* sp. Solé, M., Manzanera, M., Bartolomé, A., Tort, L., Caixach, J. 2013 *Marine Pollution Bulletin* 67(1-2), pp. 158-165.

Validation interlaboratory trial for ISO 12010: Water quality-Determination of short-chain polychlorinated alkanes (SCCP) in water Geiß, S., Schneider, M., Donnevert, G., (...), Bartolome, A., Caixach, J. 2012 *Accreditation and Quality Assurance* 17(1), pp. 15-25.

Analysis of EU Legislated Compounds for Assessing Chemical Status: Main Challenges and Inconsistencies Caixach, J., Bartolomé, A. 2016 *Handbook of Environmental Chemistry* 42, pp. 269-281.

Evolution of Chemical Pollution in Catalan Coastal Sediments :Palanques, A., Caixach, J., Belzunces, M., Bartolomé, A. 2016 *Handbook of Environmental Chemistry* 43, pp. 271-300.

Evaluation of Airborne Organic Pollutants in a Pyrenean Glacial Lake (The Sabocos Tarn) Santolaria, Z., Arruebo, T., Pardo, A., (...), Lanaja, F.J., Urieta, J.S. 2015 ; *Water, Air, and Soil Pollution* 226(11),383.

Occurrence of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in N.E. Spanish surface waters and their removal in a drinking water treatment plant that combines conventional and advanced

treatments in parallel lines Flores, C., Ventura, F., Martín-Alonso, J., Caixach, J. 2013 Science of the Total Environment 461-462, pp. 618-62.

High-resolution mass spectrometric techniques for structural characterization and determination of organic pollutants in the environment (Book Chapter) Cortés-Francisco, N., Caixach, J. 2017 Chromatographic Analysis of the Environment: Mass Spectrometry Based Approaches, Fourth Edition pp. 47-78.

Occurrence of cytostatic compounds in hospital effluents and wastewaters, determined by liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry Gómez-Canela, C., Ventura, F., Caixach, J., Lacorte, S. 2014 Analytical and Bioanalytical Chemistry 406(16), pp. 3801-3814.

Identification of organic pollutants in Ter river and its system of reservoirs supplying water to Barcelona (Catalonia, Spain): A study by GC/MS and FAB/MS Espadaler, I., Caixach, J., Om, J., (...), Pauné, F., Rivera, J. 1997 Water Research 31(8), pp. 1996-2004.

Occurrence of pesticides in Spanish surface waters. Analysis by high resolution gas chromatography coupled to mass spectrometry Planas, C., Caixach, J., Santos, F.J., Rivera, J. 1997 Chemosphere 34(11), pp. 2393-2406.

Priority organic pollutant assessment of sludges for agricultural purposes Abad, E., Martínez, K., Planas, C., (...), Caixach, J., Rivera, J. 2005 Chemosphere 61(9), pp. 1358.

Microbiologia

[Mars, Microbiologia d'aigües relacionades amb la salut. Universitat de Barcelona]

Astals, S., Venegas, C., Peces, M., Jofre, J., Lucena, F., Mata-Alvarez, J. (2012). Balancing hygienization and anaerobic digestion of raw sewage sludge. Water research. 46(19), 6218-6227.

Ballesté E, Belanche LI, Olano D, Tiehm A, Farnleitner AH, Santos R, Oristo S, Blanch AR. 2015. Developing predictive models to overcome the pitfalls of Microbial Source Tracking techniques. Watermicro 2015. 18th International Symposium on Health-related Water Microbiology – IWA. Lisbon.

Ballesté E, Meijer WG. 2015. Identifying the Biological and Geographical Origing of Faecal Contamination. EPA Research Report No 153. 2008-EH-MS-1-SE.

Balleste, E., X. Bonjoch, L. A. Belanche, and A. R. Blanch. 2010. Molecular indicators used in the development of predictive models for microbial source tracking. Appl.Environ.Microbiol. 76:1789-1795.

Ballesté, E.; Pascual-Benito, M.; Martín-Díaz, J.; Blanch, A.R.; Lucena, F.; Muniesa, M, Jofre, J.; García-Aljaro, C. 2019. Dynamics of crAssphage as a human source tracking marker in potentially faecally polluted environments. Water Research, 155, 233-244.

Balleste,E., Garcia-Aljaro,C., and Blanch,A.R. (2018) Assessment of the decay rates of microbial source tracking molecular markers and faecal indicator bacteria from different sources. J Appl Microbiol. 125, 1938-1949.

Ballesté, E., Belanche-Muñoz, L.A., Farnleitner, A.H., Linke, R., Sommer, R., Santos, R., Monteiro, S., Maunula, L., Oristo, S., Tihm A, A., Stange, C., Blanch, A.R., 2020. Improving the identification of the source of faecal pollution in water using a modelling approach: From multi-source to aged and diluted samples. *Water Res.* 171, 115392. doi:10.1016/j.watres.2019.115392.

Belanche, L. A. and A. R. Blanch. 2011. Statistical Approaches for Modeling in Microbial Source Tracking. *Microbial Source Tracking: Methods, Applications, and Case Studies* 207-227.

Blanch AR, Ballesté E, Muniesa M, Stange C, Tihm A, Schuster N, Farnleitner AH, Sommer R, Lindner G, Nunes-Monteiro SP, Santos R, Oristo S, Maunula L, Lucena F. 2015. Selection of workable combinations of Microbial Source Tracking markers to distinguish faecal pollution from more than two origins: an ongoing EU Project. *Watermicro 2015. 18th International Symposium on Health-related Water Microbiology – IWA.* Lisbon.

Blanch, A. R., E. Ballesté, J. Weidhaas, J. Santo Domingo, and H. Ryu. 2016. Methods of Targeting Animal Sources of Fecal Pollution in Water, p. 3.4.4-1-3.4.4-28. In: M. Yates, C. Nakatsu, R. Miller, and S. Pillai (eds.), *Manual of Environmental Microbiology*. Fourth Edition ed. American Society of Microbiology.

Carrey, R., Ballesté, E., Blanch, A.R., Lucena F, F., Pons, P., López, J.M., Rull, M., Sola, J., Micola, N., Fraile, J., Garrido, T., Munné, T., Soler, A., Otero, N., 2020. Combining multi-isotopic and molecular source tracking methods to identify nitrate pollution sources in surface and groundwater. *Water Res.* 116537. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116537>.

Casanovas-Massana, A., M. Gómez-Doñate, D. Sánchez, L. A. Belanche-Muñoz, M. Muniesa, and A. R. Blanch . 2015. Predicting fecal sources in waters with diverse pollution loads using general and molecular host-specific indicators and applying machine learning methods. *Journal of Environmental Management* 151:317-325.

García-Aljaro, C., Ballesté, E., Muniesa, M., Jofre, J., 2017. Determination of crAssphage in water samples and applicability for tracking human faecal pollution. *Microb. Biotechnol.* 10, 1775–1780. doi:10.1111/1751-7915.12841.

Gómez-Doñate, M., Ballesté, E., Muniesa, M., Blanch, A.R., 2012. New molecular quantitative PCR assay for detection of host-specific Bifidobacteriaceae suitable for microbial source tracking. *Appl. Environ. Microbiol.* 78, 5788–95. doi:10.1128/AEM.00895-12.

Gourmelon, M., Caprais, M.P., Segura, R., Le, M.C., Lozach, S., Piriou, J.Y., Rince, A., 2007. Evaluation of two library-independent microbial source tracking methods to identify sources of fecal contamination in French estuaries. *Appl. Environ. Microbiol.* 73, 4857–4866.

Hagedorn, C., A. R. Blanch, and V. J. Harwood. 2011. *Microbial source tracking: methods, applications, and case studies.* Springer Science+ Business Media.

hygienization and anaerobic digestion of raw sewage sludge. *Water Res.* 46, 6218-6227.

International Organization for Standardization, 1984. International Standard ISO 7899/1. Detection and enumeration of fecal streptococci in water. Part 2. Method by membrane filtration.

International Organization for Standardization, 2000a. International Standard ISO 10705-2: Water Quality - Detection and Enumeration of Bacteriophages. Part 2: Enumeration of somatic coliphages.

International Organization for Standardization, 2000b. International Standard ISO 9308-1. Detection and Enumeration of *Escherichia coli* and Coliform Bacteria. Part 1. Membrane Filtration Method.

International Organization for Standardization, 2001. International Standard ISO 10705-4: Water Quality - Detection and Enumeration of Bacteriophages. Part 4: Enumeration of bacteriophages infectin *Bacteroides fragilis*.

Jofre, J., Blanch, A.R., Lucena, F., and Muniesa, M. 2014. Bacteriophages infecting *Bacteroides* as a marker for microbial source tracking. *Water Res* 55C: 1-11.

Muniesa, M., Lucena, F., Blanch, A.R., Payan, A., Jofre, J.. 2012. Use of abundance ratios of somatic coliphages and bacteriophages of *Bacteroides thetaiotaomicron* GA17 for microbial source identification. *Water Res.* 46, 6410-6418.

Ruiz-Hernando, M., Martín-Díaz, J., Labanda, J., Mata-Alvarez, J., Llorens, J., Lucena, F., Astals, S.. 2014. Effect of ultrasound, low-temperature thermal and alkali pre-treatments on waste activated sludge rheology, hygienization and methane potential. *Water Res.* 61, 119-129.

Magnetotel·lúrica

Beamish D, Travassos JM (1992) The use of the D+ solution in magnetotelluric interpretation. *Journal of Applied Geophysics* 29:1-19.

Chave, AD and AG Jones (Editors) (2012) *The Magnetotelluric Method: Theory and Practice*. Cambridge University Press, ISBN: 9780521819275.

Freixes A (1989) El karst en las Cordilleras Costeras Catalanas. In Durán y López-Martínez, *El karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología. 4: 145-149. Madrid.

Friedrichs B (2003) MAPROS, Magnetotelluric processing software (Metronix). User manual.

Kelbert A, Meqbel N, Egbert G, Tandon K (2014) ModEM: A modular system for inversion of electromagnetic geophysical data. *Computers and Geosciences*. 66:40-53. doi:10.1016/j.cageo.2014.01.010.

McNeice G, Jones AG (2001) Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data. *Geophysics* 66, 158-173.

Panareda JM (1986) *Descobrim Garraf*. Diputació de Barcelona. Institute de Ciències de l'Educació de la Universitat de Barcelona. Col·lecció Pau Vila. N° 6. 163 pp. Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.

Ramalho E, Dill AMM, Rocha R (2012) Assessment of the leachate movement in a sealed landfill using geophysical methods. *Environmental Earth Sciences*. 68. 10.1007/s12665-012-1742-8.

Rodi W, Mackie RL (2001) Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion, *Geophysics*, 66, 174-187.

Yoon GL, Oh M, Park J (2002) Laboratory study of landfill leachate effect on resistivity in unsaturated soil using cone penetrometer. *Environmental Geology*. 43. 18-28. 10.1007/s00254-002-0649-1.