

Treball de Fi de Grau de
Ciències Ambientals

Bellaterra, febrer del 2019

Origen i efectes dels drenatges àcids a l'alta muntanya. El cas de la capçalera del riu Freser.



Autors:

Miquel Jiménez Moya

Eduard Madaula Izquierdo

Oscar Molina García

Tutors:

Mario Zarroca Hernández

Roser Maneja Zaragoza

Jordi Garcia-Orellana

Origen i efectes dels drenatges àcids a l'alta muntanya. El cas de la capçalera del riu Freser.

Autors:

Miguel Jiménez Moya, Eduard Madaula Izquierdo i Òscar Molina García.

Tutors:

Mario Zarroca Hernández, Roser Maneja Zaragoza i Jordi Garcia-Orellana.

Bellaterra, Barcelona. Febrer 2019.

Universitat Autònoma de Barcelona.

Font de la imatge de la portada: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.



Es permet la reproducció total o parcial i la comunicació pública de l'obra, sempre que no sigui amb finalitats comercials, i sempre que es reconegui l'autoria de l'obra original. No es permet la creació d'obres derivades.

Cita recomanada:

Jiménez Moya M., Madaula Izquierdo E. i Molina García O. (2019). Origen i efectes dels drenatges àcids a l'alta muntanya. El cas de la capçalera del riu Freser. Treball de Fi de Grau. Universitat Autònoma de Barcelona.

“Si mirem cada problema per separat, ja sigui l’escassetat d’aigua, el canvi climàtic o la pobresa -i els abordem de la mateixa manera-, les solucions que se’ns acudeixin seran de curt termini, sovint oportunistes, “pedaços” que no serveixen per solucionar els desequilibris més profunds.”

“La revolució necessària” (2008), Peter Senge.

Agraïments

Aquest projecte ha estat possible gràcies a la col·laboració de diferents persones i entitats. En primer lloc volem donar un especial agraïment als nostres tutors Mario Zarroca, Roser Maneja i Jordi Garcia-Orellana per la conducció realitzada durant el transcurs del treball, pel recolzament i l'ajut oferts en tot moment, i per les hores de dedicació.

També volem agrair al professor Rogelio Linares l'oportunitat brindada de participar en aquest projecte i de poder realitzar el treball final de grau sobre aquesta temàtica. Volem donar gràcies també el professor Josep Maria Alcañiz per la seva col·laboració i assessorament amb els aspectes del treball referents a les ciències del sòl. Donar les gràcies al director del Parc Natural de les Capçales del Ter i del Freser, Santi Farriol, per facilitar-nos l'accés a l'àrea d'estudi per mitjà del cremallera de Núria.

Finalment, agrair a la Universitat Autònoma de Barcelona i a l'equip de coordinadors de l'assignatura de treball de final de grau de ciències ambientals per gestionar i fer possible aquest treball.

Amb el suport de:



Resum executiu

Aquest projecte estudia l'origen dels drenatges àcids a l'alta muntanya pirinenca, concretament a la vall de la Coma de l'Embut, a la capçalera del riu Freser. La detecció d'aquest fenomen en diversos punts del Pirineu, al llarg de les últimes dues dècades, ha generat la necessitat de caracteritzar-lo a causa de l'amenaça que suposa. El principal símptoma d'aquesta alteració hidroquímica és la precipitació de compostos blanquinosos a la llera dels torrents. En el context actual de canvi Global l'alta muntanya ha adquirit un elevat valor natural, per la seva riquesa paisatgística i ecològica, que es pot veure amenaçat per la degradació de la qualitat de l'aigua.

Per tal de determinar la percepció social sobre els espais d'alta muntanya, es realitzen enquestes a la població local i als visitants del Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser amb preguntes enfocades a l'evolució de les activitats econòmiques a la regió i els efectes en la salut, la percepció de la qualitat de l'aigua i l'afectació del canvi climàtic als espais d'alta muntanya.

La metodologia enfocada a determinar l'origen dels drenatges àcids consta d'anàlisis hidroquímics de les masses d'aigua, de les pàtines blanques que precipiten a la llera del riu com a conseqüència d'aquest fenomen i dels sòls propers a la zona on es detecten els drenatges. El seu origen en relació al canvi climàtic s'estudia mitjançant l'estudi de fotografies aèries del període 1946-2016 utilitzant com a indicador la presència de precipitats blancs a la llera dels torrents. Per a caracteritzar els efectes en els ecosistemes dels drenatges àcids, es realitza un inventari dels hàbitats presents a la zona, i es compara la composició química de les masses d'aigua de la zona amb les guies de qualitat d'aigua de la Columbia Britànica (Government of British Columbia, 2018), que donen valors generals d'ecotoxicitat per a una gran quantitat de components químics de l'aigua. Els efectes en la salut pública es determinen mitjançant la bibliografia existent sobre toxicologia humana dels components químics que es troben a les masses d'aigua de la zona.

Els resultats indiquen que l'origen dels drenatges àcids es troba en les característiques geomorfològiques i litològiques de la zona. La mineralogia de la roca és determinant com a font de l'acidesa i els metalls pesants que es troben a les surgències d'aigua àcida, mentre que és necessari un grau important de porositat secundària de la roca per generar les condicions oxidants que possibilitin l'oxidació dels sulfurs. En aquest cas, la porositat és a causa de grans moviments en massa, al peu dels quals es troben les surgències àcides. Tanmateix, l'augment en la intensitat d'aquests processos de drenatge àcid en els últims anys suggereix una relació amb el canvi climàtic, fet que corrobora també la bibliografia consultada.

Els efectes en la salut pública i els ecosistemes són molt limitats actualment, destacant els efectes en el medi aquàtic d'alguns metalls pesants i la presència d'arsènic, en concentracions superiors a l'establerta per la llei d'aigües de consum humà (RDL 140/2003, de 7 de febrer), a les fonts de Núria. No obstant, en un futur, les perspectives de canvi climàtic impliquen una generalització dels processos de drenatge àcid a l'alta muntanya pirinenca, augmentant la seva extensió i intensitat. Els possibles efectes són importants, amb una degradació de la qualitat d'aigua que posaria en perill els valors naturals que, com corroboren les enquestes, s'atribueixen a l'alta muntanya per part de la societat.

Es consideren i proposen els drenatges àcids com a indicadors del canvi climàtic, ja que en contrast amb les importants variacions interanuals del clima a la regió mediterrània, segueixen una tendència climàtica a gran escala, pel que la seva detecció pot implicar un augment en la freqüència i intensitat de les sequeres i en la temperatura.

Índex

1. Antecedents	1
1.1. El canvi climàtic a la regió Mediterrània	1
1.1.1. El canvi climàtic als Pirineus	2
1.2. Els processos de drenatge àcid	3
1.3. Els drenatges àcids naturals a les capçaleres de les valls Pirinenques	4
1.3.1. Drenatges àcids a la capçalera de la Vallferrera	4
1.3.2. Drenatges àcids a altres zones del Pirineu	5
2. Justificació del projecte i objectius	6
2.1. Justificació del projecte	6
2.2. Objectius del projecte	8
3. Àrea d'estudi	9
3.1. Context geogràfic	9
3.1.1. Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser	10
3.2. Context geològic.....	11
3.2.1. Introducció	11
3.2.2. Estratigrafia	12
3.2.3. Tectònica	14
3.2.4. Mineralogia	14
3.2.5. Geomorfologia	15
3.3. Clima.....	17
3.4. Medi biòtic	18
3.4.1. Flora.....	18
3.4.2. Fauna	22
3.5. Medi social i canvi Global	25
4. Metodologia	27
4.1. Esquema metodològic.....	27
4.1. Estudis sociològics	28
4.1.1. Enquestes	28
4.2. Treball de camp.....	28
4.1.1. Campanya de reconeixement	28
4.1.2. Campanyes de mostreig	29
4.2. Treball de laboratori.....	30
4.2.1. Anàlisi de sòls	30
4.2.2. Subcontractació d'anàlisis	31

4.3. Treball de gabinet.....	32
4.3.1. Treballs cartogràfics	32
5. Resultats	33
5.1. Resultats de les enquestes	33
5.1.1. Resultats de les enquestes als visitants	33
5.1.2. Resultats de les enquestes a la població local	34
5.2. Caracterització hidroquímica de les masses d'aigua.....	35
5.3. Caracterització dels precipitats blancs.....	38
5.3.1. Reconeixement i descripció dels precipitats blancs.....	38
5.3.2. Anàlisi dels precipitats blancs	39
5.4. Caracterització dels sòls	41
5.5. Resultats d'anàlisis cartogràfics	43
5.5.1. Cartografia d'hàbitats.....	43
5.5.2. Fotointerpretació a partir d'imatges aèries	46
6. Discussió.....	52
6.1. Valoració sobre els canvis d'usos dels espais d'alta muntanya en un context de canvi Global i com els percep la població local i visitants	52
6.2. Identificació dels factors de tipus geològic i hidrogeològic que determinen el procés de drenatge àcid.....	54
6.3. Avaluació de la potencial toxicitat dels elements metàl·lics presents als drenatges àcids per a la salut pública i els ecosistemes	58
6.3.1. Toxicitat per als ecosistemes	58
6.3.2. Toxicitat per a la salut pública.....	60
6.4. Discussió sobre l'evolució temporal del procés i la seva possible relació amb el canvi climàtic	64
7. Conclusió	67
8. Propostes de millora	68
9. Programació de treball.....	73
10. Pressupost	74
11. Petjada de carboni	75
12. Referències.....	76
12.1. Bibliografia	76
12.2. Webgrafia.....	81

Index de figures

Figura 1. Anomalies de temperatura respecte el valor de referència 1961-1990.....	2
Figura 2. Anomalies de precipitació respecte el valor de referència 1961-1990	3
Figura 3. Pàtines blanques a la llera del torrent de la Coma de l'Embut.....	6
Figura 4. Situació geogràfica de l'àrea d'estudi. Mapa base ortofotografia de l'any 2010, resolució 25 cm per píxel.	9
Figura 5. Situació geogràfica de l'àrea d'estudi dins la Península Ibèrica.	10
Figura 6. Situació geogràfica de l'àrea d'estudi dins Catalunya	10
Figura 7. Àrea ocupada pel Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser (verd)..	11
Figura 8. Mapa geològic de l'àrea d'estudi.	12
Figura 9. Columna estratigràfica de la zona de Núria-Puigmal.....	12
Figura 10. A) Alternança de pissarres i esquistos de la formació Jujols. B) Marbres de la Formació Canavelles.	13
Figura 11. Gneis de Núria.....	13
Figura 12. Roques moltonades a la vall de la Coma de l'Embut.	15
Figura 13. Dipòsits morrènics al llit de la vall de la Coma de l'Embut.	15
Figura 14. Gespes encoixinades del Parc Natural de les capçaleres del Ter i el Freser.....	16
Figura 15. Glacera rocallosa de la vall de la Coma de l'Embut.	16
Figura 16. Fracturació en forma de sackung.....	17
Figura 17. Engolidor de la Coma de l'Embut.....	17
Figura 18. Brollador de la vall de la Coma de l'Embut.	17
Figura 19. <i>Estatge subalpí format per l'associació de pi negre amb neret</i>	19
Figura 20. <i>Zona de transició entre l'estatge subalpí i alpí a la Vall de la Coma de l'Embut.</i>	19
Figura 21. <i>Prats alpins de festuca supina (Festuca airoides) de l'estatge alpí.</i>	21
Figura 22. <i>Torrent de la Coma de l'Embut amb presència d'esfagnes (Sphagnum sp.)</i>	22
Figura 23. Isards a la Vall de la Coma de l'Embut..	23
Figura 24. Exemplar de mufló a la vall de la Coma de l'Embut.....	23
Figura 25. <i>Vista del Santuari de Núria des del camí de Fontalba a Núria.</i>	26
Figura 26. Esquema metodològic.....	27
Figura 27. Mapa del itinerari realitzat durant les sortides de camp.....	29
Figura 28. Secció de sòl a la vall de la Coma de l'Embut.....	30
Figura 29. Ampliació 2 (Figura 1 de l'Annex). Estacions de mostreig a la vessant sud de la capçalera amb dades de pH i EC. NM7 resulta de la confluència de NM8Z i NM9. Mapa base ortofoto de l'any 2010, resolució 25 cm per píxel..	37
Figura 30. Ampliació 1 (Figura 1 de l'Annex). Estacions de mostreig a la vessant sud de la capçalera amb dades de pH i EC. Mapa base ortofoto de l'any 2010, resolució 25 cm per píxel.	37
Figura 31. Zona de precipitació de la capçalera del torrent de la Coma de l'Embut.....	39
Figura 32. A) Llera del torrent afectat per la precipitació de pàtines en condicions seques. B) Pàtines amb poc gruix de recobriment. C) Pàtines amb molt gruix de recobriment, pràcticament centimètric en algun punt. D) Molses afectades per les pàtines.....	40
Figura 33. Imatges al microscopi electrònic de rastreig (MER) dels precipitats blancs. A) correspon a la mostra 1, i es poden observar filaments orgànics recoberts pel precipitat d'alumini. B) correspon a la mostra 2, i els cristalls que s'observen són molt probablement de carbonat de calci. A la imatge corresponent a D) és visible la formació d'esquerdes en l'hidròxid d'alumini deshidratat.	40
Figura 34. Difractogrames de raigs X i taules corresponents a les mostres 1, 2 i 3.....	41

Figura 35. A) Sòl NM13. B) Sòl NM8Z. C) Sòl NM8Y.	42
Figura 36. Mapa de la zona d'estudi amb la cartografia d'hàbitats a Catalunya (CHC50 v2)	43
Figura 37. Mapa de la zona d'estudi amb la cartografia d'hàbitats d'interès comunitari de Catalunya (CHIC50 v2 2012).....	44
Figura 38. Situació geogràfica de l'àrea on s'ha realitzat l'estudi de fotointerpretació. Mapa base ortofotografia de l'any 2010, resolució 25 cm per píxel. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Datum 31N ETRS89.	47
Figura 39. Ortofotos en blanc i negre de la capçalera de la Vall de la Coma de l'Embut de l'any 1946-1947, amb resolució 100 cm per píxel, a escala 1:5000, de l'any 1955-1956 i 1988 amb resolució 50cm/píxel, a escala 1:5000.	48
Figura 40. Ortofotos de la capçalera de la Vall de la Coma de l'Embut de l'any 1996, 2002 i 2005, amb resolució 50 cm per píxel, a escala 1:5000.....	49
Figura 41. Ortofotos de la capçalera de la Vall de la Coma de l'Embut de l'any 2008, 2009 i 2010, amb resolució 50 cm per píxel, a escala 1:5000..	50
Figura 42. Ortofotos de la capçalera de la Vall de la Coma de l'Embut de l'any 2014, 2015 i 2016, amb resolució 50 cm per píxel, a escala 1:5000..	51
Figura 43. Diagrama de Pourbaix per a l'alumini i esquema de la precipitació d'hidròxids d'alumini.....	55
Figura 44. Esquema general dels vessants de la capçalera de la vall de la Coma de l'Embut, amb els moviments en massa i la localització de les diferents surgències i zona de precipitació.....	57
Figura 45. Dades registrades a l'estació meteorològica de Núria de precipitació acumulada i de temperatura mitjana anual del 1999 al 2018..	65
Figura 46. Esquema de les línies estratègiques que es realitzen per dur a terme les propostes de millora.	68

Index de taules

Taula 1. Objectius generals.....	8
Taula 2. Objectius específics	8
Taula 3. Canvis en la superfície dels municipis incloses en espais d'interès natural a partir de la creació del parc natural. Font: Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya.....	10
Taula 4. <i>Dades generals dels municipis inclosos al Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser. QUE: Queralbs, MOLL: Molló, PAR: Pardines, PLA: Planoles, RDF: Ribes de Freser, SET: Setcases, TOS: Toses, VIL: Vilallonga de Ter.</i> Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'IDESCAT (2014).....	25
Taula 5. Dades de pH, EC, T i concentració de metalls de la campanya de juliol del 2018. Resum de la taula 1 de l'Annex.....	36
Taula 6. Anàlisi estadístic realitzat a partir del mètode AHC.....	38
Taula 7. Resultats de l'anàlisi per ICP-MS després de diluir la mostra de precipitats blancs en 100 mL de dissolució àcida.....	41
Taula 8. Valors de les directius de qualitat d'aigua per a l'alumini, el cobalt, el níquel i l'arsènic (Government of British Columbia, 2018). *(duresa $\leq 90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$).	59
Taula 9. Valors paramètrics per al pH, l'alumini, el manganès, el níquel i l'arsènic	60
Taula 10. Estacions de mostreig que superen els valors paramètrics per al pH, l'alumini, el manganès, el níquel i l'arsènic. Vermell: No compleix els valors paramètrics. Verd: Compleix valors paramètrics. Gris: No hi ha dades.	61
Taula 11. Fitxa 1 de propostes de millora.....	69
Taula 12. Fitxa 2 de propostes de millora.....	70
Taula 13. Fitxa 3 de propostes de millora.....	70
Taula 14. Fitxa 4 de propostes de millora.....	71
Taula 15. Fitxa 5 de propostes de millora.....	71
Taula 16. Fitxa 6 de propostes de millora.....	72
Taula 17. Fitxa 7 de propostes de millora.....	72

1. Antecedents

Durant els últims segles, l'activitat humana ha estat modificant profundament els sistemes terrestres. El creixement econòmic, la millora de les condicions de vida, el creixement demogràfic i el desenvolupament tecnològic han generat canvis en els usos del sòl, una intensificació dels cicles de nutrients i canvis en els cicles hidrològics, la composició atmosfèrica i la distribució d'espècies (Antrop, 1997). Aquest conjunt de canvis fruit de la interacció entre els medis físic, biològic i químic amb el medi socioeconòmic es coneix com a canvi Global. És per tant, un fenomen molt ampli, que requereix un estudi interdisciplinari. El canvi climàtic és una de les dimensions del canvi Global, possiblement, la més popular i present a les agendes polítiques.

Són diversos els estudis que vinculen el canvi climàtic, de manera directa o indirecta, amb un augment dels processos de drenatge àcid (Nordstrom, 2009; Anawar, 2013; Cánovas, 2008). Les dades i conclusions exposades en aquests estudis demostren com en períodes intensos de sequera la concentració de metalls i metal·loides potencialment tòxics, sulfats i acidesa augmenten a causa de la menor proporció d'aigua d'escorrentia superficial i subsuperficial que pugui diluir aquests elements. D'altra banda, quan hi ha precipitacions intenses després d'un període de sequera, es detecten pics de concentració de metalls als cursos d'aigua en un procés conegut com a "*first flush*" (Nordstrom, 2009).

Tenint en compte que algunes de les conseqüències més importants del canvi climàtic a la regió Mediterrània seran precipitacions irregulars, escassetat d'aigua i una major incidència de les sequeres i les inundacions, és possible predir una major intensitat dels processos de drenatge àcid (IPCC, 2018). D'altra banda, un increment de la temperatura provocarà un augment en la velocitat de la reacció d'oxidació dels sulfurs, que és la causa dels drenatges àcids (Anawar, 2013).

1.1. El canvi climàtic a la regió Mediterrània

El clima Mediterrani està caracteritzat, conceptualment, per hiverns temperats i humits i estius càlids i secs, i es dona a l'oest dels continents entre 30º i 40º de latitud (Lionello et al., 2006).

La regió Mediterrània presenta una sèrie de particularitats que la fan única en quant al seu clima. Es troba en una zona de transició entre el clima àrid del nord d'Àfrica i el clima temperat i plujós d'Europa central. Està afectada per múltiples interaccions entre els processos de latitud mitjana i tropical. Alguns processos climàtics planetaris com El Niño-Oscil·lació del sud (ENOS), que pot afectar a les precipitacions de primavera i tardor a la Península Ibèrica, o els monsons asiàtics, que poden condicionar les variacions del clima estival al Mediterrani, influeixen a la regió (citats a Giorgi et al., 2008). D'altra banda, factors intrínsecs a la regió com la presència d'una gran massa d'aigua (el mar Mediterrani) i la complexa topografia, línia de costa i coberta vegetal de la zona indueixen processos que també influeixen en el clima (citats a Giorgi et al., 2008). Aquesta complexa interacció de processos a diferents escales resulta en un clima amb una gran diversitat de característiques i variabilitat espacial (Lionello et al., 2006).

Per tots aquests motius, petites variacions en els processos climàtics a escala mundial poden implicar grans canvis en el clima Mediterrani. Giorgi (2006) identificà la regió Mediterrània com un "hot-spot" (punt calent) en quant a les futures prediccions del canvi climàtic (citats a Giorgi et al., 2008)

Les últimes i més avançades simulacions en quant a l'evolució del clima mediterrani durant el segle XXI indiquen, de manera general, un augment generalitzat de la temperatura i una disminució de la precipitació. A l'època estival, quan més marcats seran els efectes del canvi climàtic, la temperatura pot augmentar uns 4-5°C respecte l'actual i la precipitació pot disminuir de l'ordre del 25-30%. La variabilitat del clima a nivell interanual serà major, tenint en compte que el clima Mediterrani ja presenta molta variabilitat actualment, pel que els episodis de sequera i calor extrema seran més freqüents. Tots aquests canvis, units amb un previsible augment del nivell del mar, tindran uns efectes molt negatius en els recursos d'aigua, els ecosistemes marins i terrestres i les activitats humanes, des de l'agricultura fins al turisme (Giorgi et al., 2008).

1.1.1. El canvi climàtic als Pirineus

Al Pirineu, la zona geogràfica on s'emmarca l'àrea d'estudi del present projecte, l'impacte del canvi climàtic és estudiat per l'Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic (OPCC), que es descriu com una iniciativa transfronterera en la qual hi participen Meteo France, la Agència Estatal de Meteorologia, el Servei Meteorològic de Catalunya, el Centre d'Estudis de la Neu i la Muntanya d'Andorra i la Universidad de Zaragoza. L'objectiu d'aquest és realitzar un seguiment i comprendre el procés de canvi climàtic als Pirineus.

Els estudis que resulten d'aquest projecte han confeccionat diferents sèries climàtiques, de temperatura i precipitació, en el període de temps 1950-2010. Tot i la dificultat per obtenir dades fiables en tot aquest interval, especialment en zones d'alta muntanya (a més de 1500m s.n.m.), es conclou que:

- La temperatura mitjana en el període 1950-2010 ha augmentat 0,2°C per dècada i un total de 1,2°C. Aquest augment es dona especialment a la mitjana de temperatures màximes mentre que no es nota tant a la mitjana de temperatures mínimes. Fins l'any 1980 les anomalies de temperatura eren negatives, però des d'aquest any les anomalies han sigut sistemàticament positives i ascendents fins al 2010 (Figura 1).

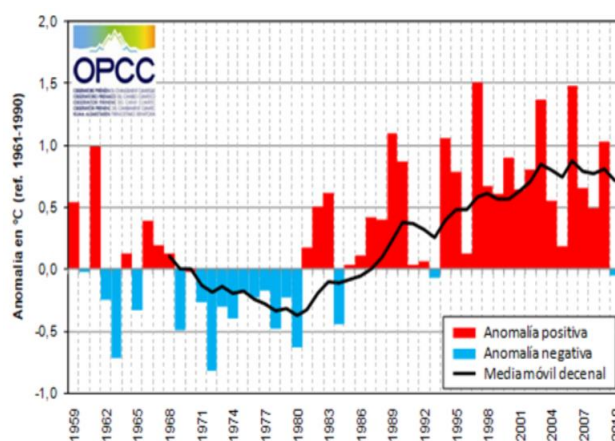


Figura 1. Anomalies de temperatura respecte el valor de referència 1961-1990. Font: OPCC

- Les precipitacions han disminuït durant el període 1950-2010 al voltant d'un 2,5% per dècada, i la freqüència dels episodis de sequera ha augmentat. Tot i això, la tendència de les precipitacions presenta una gran variabilitat entre anys i dècades.

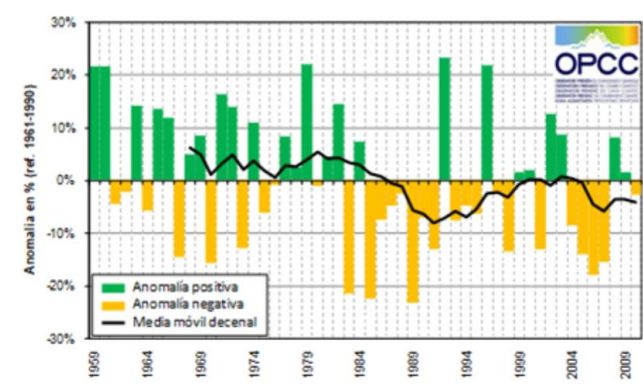


Figura 2. Anomalies de precipitació respecte el valor de referència 1961-1990. Font: OPCC.

1.2. Els processos de drenatge àcid

Els drenatges àcids són reconeguts com a processos generadors d'un elevat impacte ambiental (Akcil i Koldas, 2006). És un procés que es dona quan sulfurs, minerals molt estables i insolubles en condicions reductores, es veuen exposats a condicions d'oxidació. A la superfície del mineral s'esdevé un complex mecanisme de reacció que s'inicia amb l'oxidació dels sulfurs a sulfats generant acidesa i alliberant metalls i metal·loides com ferro, alumini, arsènic, cadmi, coure, cobalt, níquel, plom i zinc (Olías et al., 2008). Els sulfats i aquests metalls són solubles en les condicions de pH que es produeixen, pel que l'aigua que s'infiltra per aquests materials resulta enriquida en aquests elements potencialment tòxics (Grande et al., 2010).

La cinètica d'aquestes reaccions és extremadament lenta, però les bacteris acidòfils quimiolitòtrofs catalitzen les reaccions. En ambients molt àcids aquestes bacteris proliferen, produint encara més acidesa en un procés de retroalimentació (Olías et al., 2008). Un augment de temperatura també ha demostrat accelerar la velocitat de les reaccions d'oxidació de sulfurs (Anawar, 2013).

Es distingeix entre AMD (*Acid Mine Drainage*), generats per la mineria que exposa grans quantitats de sulfurs a condicions aeròbiques a partir de la formació d'escombreres, la construcció de galeries i mines a cel obert o basses de residus, i ARD (*Acid Rock Drainage*), un terme més general que inclou els AMD i els drenatges àcids naturals. Els drenatges àcids naturals es deuen a la meteorització de sulfurs que de manera natural són presents al substrat en una proporció suficientment elevada. Un cas molt important de drenatges àcids naturals es troba a la Península Ibèrica, més concretament a la faixa pirítica ibèrica. Aquesta zona és molt rica en jaciments de sulfurs massius que afloren a les conques del riu Tinto i Odiel. Tot i que s'ha responsabilitzat dels drenatges àcids a la mineria, que s'ha practicat a la zona des de fa 4500 anys (Olías et al., 2008), altres estudis indiquen que la causa major de l'acidificació d'aquestes conques podria ser en gran part natural, a causa de l'activitat de l'ecosistema subsuperficial de bacteris quimiolitòtrofs (Gonzalez-Toril, 2003).

Els drenatges àcids són una potencial amenaça per al medi ambient, ja que poden afectar les aigües superficials, les aigües subterrànies, la qualitat del sòl i poden erradicar la flora i la majoria d'organismes que viuen als sòls i al medi aquàtic (citats a Anawar, 2013). Més concretament, la gravetat de la contaminació pels metalls pesants que s'alliberen al medi es deu a tres causes fonamentals, segons Grande et al., 2010:

- Els metalls pesants no són biodegradables, pel que resten en un medi contaminat determinat fins que són transportats a un altre.

- Són elements susceptibles a la bioacumulació, ja que els organismes no poden eliminar-los del seu organisme, i a la biomagnificació quan es transmeten a espècies situades a nivells superiors en la cadena tròfica. Així, s'assoleixen concentracions molt més elevades en els organismes del medi contaminat que en el propi medi contaminat.
- Les concentracions de metalls pesants en medis contaminats per drenatges àcids poden superar els llindars de toxicitat per a metalls essencials i no essencials.

A causa de la gran activitat d'algunes mines, els AMD tenen una gran extensió i dificultat de resolució, i uns costos molt elevats de remediació.

1.3. Els drenatges àcids naturals a les capçaleres de les valls Pirinenques

La naturalesa dels drenatges àcids a les capçaleres de les valls Pirinenques, a cotes per sobre dels 2000-2500m s.n.m., sembla respondre a una dinàmica natural. Si bé es tracta de conques amb freqüents explotacions mineres històriques, no es té constància que aquestes activitats es produïssin de manera significativa a aquestes alçades. Els indicis disponibles indiquen que aquests processos de drenatge àcid natural s'han accentuat durant l'última dècada (IGC, 2012; comentari personal R. Linares, C. Roqué i M. Zarroca), en una possible relació al procés de canvi climàtic.

1.3.1. Drenatges àcids a la capçalera de la Vallferrera

El Noguera de Vallferrera és el primer riu del qual es va tenir constància d'una afectació per drenatges àcids naturals al Pirineu. L'any 2005, uns precipitats blanquinosos van ser detectats pels guardes del Parc Natural de l'Alt Pirineu als còdols del riu Noguera de Vallferrera, en el tram comprès entre el circ de Baiau i el Pla de Boet. A partir de l'any 2008 aquestes pàtines es van fer més evidents i van continuar estenent-se al llarg de la llera del riu, afectant de manera important a la fauna i flora.

El primer estudi es realitzà l'any 2010, quan l'ACA duu a terme una inspecció del medi per poder identificar de manera preliminar l'origen dels precipitats. Es realitzen anàlisis hidroquímics que evidencien el pH àcid de l'aigua i una concentració elevada d'alumini i níquel. També s'analitzen els precipitats blanquinosos sobre els còdols, però els resultats de la seva composició no són conclouents.

En aquest marc, l'Institut Geològic de Catalunya (IGC) inicià un estudi per tal de caracteritzar el fenomen. Aquest estudi es troba dividit en tres parts:

1. Caracterització hidroquímica de les aigües superficials i caracterització geoquímica regional a la capçalera del riu Noguera de Vallferrera (Circ de Baiau - Pla de Boet).
2. Caracterització geoquímica dels materials geològics de la zona de capçalera del riu Noguera de Vallferrera (Circ de Baiau-Pla de Boet).
3. Les pàtines blanques de la capçalera de la Noguera de Vallferrera. Composicions, processos i efectes associats.

En primer lloc, segons les anàlisis que es duen a terme a la primera part de l'estudi, les aigües dels estanys Baiau gran i Baiau petit tenen una composició elevada en alumini, de 2,5 i 2,6 mg·L⁻¹, que sobrepassa els límits de potabilitat per al consum humà establerts pel Reial Decret 140/2003, de 0,2 mg·L⁻¹ per a l'alumini. També sobrepassen el límit de potabilitat la concentració de níquel, de 0,09 mg·L⁻¹ quan el límit és 0,02 mg·L⁻¹, de manganès, de 0,14 i 0,15 mg·L⁻¹ quan el límit és 0,05 mg·L⁻¹ i de ferro, de <0,05 mg·L⁻¹ quan el límit és 0,02 mg·L⁻¹.

S'observa que les pàtines blanques apareixen a la confluència d'aigües procedents del la subconca del circ de Baiau i l'Estanyet de Baiau, amb aigües de pH entre 4,4 i 5 i conductivitats relativament altes, amb les aigües procedents de la subconca d'Escorbes i Escorbes II, de pH entre 6,4 i 6,9 i conductivitats més baixes. La barreja d'aquestes aigües augmenta el pH de les aigües procedents de Baiau de manera que, segons l'equilibri estable en les fases d'un sistema electroquímic aquós per a l'alumini (a 25°C), l'alumini passa d'estar dissolt en l'aigua a precipitar en forma d'hidròxid d'alumini. Concretament, segons Nordstrom (2011), l'alumini precipita en aigües àcides quan aquestes són neutralitzades o diluïdes a pH superiors o iguals a 4,5-5, ja que la pK_1 de la hidròlisi del Al^{3+} és 5. En aquest punt precipiten compostos blanquinosos en forma de pàtines d'aspecte amorf al microscopi. També s'han detectat, aigües avall, altres punts de descàrrega subterrània amb pH àcid, com a la Font de Mossèn Batlle, però no es produeixen precipitats.

Els resultats de l'anàlisi de les pàtines blanques dona una alta composició en alumini (en forma d'hidròxids d'alumini) i elements traça com la plata.

No s'estableix una conclusió clara sobre l'origen de l'acidesa de l'aigua, però es proposen dues hipòtesis:

- La conca del circ de Baiau i l'Estanyet de Baiau està composta per roques metamòrfiques de composició fonamentalment pelítica amb una mineralització important de sulfurs, que històricament han estat minades (encara que no a aquesta alçada). Les reaccions químiques que pateixen els sulfurs d'aquestes roques amb l'oxigen produeixen acidesa, desencadenant una sèrie de reaccions que poden alliberar més metalls per hidròlisi dels minerals. L'alteració de la capa superficial del substrat rocós permet la circulació de l'aigua, que en sortir del sistema subterrani per mitjà de descàrregues subterrànies genera drenatges àcids.
- L'acumulació de matèria orgànica al fons dels llacs, juntament amb l'estratificació de les aigües, generen una sèrie de processos anaeròbics que alliberen àcid sulfhídric (H_2S), que acidifica l'aigua del llac a pH inferiors a 5.

1.3.2. Drenatges àcids a altres zones del Pirineu

En els últims anys s'ha detectat el mateix procés a diverses zones del Pirineu axial en zones d'alta muntanya, com a l'Alto Aragón (Osca), Andorra o al Pirineu oriental (Girona) (comentari personal R. Linares, C. Roqué i M. Zarroca). Una d'aquestes zones és la vall de la Coma de l'Embut, al Pirineu oriental, al peu del Puigmal (2913 m s.n.m.). El símptoma d'aquest procés de drenatge àcid és probablement anàleg al que es va identificar a la Vallferrera. Al torrent de la Coma de l'Embut, a alçades al voltant de 2500 m s.n.m., apareixen uns precipitats blancs d'aspecte similar al de la Vallferrera sobre els còdols de la llera. Els precipitats blancs de la Coma de l'Embut van ser identificats per primera vegada per membres del Centre Excursionista de Catalunya (CEC) al setembre de l'any 2016 (Vidal, 2017).



Figura 3. Pàtines blanques a la llera del torrent de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 7 d'octubre del 2017.

2. Justificació del projecte i objectius

2.1. Justificació del projecte

En el context actual de canvi Global, les zones d'alta muntanya afectades per els processos de drenatge àcid han adquirit un valor patrimonial cada vegada més important, sent objecte de figures de protecció com Parcs Naturals o Parcs Nacionals, que tenen com a objectiu la preservació d'aquests territoris i el desenvolupament de les poblacions autòctones que hi viuen.

Específicament, l'àrea d'estudi del present projecte s'emmarca dins del Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser. Aquest territori compren les àrees més orientals d'alta muntanya del Pirineu català, on s'hi localitzen cims amb alçades properes als 3000 m s.n.m, com el Puigmal, i valls emblemàtiques, com la Vall de Ribes. Representa una zona de gran interès geològic. El Parc Natural està constituït fonamentalment per roques metamòrfiques, com pissarres, esquists, marbres i gneissos. El gneis de Núria-Carança-Canigó constitueix l'aflorament més important d'aquest material en terres catalanes. L'activitat de les glaceres durant les glaciacions quaternàries va generar un modelat glaciari a les valls de la zona, així com a totes les zones d'alta muntanya del Pirineu. Actualment, els fenòmens de periglaciariisme continuen actuant a les zones d'alta muntanya.

Cal destacar la notable varietat paisatgística de la regió a causa de l'amplitud altitudinal. Hàbitats com els boscos subalpins de coníferes, els prats alpins, cingleres, pedruscalls, llacs i rierols d'alta muntanya troben aquí els límits orientals i meridionals de la seva distribució. Algunes de les espècies que es troben en aquests hàbitats tenen un especial interès de conservació i estan incloses a la Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservació d'hàbitats naturals i de la fauna i de la flora silvestre, i la Directiva 79/409/CEE, relativa a la conservació d'aus silvestres.

El medi social i econòmic també té una importància rellevant en el Parc Natural. Dins de les seves fronteres, s'hi troben 7 municipis (Queralbs, Setcases, Vilallonga de Ter, Ribes de Freser, Toses, Planols, Molló i Pardines). A la zona d'estudi s'hi desenvolupen activitats primàries com la ramaderia extensiva gràcies a la presència de prats alpins i subalpins i aprofitament forestal.

Tot i això, el fenomen del canvi Global ha propiciat l'abandonament progressiu d'aquestes activitats durant el segle XX a favor de la conservació d'aquests territoris i el turisme. Aquest últim és un factor molt important en l'activitat econòmica del Parc Natural a causa de la singularitat del paisatge, el valor cultural i històric de Núria i zones adequades per a la pràctica del senderisme i l'esquí, i sens dubte, és l'activitat econòmica més important a l'alta muntanya.

El fenomen natural que s'estudia en aquest projecte sembla tenir una relació amb el procés de canvi climàtic. En el cas que sigui així, les projeccions climàtiques fan predir un increment d'aquests processos de drenatge àcid a l'alta muntanya, que posaran en perill els valors ecològics d'aquests territoris. És molt important, per tant, caracteritzar aquests processos i les implicacions que puguin tenir, per tal de facilitar-ne una futura gestió. La concentració elevada de metalls pesants i metal·loides d'aquests drenatges pot contaminar llacs i rierols a l'alta muntanya i els sòls adjacents. Si aquests elements són mobilitzats, també poden afectar cursos fluvials i aqüífers aigües avall.

La contaminació de l'aigua per metalls pesants i metal·loides a partir d'aquests drenatges pot tenir impactes diversos en:

- Els ecosistemes. Els metalls pesants són elements que resulten tòxics per als organismes vius quan superen certs llindars de toxicitat. No són biodegradables i són poc mòbils en el medi, pel que són persistents. D'altra banda, són susceptibles a la bioacumulació i la biomagnificació. Podrien afectar la flora propera als llacs i rierols contaminats, a la fauna aquàtica i a la fauna terrestre que ingereixi l'aigua. Els efectes dels metalls pesants en els animals ha estat àmpliament estudiada en els últims anys i es conclou que l'exposició a metalls pesants té efectes en els ronyons, pulmons, fetge i sistemes gastrointestinal i hematològic, però sobretot en el sistema nerviós (Nava-Ruiz et al., 2011). En les plantes la toxicitat per metalls pesants i metal·loides provoca alteracions estructurals, fisiològiques i bioquímiques (Barceló et al., 1992).
- La salut pública. Els drenatges àcids són pràcticament desconeguts a la zona, pel que no existeix cap mena de sensibilitat referent al problema. La contaminació per metalls pesants i metal·loides pot afectar algunes fonts on es dona un consum humà habitual, sobretot a la Vall de Núria. A més, el canvi Global està implicant un augment dels usos de l'alta muntanya (Antrop, 1997), incrementant-se així l'exposició als metalls i metal·loides. D'altra banda, la zona afectada és utilitzada com a pastura de bestiar, concretament boví, que podria facilitar la incorporació de traces de metalls a l'alimentació.
- La percepció del valor patrimonial dels espais afectats pels drenatges àcids, que es podria veure afectada pels processos de precipitació de pàtines blanquinoses a les lleres dels torrents.

2.2. Objectius del projecte

Taula 1. Objectius generals.

	<i>Descripció</i>
Objectiu 1	Fer una diagnosi de la percepció dels espais d'alta muntanya, l'evolució dels seus usos i els efectes del canvi climàtic en un context de canvi Global.
Objectiu 2	Identificar els factors de tipus geològic i hidrogeològic que determinen el procés de drenatge àcid.
Objectiu 3	Estimar la toxicitat potencial dels elements metàl·lics presents als drenatges àcids per als ecosistemes i la salut pública.
Objectiu 4	Avaluar la influència potencial del canvi climàtic com a desencadenant del fenomen i analitzar possibles escenaris futurs d'evolució dels processos de drenatge àcid.

Taula 2. Objectius específics

	<i>Descripció</i>
Objectiu 1	Determinar la percepció per part de la població local del canvi d'usos de la regió, els valors del territori, la qualitat de l'aigua i els efectes del canvi climàtic Determinar la percepció per part dels visitants als espais d'alta muntanya dels valors del territori, la qualitat de l'aigua i els efectes del canvi climàtic.
Objectiu 2	Determinar la composició dels precipitats blancs i la hidroquímica de les masses d'aigua de l'àrea d'estudi. Determinar les propietats fisicoquímiques dels sòls i la seva possible influència en la mobilització d'elements metàl·lics. Determinar el comportament dinàmic de l'aigua en el cicle hidrològic a partir d'anàlisis isotòpics.
Objectiu 3	Avaluar la toxicitat potencial dels drenatges àcids i els compostos de precipitació per als ecosistemes. Descriure l'evolució temporal del fenomen a partir de la interpretació de fotografies aèries.
Objectiu 4	Descriure l'evolució temporal del fenomen a partir de la interpretació de fotografies aèries. Comparar l'evolució del fenomen amb dades de sèries climàtiques.

3. Àrea d'estudi

3.1. Context geogràfic

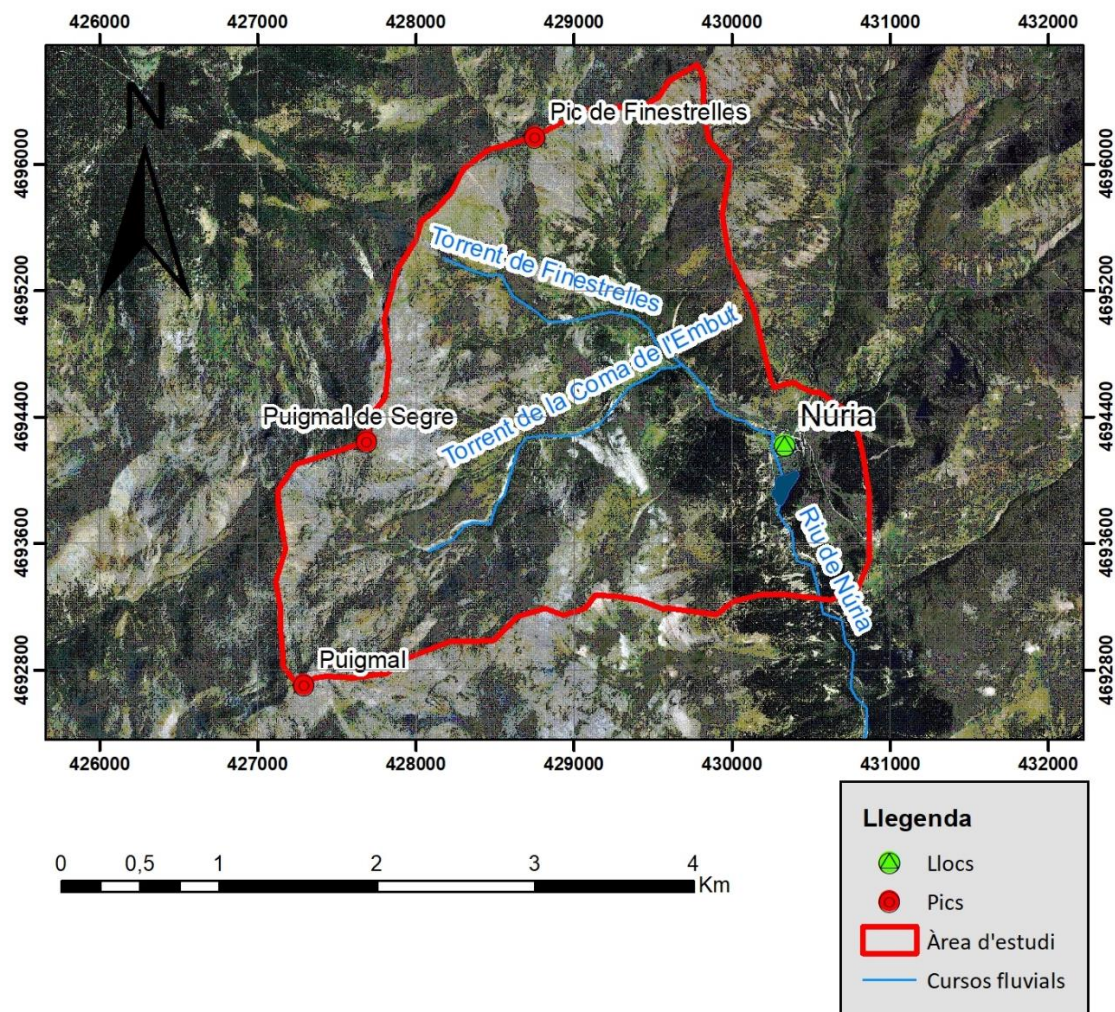


Figura 4. Situació geogràfica de l'àrea d'estudi. Mapa base ortofotografia de l'any 2010, resolució 25 cm per píxel. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

L'àrea d'estudi del projecte s'engloba al Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser (CTF), situat a Catalunya al nord-est de la Península Ibèrica, a la província de Girona. Es localitza íntegrament a la comarca del Ripollès. La zona estudiada es caracteritza per una superfície de 8,74 km², i una amplitud altitudinal compresa entre els 1900 i 2913 m s.n.m.. S'inclou a la Vall de Ribes, a la capçalera del riu Freser.



Figura 5. Situació geogràfica de l'àrea d'estudi dins la Península Ibèrica. Font: Google Earth.

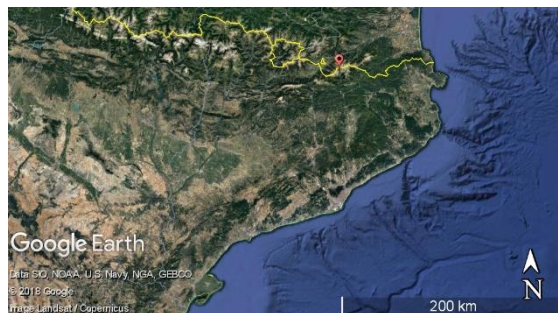


Figura 6. Situació geogràfica de l'àrea d'estudi dins Catalunya. Font: Google Earth.

L'espai correspon al Pirineu oriental que limita al nord amb la frontera francesa delimitada per cims que assoleixen pràcticament els 3000 m, com el Puigmal. En el context d'Espais Naturals Protegits al sud llinda amb la Serra Cavallera, i amb espais protegits com l'Alta Garrotxa i la Serra del Montgrony.

Quan es parla de vies de comunicació, les xarxes d'infraestructures que accedeixen als municipis pròxims al Parc Natural és bona. L'eix vertebrador, i principal de la regió, és la C-17 que connecta Vic amb Ripoll. A partir de Ripoll es diversifica en les valls del Freser i del Ter, donant accés a través de carreteres secundàries als nuclis de població propers al Parc Natural. Cal afegir que el ferrocarril Barcelona-Puigcerdà, inclou baixadors a Ribes de Freser, a Planoles i a Toses. Des de Ribes de Freser puja el tren cremallera en direcció a Núria.

3.1.1. Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser

El Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser fou declarat inicialment, l'any 1992, espai del Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN) que posteriorment es va incloure dins de la Xarxa Natura 2000, com a Zona d'Especial Conservació (ZEC) i d'Especial Protecció per a les Aus (ZEPA). Des de l'any 1966, ha estat declarada Reserva Nacional de Caça de Freser-Setcases.

Després de nombroses iniciatives científiques, socials i polítiques que van posar de manifest la rellevància d'aquest espai i la necessitat de protegir-lo, l'any 2015, finalment, es va crear el Parc Natural mitjançant el Decret 211/2015, de 22 de setembre. La creació del Parc Natural va suposar un increment de la superfície protegida fins les 14549,75ha basant-se en criteris de coherència geogràfica dels límits, adaptació a l'orografia i representativitat d'hàbitats i espècies d'interès per a la conservació.

Taula 3. Canvis en la superfície dels municipis incloses en espais d'interès natural a partir de la creació del parc natural. Font: Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya.

Municipi	Superfície dins de l'EIN (ha)	Superfície dins el Parc (ha)
Queralbs	7.750,29	7.909,57
Setcases	3.257,24	3.373,11
Vilallonga de Ter	945,56	1.648,94
Ribes de Freser	209,56	448,18
Toses	182,69	0,00
Planoles	167,86	198,92
Molló	2,04	709,25
Pardines	0,28	261,77
Superfície Total	12.515,54	14.549,75



Figura 7. Àrea ocupada pel Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser (verd). Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Datum 31N ETRS89.

3.2. Context geològic

3.2.1. Introducció

L'àrea d'estudi es localitza a la zona axial del Pirineu oriental, en la qual aflora el sòcol paleozoic a causa l'erosió produïda després de l'aixecament dels Pirineus durant l'orogènia alpina. La zona d'estudi està composta principalment per roques metasedimentàries del Cambroordovicià, a excepció de les roques ígnies que afloren a la zona sud-est de l'àrea d'estudi, que van ser intruïdes durant l'Ordovicià superior (Enrique, 2010). Totes elles es veuen afectades per la tectònica originada durant l'orogènia varisca, alpina, i la distinció neògena, generant plegaments i fractures a les roques. Pel que fa a la geomorfologia, el relleu està modelat per les glaceres existents durant les glaciacions del quaternari, i principalment pels processos periglacialers posteriors (Cirés et al., 1994).

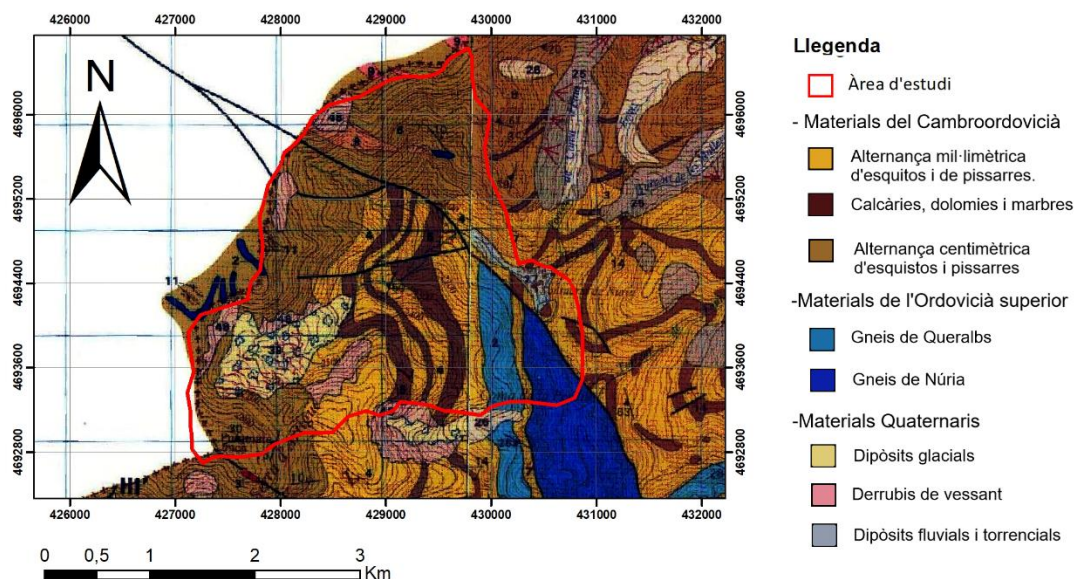


Figura 8. Mapa geològica de l'àrea d'estudi. Font: Modificat de MAGNA 50 del IGME. Datum 31N ETRS89, escala 1:50.000.

3.2.2. Estratigrafia

A continuació s'exposen les formacions geològiques i materials que afloren a l'àrea d'estudi per ordre cronoestratigràfic:

- Materials del Cambroordovicià segons Cavet et al., 1957 (citats a Cirés et al., 1994):
 - Formació Canavelles: formada per una alternança rítmica mil·limètrica de gresos i lutites metamorfitzades formant esquistos i pissarres. Contenen alguns nivells calcaris de mida mètrica o decamètrica, amb gran continuïtat lateral, parcialment dolomititzats i localment metamorfitzats generant marbres.
 - Formació Jujols: superposada a la formació Canavelles, i la transició d'una a l'altra és progressiva. Està formada també per una alternança de nivells pissarrosos i esquistosos de mida centimètrica. Localment s'observen nivells calcaris, poc abundants, poc potents i amb poca continuïtat lateral, i nivells de quarsites blanques d'entre 0,5 i 3 m de gruix.

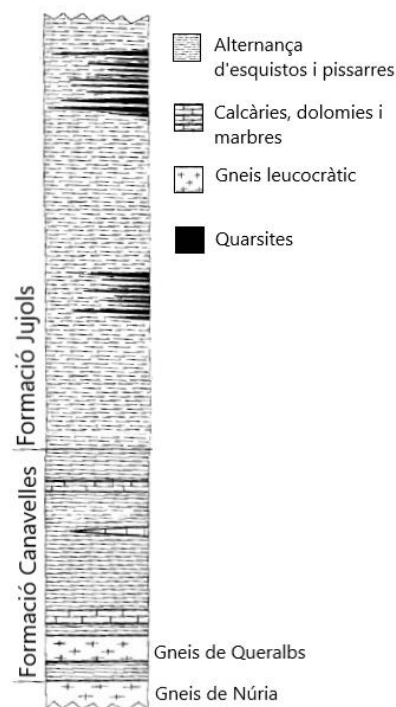


Figura 9. Columna estratigràfica de la zona de Núria-Puigmal. Font: Modificada de Cirés et al. (1994).

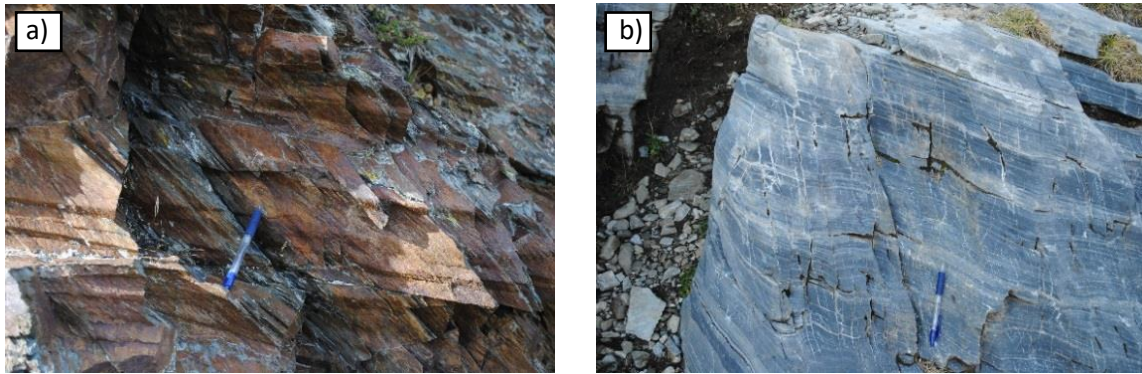


Figura 10. A) Alternança de pissarres i esquistos de la formació Jujols. B) Marbres de la Formació Canavelles. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

- Materials de l'ordovicià superior segons Barbey et al., 2001 (citats a Enrique, 2010):
 - Gneis de Núria i de Queralbs: roques ígnies leucogranítiques gneisificades que intrueixen els materials de la Formació Canavelles formant el Dom de Freser o Massís de Núria. Es diferencien dos cossos rocosos, el Gneis de Núria i el de Queralbs, productes de diferents episodis intrusius d'un plutó format en ambients propers a la superfície durant l'Ordovicià superior, i posteriorment metamorfitzats per la tectònica varisca. El Gneis de Queralbs, és un sill d'una potència mitjana de 150m, que es localitza dins de la formació Canavelles, proper al límit inferior. Presenta una foliació molt intensa i plegada, concordant amb l'esquistositat de la roca encaixant. El Gneis de Núria és subjacent a la formació Canavelles, i té una gran potència. Està poc deformat i conserva els contactes intrusius quasi intactes, els quals tallen l'esquistositat dominant de la formació Canavelles, a la qual està intruït.



Figura 11. Gneis de Núria. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

- Materials quaternaris segons Cirés et al (1994):
 - Dipòsits glacials i periglacials: formats per clasts i blocs angulosos, amb poca matriu, mal classificats i sense estratificació.
 - Derrubis de vessant: acumulacions de blocs i materials col·luvials provinents principalment dels vessants interns dels antics circs glacials.
 - Dipòsits fluvials i torrencials: es localitzen a la llera dels rius i torrents i a les seves proximitats. A causa de la proximitat a l'àrea font són materials angulosos i amb una composició litològica poc variada.

3.2.3. Tectònica

Els materials de l'àrea d'estudi s'han vist afectats per tres grans esdeveniments deformatiònals: l'orogènia varisca, l'orogènia alpina, i la distensió neògena.

L'orogènia varisca, la qual va tenir lloc a finals de l'era Paleozoica (entre 380 Ma i 280Ma), és la responsable del plegament dels materials del Cambroordovicià i Ordovicià superior que afloren a l'àrea d'estudi, i de la posterior foliació i plegament de la foliació.

L'orogènia alpina, que es produí durant l'era Cenozoica (entre 65 Ma a 23 Ma), va provocar la formació de les principals serralades que existeixen actualment. Els Pirineus van ser formats a la zona d'intersecció entre la placa Ibèrica i la placa Euroasiàtica, les quals van col·lidir obliquament. La compressió soferta per aquest xoc va generar un escurçament en direcció nord-sud, i l'engruiximent de l'escorça continental mitjançant la superposició dels materials a partir d'encavalcaments (Barnolas et al., 2004). Així doncs l'orogen dels Pirineus està compost per un seguit d'unitats encavalcades. L'àrea d'estudi es localitza dins de la Unitat del Canigó, dins de la zona axial del Pirineu, composta per materials del sòcol varisc, encavalcada sobre la Unitat del Cadí, localitzada al sud, composta per materials més recents, del Garumnà i l'Eocè (Cirés. et al., 1994).

Posteriorment a la tectònica alpina, dominada per esforços compressius, es va produir a la zona dels Pirineus una etapa de distensió que engloba tot el període neogen (entre 23 Ma i 2,5 Ma). Durant aquest període, es va generar un sistema de falles normals amb orientació E-O i NO-SE associades a esforços extensius, les quals es van mobilitzar generant diverses depressions amb la mateixa orientació que les falles, com ara la fossa de la Cerdanya, al nord-oest de l'àrea d'estudi (Cirés. et al., 1994). El registre d'activitat tectònica actual, i l'estudi de les morfologies de les falles semblen demostrar que el règim extensiu d'aquestes zones ha seguit actiu durant el Quaternari i l'actualitat (Cirés et al., 1994).

3.2.4. Mineralogia

Els processos de drenatges àcids a l'àrea d'estudi es localitzen sobre les roques detrítiques de la formació Canavelles i la formació Jujols, les quals estan afectades per metamorfisme regional de grau baix o molt baix produït durant l'orogènia varisca, generant pissarres i esquistos (Cirés et al., 1994). Són roques pelítiques compostades fonamentalment per quars i miques, amb un elevat contingut d'alumini, ferro i potassi.

Les roques carbonàtiques d'aquestes formacions, calcàries i dolomies, també estan afectades pel mateix grau metamòrfic, generant localment marbres (Cirés et al., 1994).

En aquests materials es localitzen diferents mineralitzacions filonianes associades a zones de cisalla, que segons el mapa metal·logènic de IGME 1973 són fruit de remobilitzacions de minerals tipus *sedex* (citada a Houle, 2015), els quals són dipòsits de sulfurs en venes hidrotermals relacionades amb magmatisme àcid, intruïdes durant la tectònica herciniana tardana (Ayora i Casas, 1986).

Hi ha diferents tipus de mineralitzacions. En les pissarres i esquistos es troben disseminacions, masses i filons de minerals de As i Au i en menor mesura de Cu, W, Ag i Pb. En els nivells dolomítics intercalats en els esquistos, es localitzen disseminacions i lleties de pirita i minerals de Pb, As i Au, i filons d'arsenopirita, pirita i minerals de Au, Ag, Bi, Cu, Pb, Sb, Zn i W (Ayora i Casas, 1986). Aquestes mineralitzacions han estat explotades a principis del segle XX, només al terme municipal de Queralbs hi havia 43 mines (Houle, 2015).

3.2.5. Geomorfologia

El relleu de l'àrea d'estudi està modelat principalment pels processos d'erosió i sedimentació glacials i periglacials, els quals han dominat durant el Quaternari a la zona axial del Pirineu oriental.

A finals del Plistocè, fa aproximadament 12000 anys, es produí l'última glaciació, la qual és la responsable final dels darrers relleus glacials (Bordonau, 2005). A la base de les glaceres es produeixen els principals processos erosius, provocats pel moviment del gel i els fragments de roca inclosos, els quals produeixen abrasió i fracturació del substrat i evacuació de sediments. A causa d'aquests processos erosius es generen unes morfologies molt característiques, algunes d'elles observables a l'àrea d'estudi, com són els circs glacials, localitzats entorn de les valls glacials en forma de "U", i les cubetes de sobreexcavació, provocades pel pes dels grans gruixos de glaç sobre substrats relativament tous generant depressions. El santuari de Núria es troba sobre una cubeta de sobreexcavació, on el substrat està format per esquistos, que són relativament tous (Cirés et al., 1994). A petita escala s'observen roques moltonades a les parets i a la base de les valls glacials, les quals estan fracturades, polides, i estriades en la direcció del moviment de la glacera.



*Figura 12. Roques moltonades a la vall de la Coma de l'Embut.
Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.*

Les glaceres tenen una gran capacitat de transport de material, el qual se sedimenta en forma de dipòsits morrènics, formats per till, material sense consolidació, ni estratificació, ni classificació, de mida variable des de llim fins a grans blocs. Es dipositen en el llit de la vall glacial i en els seus marges.



Figura 13. Dipòsits morrènics al llit de la vall de la Coma de l'Embut. Foto: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

Després de la darrera glaciació, els processos erosius i sedimentaris predominants a l'àrea d'estudi han estat principalment periglacials, caracteritzats pels cicles de glaç i desglaç, però també fluvioglacials i torrencials, els quals han provocat la desaparició o atenuació de molts dipòsits i morfologies glacials.

A continuació s'exposen els principals processos periglacials que actuen a l'àrea d'estudi, i les principals formes periglacials que en deriven:

- Crioclàstia: l'aigua líquida penetra a les fractures de les roques, i en gelar i augmentar el volum, eixampla les fractures. Aquest fenomen, conjuntament amb l'acció de la gravetat, contribueix a la gènesi de despreniments i caigudes de blocs i fragments de roca, i a l'acumulació d'aquests fragments en forma de tarteres, que recobreixen els vessants, i cons d'esbaldregalls, en els peus dels escarpaments.
- Reptació: consisteix en la formació d'esquerdes, aixecament i translació del sòl en els vessants.
- Gelifluxió: en les regions periglacials el subsòl està permanentment gelat, i actua com una capa impermeable, fent que se saturin d'aigua els materials superficials i llisquin pel pendent, produint la formació de gespes encoixinades, que són petits monticles amb vegetació.



Figura 14. Gespes encoixinades del Parc Natural de les capçaleres del Ter i el Freser. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

També s'observen altres formes periglacials com són les glaceres rocalloses, molt evidents a la vall de la Coma de l'Embut. Són grans acumulacions de fragments de roca angulosos amb formes lobulades, que contenen gel al seu interior. Si són actives, tenen un cert desplaçament, com a conseqüència de la deformació plàstica del gel que contenen.



Figura 15. Glacera rocallosa de la vall de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 7 d'octubre del 2017.

Simultàniament al desenvolupament de la geomorfologia periglacial, es van produir diferents fractures en els vessants en forma de *sackung* (figura 18), i moviments en massa en direcció a l'interior de les valls, a causa la descompressió dels vessants soferta pel retrocés de les glaceres (Agliardi et al., 2012). En l'estudi realitzat per Jarman (2014) s'identifiquen diferents fractures i moviments en massa a gran escala en el Pirineu oriental. La vall de la Coma de l'Embut és un dels emplaçaments on es reconeixen diferents moviments de tipus *arrested slide*, caracteritzats per presentar poc desplaçament respecte l'escarpament principal i una certa coherència dels materials. La superfície del material esllavissat és de 1200m², i presenta un relleu local de 500m.



Figura 16. Fracturació en forma de sackung. Font: Modificat de Agliardi et al. (2012).

El desmembrament dels vessants i la fracturació de la roca, fa augmentar la percolació de l'aigua i afavorir els règims d'aigua subterrànica. La infiltració de l'aigua eixampla les fractures, augmenta el pes dels vessants i afavoreix el lliscament de la roca en les zones de cisalla, potenciant encara més els moviments en massa dels vessants (Agliardi et al., 2012). A més a més els Pirineus és una zona amb una certa sismicitat, la qual contribueix a la mobilització de les fractures.

Cal destacar també la carstificació dels nivells calcaris que conformen la formació Canavelles. Les roques carbonàtiques de l'àrea d'estudi han sofert processos de dissolució produïts per la circulació dels cursos fluvials, generant formes càrstiques, com ara coves, avencs, sistemes de drenatge subterrani, engolidors i brolladors. Un emblemàtic engolidor, és l'anomenat Coma de l'Embut, que dona el nom a la vall.



Figura 18. Engolidor de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 7 d'octubre del 2017.

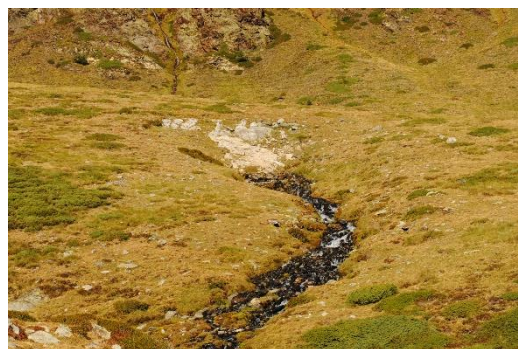


Figura 17. Brollador de la vall de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018..

3.3. Clima

El clima al Pirineu oriental presenta la particularitat de ser un clima de muntanya amb una influència molt marcada del clima mediterrani, i es classifica com a mediterrani pirinenc oriental. La presència d'altres muntanyes, properes als 3000 m s.n.m., implica una variació del clima notable a la zona en quant a temperatures i precipitació (Xercavins, 1985).

S'ha descrit un gradient tèrmic vertical mitjà de 0,52°C per cada 100 metres d'altitud, baix a causa de la freqüència de condensacions. Així les temperatures anuals mitjanes rondan els 0°C per damunt del 2800 m s.n.m., mentre que es situen als 10°C a 900 m s.n.m. (Xercavins, 1985).

L'amplitud tèrmica anual és relativament moderada (entre 13°C i 16°C) i més intensa al fons de les valls a causa de les inversions tèrmiques hivernals.

La precipitació mitjana anual presenta una variació de 900 mm a la vall de l'alt Llobregat fins als 1300 mm a les Capçaleres del Ter i del Freser. L'època amb més precipitacions és l'estiu, que és quan les masses d'aire humit mediterrani són més freqüents i inestables. Quan aquestes masses d'aire xoquen amb els flancs de la serralada pirinenca i ascendeixen, provoquen intenses precipitacions en l'anomenat efecte Föhn. A la capçalera del Freser, es donen cinquanta dies de mitjana anual de tempesta a causa d'aquest fenomen. D'altra banda, l'hivern és l'època més seca de l'any, per la posició a sotavent respecte els temporals atlàntics. Els dies on la precipitació es dona en forma de neu oscil·la entre uns vuit, a les valls més baixes, i uns seixanta als grans cims per sobre dels 2800m s.n.m., on la innivació assoleix els nou mesos (Xercavins, 1985).

3.4. Medi biòtic

3.4.1. Flora

La vall de la coma de l'Embut correspon a una muntanya alpina higròtera que es caracteritza per presentar un únic període desfavorable per a la vida vegetal, que es dona a l'hivern, amb temperatures extremadament baixes. L'estiu, a les muntanyes alpines higròteres, esdevé l'època més plujosa de l'any, a diferència de les muntanyes de tipus xeròter que afegeixen a l'estiu el segon període desfavorable per a la vegetació a causa de l'eixut estival.

El paisatge pirinenc està constituït per un conjunt de comunitats vegetals les quals passen d'unes a les altres a partir de zones de transició. Les muntanyes pirinenques presenten una zonació altitudinal que es defineix com la presència de les diferents comunitats vegetals en relació a l'altitud. A partir d'aquest concepte és possible determinar els estatges de vegetació, definits per factors climàtics (Carrillo, 2006).

La zona d'estudi correspon fonamentalment a l'estatge alpi, que s'estén des del límit del bosc de coníferes fins les zones culminants de la serralada, amb presència de neus persistents, anomenat estatge subnival. El límit inferior de l'estatge alpi es localitza entre els 2200 m i els 2500 m s.n.m., caracteritzat per la manca de vegetació arbòria i l'inici de grans extensions de prats alpins. En certs casos, és possible observar una zona de transició constituïda per vegetació arbustiva.

Els ecosistemes d'alta muntanya estan condicionats principalment pel relleu i el clima. El sòl es caracteritza per una formació molt lenta amb predomini dels processos físics davant dels químics i biològics a causa de les baixes temperatures, donant lloc a sòls molt poc desenvolupats (Carrillo, 2006).

Aleshores, cal indicar que la formació vegetal que predomina a l'estatge alpi són les pastures i els claps de matollars, és a dir, el paisatge es mostra integrat especialment per comunitats herbàcies. Per altra banda, la geomorfologia periglacial de l'alta muntanya aporta una gran varietat de paisatges com ara tarteres, cingleres, mollerres, clots i rierols que aporten una vegetació molt particular. Aquesta complexitat paisatgística constitueix l'anomenat mosaic alpi.

La vall de Núria, i específicament la zona del Santuari, es situa a l'estatge subalpi que s'estén entre els 1700m i 2200 m s.n.m.. La vegetació es caracteritza per la presència de comunitats forestals constituïdes per formacions de coníferes, arbres perennifolis. L'associació principal de vegetació d'aquest estatge correspon al bosc de pi negre amb neret (*Rhododendro-Pinetum uncinatae*) principalment present en obagues. En l'estrat arbori, apart del pi negre (*Pinus uncinata*) també s'observa l'avet (*Abies alba*) i espècies arbustives com ara el boix (*Buxus*

sempervirens), l'el·lèbor verd (*Helleborus viridis*), la pulsatil·la blanca (*Anemone alpina*) i el te de bosc (*Cruciata glabra*) entre altres (Vigo, 2008).



Figura 19. Estatge subalpí format per l'associació de pi negre amb neret (*Rhododendro-Pinetum uncinatae*). Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

L'estatge alpi marca el seu inici aproximadament entre 2200 m i 2500 m s.n.m.. L'activitat antròpica a les regions d'alta muntanya ha estat intensa malmetent la franja de transició arbustiva característica. Ampliar les pastures d'estiu era l'objectiu principal de l'activitat dels humans. Actualment, l'abandonament de les pastures ha iniciat una recuperació progressiva de les espècies arbustives del límit inferior de l'estatge alpi. Les espècies de la zona de transició arbustiva són la bruguerola (*Calluna vulgaris*), el neret (*Rhododendron ferrugineum*) i les escobes (*Genista balansae ssp. europaea*).



Figura 20. Zona de transició entre l'estatge subalpí i alpi a la Vall de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

Per damunt de la faixa transicional de l'estatge subalpí i alpí, trobem el predomini absolut dels prats rasos alpins, deixant enrere la presència d'estrat arbori i arbustiu. Les comunitats de l'estatge alpí sovint estan dominades per una sola espècie que proporciona la fisionomia del prat. En els prats alpins es poden diferenciar dues grans unitats de vegetació segons les característiques de la roca mare: les pastures calcícoles i les pastures acidòfiles. A la vall de la coma de l'Embut, la litologia correspon majoritàriament a roques metamòrfiques pelítiques, condicionant l'edafologia a terrenys àcids. Els terrenys àcids donen lloc a prats acidòfils dominats per festuca supina (*Festuca airoides*) o càrex corbat (*Carex curvula*) (Vigo, 2008). Els prats calcícoles també hi són presents en menor mesura.

La festuca supina (*Festuca airoides*) correspon a una planta de l'estatge alpí que pertany a la família de les gramínies d'uns 10 a 30 cm d'alçada, amb les fulles molt primes i la inflorescència reduïda. És un hemicriptòfit, és a dir, la part aèria mor anualment a causa de condicions climàtiques desfavorables, mentre que la part subaèria es manté viva. Els ambients que ocupa són principalment regions planes o poc inclinades, també s'hi pot trobar en alguns vessants. La seva distribució dins del territori català es troba majoritàriament als Pirineus axials a partir dels 2000 m s.n.m. d'altitud, presentant un màxim de distribució entre els 2400 m i 2600 m s.n.m.. Per altra banda, el càrex corbat (*Carex curvula*) correspon a una espècie de planta herbàcia inclosa a l'estatge alpí (i subnival) que pertany a la família de les ciperàcies d'uns 10 a 40 cm d'alçada. La seva forma vital també s'inclou com a hemicriptòfit. Els ambients que ocupa són els fons de les comes i circs glacials, vessants, colls i replans innivats. La seva distribució dins del territori català es troba majoritàriament als Pirineus centrals i orientals a partir dels 2000 m s.n.m. d'altitud, presentant un màxim de distribució entre els 2400 m i 2600 m s.n.m. (Carrillo, 2006).

En el cas de la glacera rocallosa relicte de la coma de l'Embut, la vegetació està constituïda per una associació vegetal. El concepte anterior s'entén com a les relacions espacials i temporals entre les plantes. L'associació predominant és la *Hieracio-Festucetum airoidis* que defineix a grans trets la vegetació de l'estatge alpí dels Pirineus orientals (Braun-Blanquet, 1948). La comunitat vegetal està representada per extensos prats caracteritzats per la presència d'una elevada cobertora vegetal. La *Festuca airoides*, gramínia endèmica, representa l'espècie més significativa (Vigo, 1996) acompanyada del *Hieracium breviscapum* que rep el nom de hieraci nan. Com s'ha esmentat anteriorment, l'hàbitat de l'associació correspon a zones amb baix pendent que es troben protegides per la neu durant el període fred. S'estenen en sòls poc desenvolupats i amb un elevat contingut humífer.

Alhora, als prats alpins també hi apareixen plantes de mida relativament petita i de flors grans en un grau d'abundància molt inferior (*Gentiana alpina*, *Pulsatilla vernalis*, *Minuartia recurva*, *Gentiana verna*, *Dryas octopetala*, *Oxytropis campestris*, *Aster alpinus*, etc.).

Segons Gómez Ortiz (2015) a la glacera rocallosa de la coma de l'Embut s'hi troben tres subassociacions del *Hieracio-Festucetum airoidis*. Es presenten en funció dels ambients cada vegada més desfavorables pel desenvolupament de les plantes:

- La subassociació *trifolietosum alpini* s'ubica en prats d'alta muntanya. L'espècie de referència de la subassociació és la regalèsia de muntanya (*Trifolium alpinum*). També hi és present el pèl caní (*Nardus stricta*). Les regions que ocupen tenen unes condicions edafològiques i humíferes favorables.
- La subassociació *juncetosum trifidae* és pròpia de indrets més freds i ventejats, preferentment crestes.

- La subassociació *helictotrichetosum sedenensis* s'ubica a zones amb elevat pendent i pedregoses.



Figura 21. Prats alpins de festuca supina (*Festuca airoides*) de l'estatge alpi. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

Als espais rocallosos i amb escàs volum de sòl, és possible identificar l'associació *Senecietum leucophyllii*, caracteritzada per la dominància de l'herba blanca (*Senecio leucophyllus*) que correspon a una planta herbàcia camèfita, és a dir, part aèria persistent durant tot l'any. També hi és present el cerasti pirinenc (*Cerastium pyrenaicum*) (Romo i Panareda, 2000). En un cas extrem, es poden identificar les plantes casmofítiques que ocupen les fissures de les roques, que en el cas del Pirineu oriental sobretot es troba *Helictotrichon sedenense*.

En l'estudi dels drenatges àcids de la vall de la coma de l'Embut, són de gran importància les zones que es troben en contacte amb els cursos fluvials, així com els sòls saturats d'aigua, anomenats també sòls higromorfs, on la vegetació hi és present. Les mollereres, o també conegudes com a torberes, són sòls higromorfs on la descomposició de la matèria orgànica és extremadament lenta i s'hi acumula. Ocupen zones on el nivell freàtic es manté proper a la superfície. En ocasions, la vegetació present en aquests indrets resulta independent de les condicions climàtiques. La composició àcida de l'aigua de la vall de la coma de l'Embut condiciona l'aparició d'un tipus de vegetació en particular. A les mollereres o torberes és característic el recobriment d'un tapís continu de molses, especialment les esfagnes (*Sphagnum* sp.). La planta herbàcia dominant és el càrex fosc (*Carex nigra*) de la família de les ciperàcies. Altres espècies que formen part de la comunitat són el càrex equinat (*Carex echinata*), la viola palustre (*Viola palustris*), el crespinell pilós (*Sedum villosum*) entre altres (Carrillo, 2006).

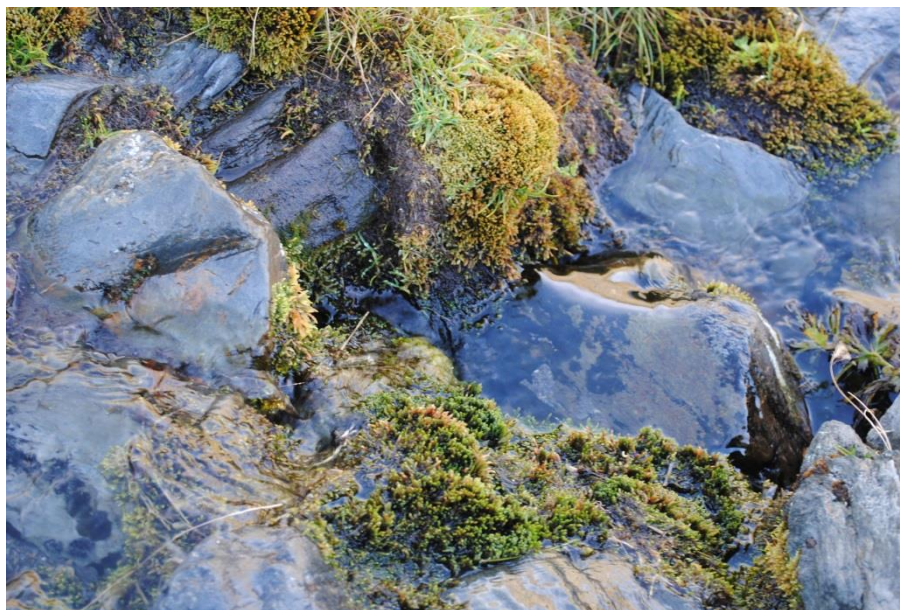


Figura 22. Torrent de la Coma de l'Embut amb presència d'esfagnes (*Sphagnum* sp.)
Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

3.4.2. Fauna

Als boscos subalpins de coníferes, que són presents a Núria dins la zona d'estudi, s'identifiquen algunes espècies singulars d'aus com el gall fer (*Tetrao urogallus*), el mussol pirinenc (*Aegolius funereus*) i el picot negre (*Dryocopus martius*), incloses a la Directiva Aus. De gall fer, possiblement l'ocell més vulnerable dels que habita l'estatge subalpí, només s'hi trobaven entre 12 i 15 mascles en tot el Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser a l'any 2009 (Gonzalez Prat, 2010). Segons el mateix autor, el picot negre ocupava entre 5 i 10 territoris i el mussol pirinenc entre 15 i 20 territoris.

En quant a mamífers, l'espècie més amenaçada possiblement sigui l'almesquera (*Galemys pirenaicus*), inclosa com a espècie d'interès comunitari en la Directiva hàbitats. És un tàlpid aquàtic endèmic de la península Ibèrica, més abundant a les regions atlàntiques que a les mediterrànies (Palomo et al., 2007). Segons Gonzalez Prat (2010), l'espècie es troba al Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser. El cabirol (*Capreolus capreolus*), el porc senglar (*Sus scrofa*), la guineu (*Vulpes vulpes*), la fagina (*Martes foina*) i varies espècies de rat-penats són presents entre moltes altres espècies.

És important destacar que l'estatge subalpí a la zona d'estudi es troba intensament afectat per les activitats socioeconòmiques que es desenvolupen a Núria, en perjudici de les espècies anteriorment esmentades. En canvi, a l'estatge alpi, que ocupa la majoria de l'àrea de la zona d'estudi, la presència i les activitats humanes es troben restringides fonamentalment al senderisme.

L'espècie més emblemàtica de l'alta muntanya a la zona d'estudi és l'isard pirinenc (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*), una espècie d'ungulat artiodàctil que pertany a la família dels bòvids molt visible als prats alpins del Parc natural. És esvelt i de mida petita. Els dos sexes tenen banyes en forma de ganxo, i el seu color és pràcticament uniforme excepte el cap i la gola, de color blanc amb una taca fosca que recobreix els ulls. S'alimenta de gramínies i dicotiledònies herbàcies durant l'època estival, mentre que a l'hivern han de consumir espècies vegetals llenyoses ja que l'estatge alpi es troba cobert per la neu (Palomo et al., 2007). Segons l'últim informe de la IUCN (Herrero et al., 2008), l'espècie es troba en expansió. El nombre total d'individus va créixer de

15500 al 1989 a 53000 al 2004. L'única amenaça que ha fet davallar les poblacions puntualment al Pirineu català han estat epidèmies d'un virus anomenat Parvovirus (Palomo et al., 2007). És una espècie d'interès cinegètic gestionada per la Reserva Nacional de Caça Freser-Setcases, amb una població al Parc d'uns 3000 individus.



Figura 23. Isards a la Vall de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

Destaquen també el mufló (*Ovis gmelini musimon*) i la marmota (*Marmota marmota*). Les dues espècies de mamífers van ser introduïdes a partir de la intervenció humana.

El mufló, com l'isard, és una espècie d'ungulat artiodàctil que pertany a la família dels bòvids. És de mida més gran que aquest, i presenta un elevat dimorfisme sexual. Les banyes dels mascles són grans i espectaculars, fet que propicia un interès cinegètic en l'espècie per obtenir-les com a trofeu. En quant a hàbits alimentaris, tot i consumir una ampla varietat d'espècies vegetals, té una especial predilecció per les gramínies i les plantes herbàcies (Palomo et al., 2007). Les poblacions del Pirineu oriental procedeixen de poblacions franceses. La seva gran adaptabilitat ha permès la seva expansió des de boscos humits fins a prats alpins.



Figura 24. Exemplar de mufló a la vall de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

La marmota és un rosegador de la família dels esciúrids de mida gran (3.4-5.7kg), amb unes extremitats anteriors fortes i adaptades a l'excavació. Habiten els prats alpins i subalpins amb un rang altitudinal dels 1300 als 2900 m s.n.m., alimentant-se fonamentalment de plantes dicotiledònies (Palomo et al., 2007). Va ser introduïda al Pirineu francès l'any 1948 a partir de poblacions dels Alps, des d'on s'ha expandit fins ocupar pràcticament tota la serralada Pirinenca (Beltran et al, 2014). Segons aquest mateix autor, la marmota no competeix amb altres espècies pel que únicament contribueix a augmentar la diversitat. Es pot trobar des de Larra (Navarra) fins a Nuria (Girona), amb una població estimada de més de 10000 individus (Palomo et al., 2007).

Més difícils d'observar, però presents a l'alta muntanya, són dues espècies de la família dels mustèlids (mamífers carnívors). L'ermíni (*Mustela erminea*) es troba fins a altituds de 2740 m s.n.m., molt ben adaptat a les condicions alpines (Palomo et al., 2007). El cos és allargat, típic dels mustèlids, per tal de poder accedir als caus de rosegadors dels quals s'alimenta. A l'hivern el seu pelatge esdevé blanc (Palomo et al., 2007). La mustela (*Mustela nivalis*) no presenta un pelatge blanc a l'hivern, però s'ha trobat a 2500 m s.n.m. (Palomo et al., 2007). És el mustèlid de menor mida i s'alimenta principalment de rosegadors, com l'ermíni.

Entre els herbívors de mida petita destaca el talpó de tartera (*Chionomys nivalis*), el talpó més ben adaptat a l'alta muntanya, tot i que el talpó de prat (*Microtus arvalis*) també pot ser present en prats alpins, però fins altituds de 2200 m s.n.m. (Palomo et al., 2007).

Més enllà dels mamífers, les aus també són un element important de la fauna a l'alta muntanya. Moltes espècies que habiten la zona d'estudi estan incloses a l'Annex I de la Directiva Aus.

La perdiu blanca (*Lagopus mutus pyrenaicus*) és l'únic ocell d'origen túndric que habita el parc. A l'hivern el plomatge esdevé completament blanc, mentre que a l'estiu està tacat de plomes ocre i burelles (Gonzalez, 1982). El voltor comú (*Gyps fulvus*) i el trençalòs (*Gypaetus barbatus*) són grans ocells carronyaires que es poden observar a l'alta muntanya. Segons el SIOC (Servidor d'Informació Ornitològica de Catalunya), mentre que el voltor comú té una població catalana al voltant de 2000 individus, el trençalòs no passa dels 60 individus madurs, que es troben principalment a la part occidental del Pirineu català, pel que és molt difícil observar-lo al Pirineu oriental. L'àliga daurada (*Aquila Chrysaetos*) és un ocell rapinyaire que s'alimenta principalment de rosegadors i rèptils, tot i que també té hàbits carronyaires. Té dos territoris a la zona del Parc Natural (Gonzalez Prat, 2010).

En quant a ocells omnívors, els més destacables són els còrvids. El corb (*Corvus corax*) és el més gran, mentre que la gralla de bec vermell (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*) i la gralla de bec groc (*Pyrrhocorax graculus*) són més petits. El cercavores (*Prunella collaris*) és un altre omnívor poc més gran que un pardal que habita zones alpines. El pardal d'ala blanca (*Montifringilla nivalis*) i el pela-roques (*Tichodroma muraria*) es troben en algunes poblacions aïllades al Pirineu, incloent el Pirineu oriental.

El rèptil més destacable de la zona d'estudi és la sargantana àgil (*Lacerta agilis*), que té una distribució molt reduïda a Catalunya, tot i no estar protegida, i se'n troba una població als prats alpins del voltant de Núria (Arribas, 1999).

Als estanys d'alta muntanya és habitual trobar la truita comuna (*Salmo trutta fario*). Tot i ser una espècie típica del curs alt de rius, cabalosos i oxigenats, segons Miró (2011) va ser introduïda pels humans temps enrere als estanys d'alta muntanya per sobre dels 1500 m s.n.m. (citat a Ordeix et al., 2014). Els amfibis també són habituals en aquests estanys d'alta muntanya, com la

granota roja (*Rana temporaria*), el tritó pirinenc (*Euproctus asper*) i el tòtil (*Alytes obstetricans*), amenaçats pels peixos al·lòctons que s'alimenten de les seves larves.

3.5. Medi social i canvi Global

El Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser, on s'emmarca l'àrea d'estudi, inclou vuit municipis: Toses, Planoles, Queralbs, Ribes de Freser, Pardines, Vilallonga de Ter, Setcases i Molló. En el conjunt de municipis que tenen territori a l'espai natural protegit hi viuen 3677 habitants que correspon al 14,2% de la població de la comarca. A nivell demogràfic, la densitat de població dels municipis en qüestió és relativament baixa i s'ha detectat una pèrdua de població durant les darreres dècades. Ribes de Freser destaca com a subcentre comarcal. Alhora, el fenomen de segona residència és important.

Taula 4. Dades generals dels municipis inclosos al Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser. QUE: Queralbs, MOLL: Molló, PAR: Pardines, PLA: Planoles, RDF: Ribes de Freser, SET: Setcases, TOS: Toses, VIL: Vilallonga de Ter. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'IDESCAT (2014).

	QUE	MOLL	PAR	PLA	RDF	SET	TOS	VIL
Superfície (km ²)	93,5	43,1	31,0	18,8	41,9	49,1	57,9	64,2
Població 2013	185	356	158	302	1891	189	149	447
Densitat (hab·km ⁻²)	2,0	8,3	5,1	16,1	45,9	3,8	2,6	7,0
Habitatges totals 2011	356	433	203	609	1608	422	208	744
Ocupació sector primari 2001 (%)	15,3	23,2	20,3	4,8	3,6	17,3	15,3	18,5
Ocupació sector industrial 2001 (%)	14,1	25,6	15,6	20,3	26,3	8,6	17,3	13,1
Ocupació sector construcció 2001 (%)	3,8	11,0	15,6	9,8	13,5	12,3	8,5	21,3
Ocupació sector terciari 2001 (%)	86,7	40,1	48,4	48,4	56,5	61,7	52,5	46,9

La ramaderia és una de les activitats característiques i tret identitari de la regió, ja que la gran extensió de pastures permanents dels estatges subalpí i alpí permeten un aprofitament ramader extensiu dominat pel vacum de carn i, en menor mesura, l'oví i l'equí. Les pastures es realitzen, majoritàriament, en regions d'utilitat pública, propietat dels Ajuntaments i també de la Generalitat. Destaca l'existència de tres races autòctones: la vaca bruna dels Pirineus, el cavall pirinenc català i l'ovella ripollesa. Una altra activitat econòmica de la regió és l'aprofitament forestal que és d'una forta tradició molt arrelada als municipis de l'àmbit d'estudi. Tanmateix, l'activitat extractiva va tenir una importància en l'economia comarcal a finals del segle XIX i principis del segle XX. Actualment, només resten abandonades petites mines a la perifèria de l'àmbit inclòs al PEIN.

Aquestes tres activitats (ramaderia, aprofitament forestal i mineria) han estat progressivament abandonades en els territoris d'alta muntanya. La concepció de l'alta muntanya ha canviat durant les darreres dècades en el procés de canvi Global, passant de ser un objecte important d'explotació de recursos naturals en el passat, a figures de conservació amb un gran valor ecològic i patrimonial en les que les activitats cinegètiques, i sobretot el turisme, són les fonts econòmiques principals.

El Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser es troba íntegrament dins de la Reserva Nacional de Caça Freser-Setcases, amb una extensió total de 20289 ha. A la reserva es regula la caça, esdevenint emblemàtic l'isard. La venda de permisos de trofeu genera un significatiu flux econòmic. En quant a la pesca, la zona està declarada reserva genètica de truites. Aquesta activitat es practica depenent dels règims existents en cada tram (zona lliure de pesca, pesca controlada, pesca controlada sense mort i refugi de pesca).

Per últim, l'activitat socioeconòmica principal és el turisme. El turisme correspon a una font de riquesa per la regió molt important. Alhora, aquest aspecte és especialment rellevant en el context actual de canvi Global, en el qual les activitats econòmiques i usos característics de les zones d'alta muntanya estan sent paulatinament desplaçades pel turisme rural i de muntanya. Aquest fet ha generat la necessitat de crear figures de protecció específiques per tal de preservar aquests espais de gran valor natural, patrimonial i científic, amb l'objectiu de regular les activitats a la muntanya per a que siguin sostenibles. No obstant, la declaració dels espais protegits, sota la figura de Parcs Nacionals o Naturals, no ha fet més que accentuar el canvi d'usos, i atreure un gran número de visitants a zones en les quals, fa només algunes dècades, el turisme era molt escàs.

En particular, l'Espai Natural ha esdevingut al llarg del temps un dels espais emblemàtics de la muntanya catalana. La bellesa del paisatge, conjuntament amb l'existència del santuari de Núria, i de zones destinades a la pràctica de l'esquí i el muntanyisme, van convertir aquest espai en un indret reconegut i freqüentat. Estudis recents presentats per Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) indiquen que la repercussió a la comarca, tant de les estacions d'esquí com del cremallera, s'estima en 45 milions d'euros a l'any. Específicament, Núria s'ha convertit en un centre important de pelegrinatge, i un destí turístic que ofereix multitud d'activitats i serveis. L'any 2013, van accedir a Núria, ja sigui a partir del cremallera o bé a peu a través dels camins adequats, 265000 persones. En relació al turisme, l'ocupació laboral majoritàriament correspon al sector terciari, caracteritzades per una qualificació relativament baixa i també baix nivell assalariat. Als 8 municipis dins l'espai protegit hi ha 32 hotels i hostals i 4 càmpings, suposant el 30% de les places del total del Ripollès.



Figura 25. Vista del Santuari de Núria des del camí de Fontalba a Núria. Font: Elaboració pròpia del 13 d'octubre del 2018.

4. Metodologia

4.1. Esquema metodològic

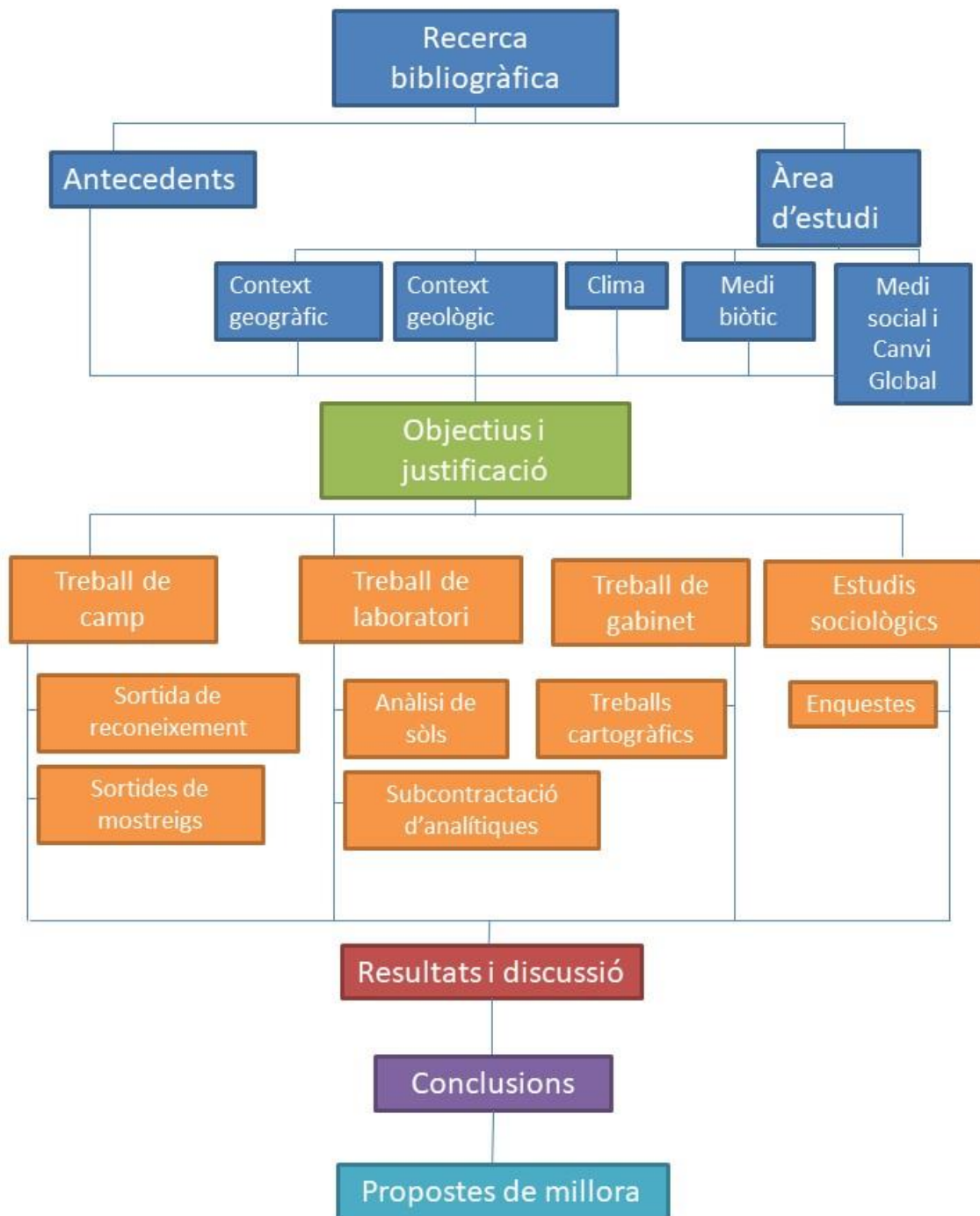


Figura 26. Esquema metodològic.

4.1. Estudis sociològics

Aquest estudi es va realitzar per tal d'assolir el primer objectiu del treball, que era necessari per conèixer la realitat del canvi Global a la percepció de la població i justificar plenament aquest projecte.

4.1.1. Enquestes

Les enquestes es realitzaren a l'àrea d'estudi a partir de dos qüestionaris dirigits a la població local i als visitants del Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser. La mostra va ser escollida a l'atzar, tenint en compte que s'havien de fer com a mínim trenta enquestes per a cada qüestionari. El qüestionari dirigit a la població local constava de quatre blocs de preguntes (canvi d'usos del sòl, valors de la muntanya, qualitat de l'aigua a l'alta muntanya i efectes del canvi climàtic). El qüestionari als visitants no contenia preguntes sobre el canvi d'usos del sòl sinó que contenia preguntes dirigides a caracteritzar el visitant.

4.2. Treball de camp

Aquest treball de camp tenia com a finalitat l'obtenció de dades que permetessin assolir el segon i tercer objectiu. Inicialment, es va dur a terme una sortida al camp per observar i reconèixer la zona i caracteritzar i ubicar els drenatges àcids i les pàtines blanques. A partir de la informació obtinguda a la sortida de reconeixement, s'establí un itinerari amb la ubicació dels punts de mostreig, i seguidament, es realitzaren les sortides necessàries per tal de recollir les mostres. Es va tenir en compte el moment de l'any en el qual es van recollir, i el nombre de repeticions necessàries perquè els resultats fossin precisos i representatius. Es van realitzar mostres d'aigua, amb l'objectiu de fer un posterior anàlisi al laboratori per conèixer la seva composició química. També es va mesurar el pH i la electroconducció (EC) de l'aigua *in situ*, i es van prendre mostres de sòls i pàtines.

4.1.1. Campanya de reconeixement

Es realitzà una primera sortida a l'àrea d'estudi amb l'objectiu d'observar i reconèixer la zona i els processos de precipitació dels drenatges àcids. A partir de l'anàlisi de la zona realitzat en aquesta sortida i de l'observació d'imatges satèl·lit amb sistemes d'informació geogràfica, es va escollir l'itinerari i els punts de mostreig d'aigua per a les següents sortides (Figura 29). Els criteris utilitzats per triar els punts de mostreig d'aigua foren: zones on s'observin precipitacions de pàtines blanques, surgències que proveeixen aigua a aquestes zones, zones on hi ha consum humà com ara fonts o brolladors propers a camins i zones representatives de l'àrea d'estudi.



Figura 27. Mapa del itinerari realitzat durant les sortides de camp. Font: Elaboració pròpia a partir de l'aplicació Google Earth.

4.1.2. Campanyes de mostreig

Es van realitzar tres sortides espaiades en el temps per recollir mostres d'aigua per l'anàlisi de la composició química i per fer mesures de pH i EC. Una a finals de primavera, després del desgel i dues a principis de tardor, abans de les primeres nevades, amb un any de diferència entre elles. En les sortides es seguí l'itinerari marcat (Figura 29), de manera que es van repetir els mateixos punts de mostreig en les diferents sortides, amb l'objectiu d'obtenir una base estadística més sòlida i poder observar una possible evolució del procés estudiat.

Pel que fa a les mostres de sòls, a causa de la seva complexitat de tractament i anàlisi de les mostres al laboratori, tan sols es van prendre una vegada, i en punts de l'àrea d'estudi que denotaven un especial interès. Les mostres es van agafar en l'última sortida de camp, un cop coneguts els resultats de la composició de l'aigua, l'acidesa i la EC dels punts de mostreig de les anteriors sortides, i es va poder triar en funció d'aquesta informació els punts més adequats per aquests mostreigs. En la darrera sortida també es van agafar mostres de precipitats blancs a les zones afectades, per tal d'analitzar la composició química.

A continuació s'exposen els procediments i el material utilitzats pels diferents mostrejos, i la ubicació seleccionada per a cada un d'ells.

4.1.2.1. Mesures de pH i conductivitat

La mesura de l'acidesa i l'EC va ser el primer pas per localitzar el fenomen de drenatge àcid. Les aigües afectades per aquests processos han de presentar, com és natural, valors de pH baixos. Aquests paràmetres es van mesurar *in situ*, per mitjà d'un pH-metre i un conductímetre portàtils. El procediment per prendre les mesures és senzill. Es col·loca l'elèctrode de l'aparell dins l'aigua en moviment i s'espera a que s'estabilitzi el valor que marca el mesurador.

4.1.2.2. Mostres d'aigua

El procediment empleat per recollir mostres d'aigua pel posterior anàlisi de la composició química, va consistir en mostrejar aigua en dos flascons de 50 mL en diferents punts escollits de l'itinerari. Cal acidificar les mostres per tal d'evitar la precipitació de metalls dissolts. Els flascons

cal que estiguin etiquetats, i s'han de guardar en un nevera portàtil, per mantenir la seva temperatura.

4.1.2.3. Mostres de sòls

La recollida de mostres de sòls per al seu posterior anàlisi tenia com a objectiu descartar el possible paper del sòl com a generador de l'acidesa de l'aigua. Es realitzaren dos mostrejos en sòls propers als drenatges àcids, i un mostreig en un sòl de l'àrea d'estudi llunyà a les zones afectades per aquest procés. El procediment de mostreig consisteix en buscar dins la zona seleccionada un punt on el sòl estigui exposat, i amb una pala retirar la primera capa de sòl i excavar fins trobar el substrat rocós. A continuació mesurar amb un cinta mètrica el gruix del sòl, diferenciar els diferents horitzons visibles i agafar 500 mg de cada un d'ells i posar-los en una bossa de plàstic hermètica.



Figura 28. Secció de sòl a la vall de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

4.1.2.4. Mostres de precipitats blancs

La composició química de les pàtines dona informació sobre el fenomen de precipitació dels elements presents a l'aigua. Per obtenir mostres de pàtina, es van agafar còdols del torrent de la Coma de l'Embut recoberts amb precipitats blancs, i es van posar en una bossa de plàstic hermètica.

4.2. Treball de laboratori

L'objectiu del treball de camp va ser dur a terme una recollida de mostres per tal d'analitzar-les al laboratori. A causa de l'elevat nombre de mostres i la complexitat del seu anàlisi, les mostres de precipitats blancs i d'aigua es realitzaran a partir de subcontractacions.

4.2.1. Anàlisi de sòls

Per tal de valorar les propietats fisicoquímiques dels sòls i la seva possible influència en la mobilització d'elements procedents dels drenatges àcids, es duran a terme anàlisis de pH i EC.

Posteriorment al mostreig en el camp, les mostres van requerir un procés de preparació per tal de poder realitzar qualsevol tipus d'anàlisi. En primer lloc, cal assecar-les per tal d'aïllar la fase sòlida, aquella que s'analitzarà, deixant-les sobre paper de diari a l'aire durant uns quants dies. Posteriorment, es procedirà a desfer els agregats de terra amb un corró i passar la mostra per un sedàs de 2 mm de diàmetre per tal de separar la terra fina, necessària per fer les anàlisis, i els elements grossos.

4.2.1.1. pH

El material i el procediment per a la mesura de pH del sòl és el següent:

- **Material:**
 - pH-metre.
 - Vasos de plàstic.
 - Varettes per remenar.
 - Pipeta de 25 mL.
 - Aigua destil·lada

- **Procediment:**
 1. Posar 10 g de terra fina assecada a l'aire dins d'un vas de plàstic i barrejar amb 25 mL d'aigua destil·lada (les quantitats poden variar però cal mantenir la relació 1:2,5 p/v). Si el sòl és molt orgànic, afegir 50 mL d'aigua destil·lada (relació 1:5 p/v).
 2. Remenar periòdicament durant 30 minuts, aproximadament. Submergir l'electrode del pH, esperar a la seva estabilització i llegir la lectura del pH-metre, que serà l'acidesa actual. A l'acabar, rentar l'electrode amb abundant aigua destil·lada.

4.2.1.2. Conductivitat elèctrica

El material i el procediment per a la mesura de pH del sòl és el següent

- **Material**
 - Embut
 - Matràs Erlenmeyer
 - Matràs Kitasato
 - Paper de filtre
 - Aigua destil·lada
 - Pipeta de 25 mL
 - Embut Buchner

- **Procediment**
 1. Posar 10 g de terra fina assecada a l'aire dins d'un vas de plàstic i barrejar amb 50 mL d'aigua destil·lada, en relació 1:5 p/v.
 2. Remenar periòdicament durant 60 minuts, aproximadament. Abocar el contingut de la barreja a un embut amb un paper de filtre sobre un matràs Erlenmeyer i esperar a obtenir el filtrat. Si la barreja és molt espessa, caldrà filtrar al buit. En aquest cas, abocar la mostra a un embut Buchner amb un paper de filtre sobre un kitasato, que estarà connectat a la trompa de buit. Esperar a obtenir el filtrat.
 3. Abocar el filtrat a un vas de plàstic i mesurar l'EC amb el conductímetre.

4.2.2. Subcontractació d'anàlisi

4.2.2.1. Anàlisi de les mostres d'aigua

Les mostres d'aigua per tal de determinar la composició química seran analitzades amb la tècnica ICP-MS (*Inductively Couple Plasma Mass Spectrometry*). Aquesta tècnica permet determinar de forma quantitativa quasi tots els elements de la taula periòdica que tinguin un potencial de ionització més baix que l'argó en concentracions molt baixes. Consisteix en transportar la mostra líquida, per mitjà d'una bomba peristàltica fins un sistema nebulitzador on es transforma en aerosol a causa de l'acció del gas argó. Aquest aerosol és conduït a la zona de ionització, que consisteix en un plasma generat al sotmetre un flux de gas argó a l'acció d'un camp magnètic oscil·lant induït per un corrent d'alta freqüència. La temperatura del plasma pot

assolir uns 8000K. Els àtoms presents a la mostra són ionitzats, i passen a l'interior d'un filtre quadrupolar a través d'una interfase de buit creixent. Allà els ions són separats segons la seva relació càrrega/massa. Cada massa sintonitzada (és a dir, cada element) arriba al detector, on s'avalua la seva abundància a la mostra.

Aquests anàlisis es van dur a terme per part del Grup de Tècniques de Separació en Química (GTS) i pel Servei d'Anàlisi Química (SAQ) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). A les mostres de la primera campanya es van analitzar les composicions químiques en alumini, ferro, arsènic, titani i potassi. A les mostres de la segona campanya es van analitzar les composicions químiques en alumini, crom, manganès, ferro, cobalt, níquel, coure, zinc, arsènic, cadmi, mercuri i plom.

4.2.2.2. Anàlisi de les mostres de precipitats blancs

Les mostres de precipitats blancs es van analitzar amb la tècnica ICP-MS per tal d'identificar els elements dels quals es componen. Com que aquest mètode requereix una mostra líquida, el precipitat serà sotmès prèviament a l'espectrometria a una digestió àcida durant 24 hores. Aquest procediment es durà a terme pel Grup de Tècniques de Separació en Química (GTS) de la UAB.

4.3. Treball de gabinet

4.3.1. Treballs cartogràfics

Per tal de descriure l'evolució temporal del fenomen, es va realitzar un anàlisi de fotografies aèries de les últimes dècades a partir de l'aplicació VISSIR v3.26 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). La identificació dels precipitats blancs es basa en l'observació de colors blanquinosos en les lleres dels rius i rierols, els quals contrasten amb els colors més foscos de l'aigua del curs fluvial i del substrat. Aquestes taques blanques observades a les imatges aèries s'ha pogut corroborar en les campanyes de camps que corresponen a precipitats de patines blanques. Tot i així, l'anàlisi de l'evolució dels precipitats blancs a partir d'un estudi de fotointerpretació té certes limitacions i inconvenients, com és el curt espai temporal que abasta, ja que es tenen imatges aèries des de relativament poc temps, i la dificultat de la identificació de precipitats blancs en les ortofotos més antigues, les quals són en blanc i negre i de menys qualitat i resolució.

Per tal d'identificar els hàbitats presents a la zona d'estudi s'utilitzaran els mapes d'hàbitats disponibles al Servidor de mapes d'hàbitats i de vegetació (SEMHAVEG) del Grup de Recerca de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació de la Universitat de Barcelona (UB). La Cartografia d'hàbitats a Catalunya i el sistema de codificació de la Directiva Hàbitats seran els dos sistemes diferents de classificació d'hàbitats que es tindran en compte a l'inventari. El primer està basat en la Llista d'hàbitats de Catalunya, que és l'adaptació del CBM (*CORINE Biotopes manual*). El segon distingeix entre diferents Hàbitats d'Interès Comunitari (HIC). Les unitats d'una classificació i l'altra no es corresponen directament, sinó que una unitat de HIC acostuma a contenir diverses unitats de CBM.

5. Resultats

5.1. Resultats de les enquestes

A continuació s'exposen els resultats extrets de les enquestes realitzades a Ribes de Freser als visitants de la Vall de Núria i a la població local. L'objectiu de les enquestes és extreure informació sobre la percepció dels espais d'alta muntanya. Tant l'enquesta realitzada als visitants com a la població local han estat elaborades amb una mostra de 30 persones.

5.1.1. Resultats de les enquestes als visitants

L'enquesta realitzada als visitants (Figura 4 de l'Annex) està organitzada en quatre blocs. El primer té l'objectiu de caracteritzar les persones enquestades segons l'activitat que realitza a la muntanya i la freqüència en què hi va, i els tres següents consisteixen en conèixer la percepció que tenen sobre els espais d'alta muntanya, la qualitat de l'aigua i l'afectació del canvi climàtic a la regió.

La mostra ha estat seleccionada a l'atzar amb la premissa que fossin visitants de la zona de Núria. Aquesta mostra presenta les següents característiques:

- La majoria dels enquestats es troben en l'interval d'edat 51-75 anys. En canvi, l'interval amb menys representació és el que inclou als menors de 25 anys (Figura 6 de l'Annex).
- Si es fa una divisió per gènere, la mostra presenta una proporció exacta entre homes i dones (Figura 7 de l'Annex).
- Pel que fa al lloc de residència, més del 50%, viu actualment a l'Àrea Metropolitana (Barcelonès, Baix Llobregat i Vallès Occidental) (Figura 8 de l'Annex).
- L'ocupació laboral és molt diversa. Tot i així, els serveis són el sector en el qual hi treballa un nombre més elevat dels enquestats, seguit de persones jubilades (Figura 9 de l'Annex).

L'anàlisi dels resultats extrets a través de les enquestes es durà a terme pels quatre blocs esmentats anteriorment. Aquest anàlisi permetrà realitzar una diagnosi sobre la percepció dels espais d'alta muntanya i els canvis d'usos dins del context de canvi Global dels visitants. La informació obtinguda és la següent:

- El primer bloc de l'enquesta als visitants, extreu que han augmentat les visites als espais d'alta muntanya. Majoritàriament, el turisme i l'esport corresponen a l'activitat que més practiquen els visitants a l'entorn de Núria. (Figures 10, 11 i 12 de l'Annex)
- El segon bloc de l'enquesta als visitants es basa en la percepció dels espais d'alta muntanya. S'extreu que els visitants indiquen els valors paisatgístics i ecològics com els més importants (Figura 13 de l'Annex). Opinen en un 87% dels enquestats que s'ha de protegir amb un nivell màxim de mesures de conservació, i un 13% amb abundants mesures de conservació (Figura 14 de l'Annex). Finalment, gairebé la totalitat (97%) dels enquestats responen afirmativament quan se'ls pregunta si els espais d'alta muntanya tenen efectes sobre la seva salut, i determinen que aquests efectes són positius (Figura 15 de l'Annex).
- El tercer bloc de l'enquesta de visitants correspon a una pregunta que es basa en la percepció dels visitants sobre la qualitat de l'aigua de les fonts i torrents als espais d'alta muntanya. De les respostes s'extreu que els visitants opinen, generalment, que l'aigua té una qualitat de bona a excel·lent (47% i 53% respectivament) (Figura 16 de l'Annex).
- El quart bloc de l'enquesta de visitants es basa en copsar la percepció dels visitants sobre el canvi climàtic a l'entorn de Núria. El 87% dels enquestats creuen que el canvi climàtic

ha afectat a la regió. Els efectes que exposen són un increment de la temperatura i una acumulació menor de neu principalment (Figures 17 i 18 de l'Annex).

5.1.2. Resultats de les enquestes a la població local

L'enquesta realitzada a la població local (Figura 5 de l'Annex) està organitzada en quatre blocs. El primer té l'objectiu de conèixer la percepció de l'evolució de les principals activitats econòmiques en els darrers anys, i els tres següents consisteixen en conèixer la percepció que en tenen sobre els espais d'alta muntanya, la qualitat de l'aigua i l'afectació del canvi climàtic a la regió.

La mostra ha estat seleccionada a l'atzar amb la premissa que fossin residents de la zona de Núria. Aquesta mostra presenta les següents característiques:

- L'interval d'edat amb un nombre major d'enquestats és el de 51-75 anys, seguit de l'interval de 26-50 anys (Figura 19 de l'Annex).
- Si es fa una divisió per gènere, el 47% són homes mentre que el 53% de les enquestades són dones (Figura 20 de l'Annex).
- Pel que fa al lloc de residència, 26 persones enquestades resideixen a Ribes de Freser mentre que els 4 restats viuen a Queralbs i Pardines (Figura 21 de l'Annex).
- Una gran part de la mostra enquestada està jubilada. Per altra banda, l'ocupació laboral és diversa, però majoritàriament treballen en el sector serveis (Figura 22 de l'Annex).

L'anàlisi dels resultats extrets a través de les enquestes es durà a terme pels quatre blocs esmentats anteriorment. Aquest anàlisi permetrà realitzar una diagnosi sobre la percepció dels espais d'alta muntanya i els canvis d'usos dins del context de canvi Global de la població local. La informació obtinguda és la següent:

- De l'anàlisi del primer bloc es dedueix que un 57% dels enquestats de població local ha treballat o treballa a l'entorn de Núria (Figura 23 de l'Annex). El sector serveis és l'activitat econòmica principal de la regió segons les respostes dels enquestats (Figura 24 de l'Annex). Pel que fa a l'evolució de les principals activitats econòmiques en els darrers 50 anys, la població local opina que la ramaderia, l'agricultura, la mineria i l'aprofitament forestal han disminuït. En canvi, ha estat els serveis i el turisme els que han augmentat considerablement. (Figura 25 de l'Annex).
- El segon bloc de l'enquesta a la població local es basa en la percepció dels espais d'alta muntanya. S'extreu que la població local indica els valors paisatgístics, ecològics i turístics com els més importants (Figura 26 de l'Annex). En relació, el 73% dels enquestats opinen que és necessari protegir els espais d'alta muntanya amb un nivell màxim de mesures de conservació (Figura 27 de l'Annex). Finalment, gairebé la totalitat dels enquestats responen afirmativament quan se'ls pregunta si els espais d'alta muntanya tenen efectes sobre la seva salut, i determinen que aquests efectes són positius o molt positius (Figura 28 de l'Annex).
- El tercer bloc de l'enquesta de la població local correspon a una pregunta que es basa en la percepció dels visitants sobre la qualitat de l'aigua de les fonts i torrents als espais d'alta muntanya. De les respostes s'extreu que els visitants opinen, generalment, que l'aigua té una qualitat de bona a excel·lent (57% i 27%, respectivament). Un 16% de la població local enquestada opina que la qualitat de l'aigua és de dolenta a molt dolenta (Figura 29 de l'Annex).
- El quart bloc de l'enquesta de la població local es basa en copsar la percepció sobre el canvi climàtic a l'entorn de Núria. El 83% dels enquestats creuen que el canvi climàtic

ha afectat a la regió. Els efectes que exposen són un increment de la temperatura, una acumulació menor de neu i augment de les sequeres principalment (Figures 30 i 31 de l'Annex).

5.2. Caracterització hidroquímica de les masses d'aigua

Durant les tres campanyes realitzades al camp, s'han fet diverses mesures i mostres a quinze ubicacions (Figura 1 de l'Annex). Durant totes les campanyes es van mesurar el pH, l'EC i la temperatura *in situ* en tots els punts i es van agafar mostres per a anàlisis hidroquímics en alguns d'ells (Taula 1 de l'Annex). Les coordenades d'aquests punts de mostreig es troben a la Taula 2 de l'Annex, així com una breu descripció.

La conductivitat mesurada als quinze punts varia entre $20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, corresponents a aigües de molt baixa mineralització, habituals en zones de capçalera de valls d'alta muntanya, fins a $600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Generalment són valors de conductivitat elèctrica baixos, tenint en compte que l'aigua de consum humà ha de tenir una conductivitat elèctrica inferior a $2500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (RDL 1798/2010, de 30 de desembre). Tot i així, considerant que són aigües d'alta muntanya, alguns punts de mostreig presenten valors relativament alts, similars a valors corresponents a aigües de cursos mitjans de riu o aigües de distribució. Per exemple l'aigua de consum de la ciutat de Manresa, procedent del curs mitjà del riu Llobregat, presenta un valor mig de conductivitat de $534 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ durant l'any 2018 (Aigües de Manresa, 2018), similar a valors mesurats alguns punts de l'àrea d'estudi. L'EC de les aigües a l'àrea d'estudi depèn de la zona on s'ubica el punt de mostreig. Les aigües de capçalera presenten una EC superior a la vessant sud, amb valors que varien generalment entre els 300 i $600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. A la vessant nord, les conductivitats són més baixes, presentant valors generalment per sota de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Al curs mig dels torrents, les conductivitats són un reflex de la barreja d'aigua dels dos vessants, amb valors generalment entre $20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i $300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, que es mantenen fins la confluència amb el torrent de Finestrelles (punt NM1Y), que té conductivitats inferiors a $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Taula 5). Les fonts del Doctor Tarrés (punt FT) i Ramón Bassols (punt FRB) presenten algunes de les conductivitats més baixes, variant els valors entre $87 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i $156 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

El pH mesurat en els quinze punts varia entre 4,8 i 7,5. Els valors evidencien un pH àcid generalitzat, en comparació a les aigües de consum, com ara les de Manresa que presenten un valor mig de pH de 7,8 (Aigües de Manresa, 2018). A les aigües de la capçalera es detecten els pH més baixos en aigües de surgències del vessant sud. Els valors de pH d'aquestes surgències varien entre 4,8 i 5,7, i presenten un pH mig de 5,1 i una mediana de 5,0 segons les mesures realitzades al llarg de l'any 2017 i 2018. Les aigües del vessant nord no presenten pH tan baixos, amb valors que varien entre 6,1 i 6,5. Es poden apreciar els canvis en el pH i la EC en la zona de la capçalera dels torrents a les Figures 29 i 30, observant que la variació del pH de l'aigua està relacionat amb la variació de l'EC. Al curs mig dels torrents els pH varien entre 5,9 i 7,0 i varien a mesura que conflueixen torrents de les dues vessants. Aquests valors es mantenen en la confluència del torrent de la Coma de l'Embut amb el torrent de Finestrelles. Les fonts del Doctor Tarrés i Ramon Bassols presenten pH lleugerament àcids, d'entre 6,5 i 7,0.

La temperatura de l'aigua dels punts varia entre $1,2^{\circ}\text{C}$ i $10,6^{\circ}\text{C}$, tenint en compte que s'han pres mesures en estacions diferents de l'any. El punt de mostreig NM14, que correspon a l'aigua d'un llac sense aportació d'aigua subterrània, és l'excepció, ja que presenta una temperatura de 18°C a la mesura del juny de 2018. Les surgències de la vessant sud, a la capçalera, són les que presenten valors de temperatura més baixos, entre $1,2^{\circ}\text{C}$ i $3,1^{\circ}\text{C}$ a les campanyes de l'octubre. Les temperatures a les aigües del vessant nord són més elevades, d'entre $3,5^{\circ}\text{C}$ i $7,5^{\circ}\text{C}$ a les

campanyes de l'octubre. Al curs mig dels torrents, les temperatures augmenten aigües avall, assolint valors d'entre 5,0°C i 10,0°C, aproximadament.

En les aigües mostrejades a la zona d'estudi, la concentració de metalls és un reflex de la EC. Les aigües amb més EC presenten concentracions més altes de metalls, especialment elevades en el cas de d'Al, Mn i Ni en les surgències de la vessant sud a la zona de la capçalera dels torrents. També s'han detectat concentracions elevades d'As a les fonts Doctor Tarrés i Ramón Bassols a la zona de Núria, que multipliquen per sis el valor paramètric de la legislació sobre les aigües de consum (RDL 140/2003, de 7 de febrer) (Taula 5).

En base a les dades de la Taula 1 de l'Annex, i de manera preliminar, sembla possible distingir tres tipus d'aigua. Aquesta distinció s'ha realitzat mitjançant un anàlisi estadístic anomenat mètode AHC (*Agglomerative Hierarchical Clustering*). L'anàlisi s'ha realitzat amb dades de pH i d'EC que corresponen a les dades disponibles per a tots els punts de mostreig (Taula 1 del Annex), i són representatius de la composició fisicoquímica de l'aigua en qüestió. Segons els resultats obtinguts en aquest anàlisi estadístic, es divideix l'aigua de la vall de la Coma de l'Embut en tres classes diferents representats pels valors de pH i EC per centroides de classe (Taula 6). La classe anomenada com a 1 representa les aigües del vessant nord, les aigües de Núria i de barreja curs avall que tenen un pH més alt i una EC més baixa. La classe 2 representa les aigües de barreja a la capçalera i, finalment, la classe 3 representa les surgències àcides caracteritzades per pH més baixos i EC més altes.

L'anàlisi estadístic té certes mancances pel fet que el nombre de dades disponibles és baix, a causa de les limitacions del present projecte, per aquest motiu, per tal de validar les classes d'aigua obtingudes en l'estudi caldria prendre un volum més gran de dades.

Taula 5. Dades de pH, EC, T i concentració de metalls de la campanya de juliol del 2018. Resum de la taula 1 de l'Annex.

Punt de mostreig	Descripció	pH	Ec ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Al ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Fe ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	As ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
FRB	Font Ramón Bassols	7,0	123,0	9,1	12,0	0,3	3,8	0,3	61,0
FT	Font Dr. Tarrés	7,0	125,0	9,5	11,0	0,3	3,4	0,2	61,0
NM1Z	Curs mig del Torrent de Finestrelles	6,7	180,6	9,9	67,0	6,2	12,0	10,0	4,1
NM1X	Curs mig del Torrent de Coma de l'Embut	6,3	253,7	9,3	66,0	4,2	15,0	9,0	6,1
NM1Y	Curs mig del Torrent de Finestrelles	6,7	180,5	9,1	83,0	7,9	31,0	12,0	4,1
NM6	Surgència vessant sud	4,9	372,0	7,0	1529,0	117,0	7,7	97,0	1,2
NM7	Torrent de la Coma de l'Embut (capçalera)	5,9	242,8	6,9	934,0	68,0	13,0	49,0	0,6
NM10	Surgència vessant sud	4,8	600,0	3,3	7574,0	497,0	9,1	238,0	2,3
NM11	Surgència vessant sud	5,0	348,9	2,0	3940,0	249,0	34,0	117,0	1,3
NM12	Surgència vessant sud	5,7	304,2	1,2	323,0	54,0	6,7	42,0	0,4
NM13	L'estanyet (vessant nord)	6,1	55,8	9,0	10,0	0,5	5,9	0,2	2,2
NM14	Llac del vessant nord	6,2	20,1	18,0	77,0	2,5	50,0	0,3	0,1
NM15	Surgència vessant nord	6,2	78,9	7,3	146,0	2,8	80,0	0,9	12,0

Origen i efectes dels drenatges àcids a l'alta muntanya. El cas de la capçalera del riu Freser.

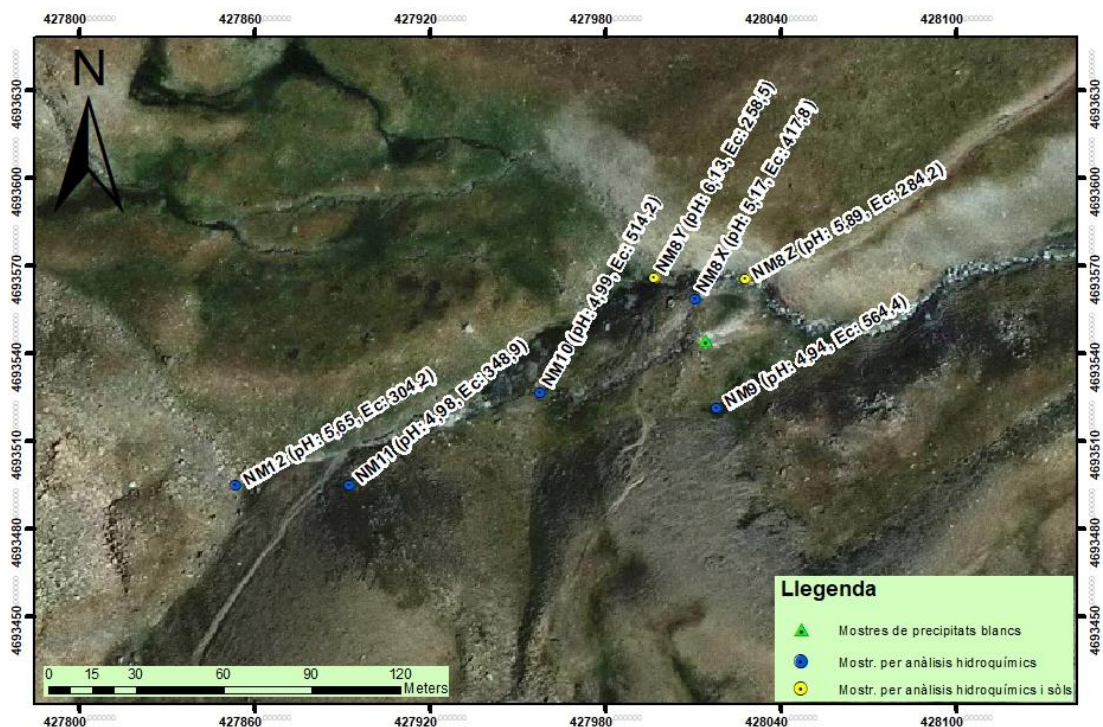
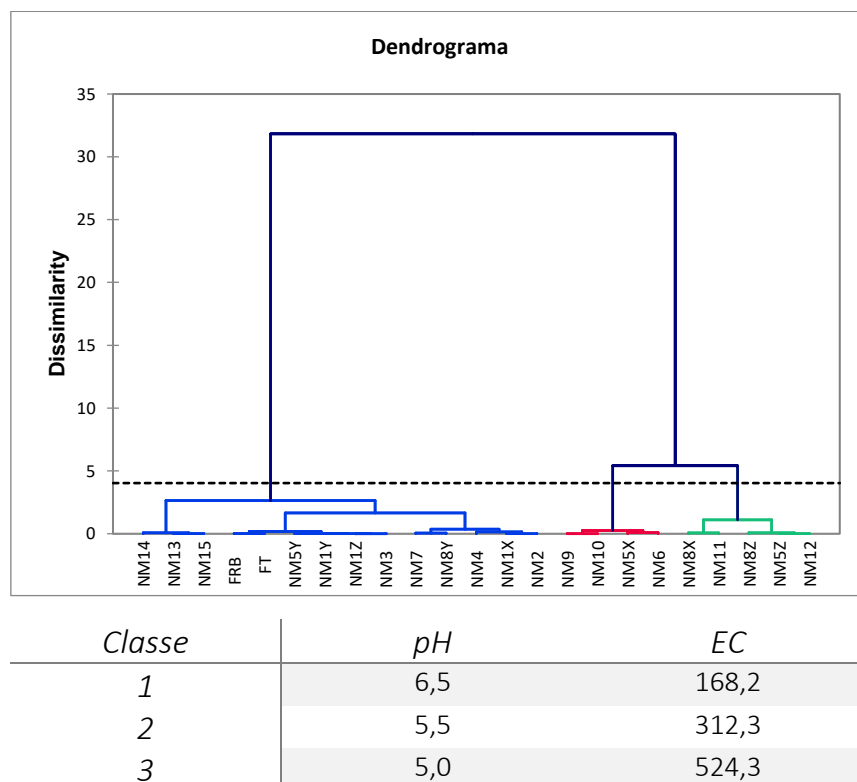


Figura 30. A) Ampliació 1 (Figura 1 de l'Annex). Punts de mostreig a la vessant sud de la capçalera amb dades de pH i EC. Mapa base ortofoto de l'any 2010, resolució 25 cm per píxel. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.



Figura 29. B) Ampliació 2 (Figura 1 de l'Annex). Punts de mostreig a la vessant sud de la capçalera amb dades de pH i EC. NM7 resulta de la confluència de NM8Z i NM9. Mapa base ortofoto de l'any 2010, resolució 25 cm per píxel. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Taula 6. Anàlisi estadístic realitzat a partir del mètode AHC.



5.3. Caracterització dels precipitats blancs

5.3.1. Reconeixement i descripció dels precipitats blancs

Els precipitats blancs a la zona d'estudi es troben distribuïts a la llera del tram superior del torrent de la Coma de l'Embut, concretament, a una alçada compresa entre 2400 m i 2550 m s.n.m.. El fenomen de precipitació es produeix sobtadament en els punts on l'aigua provinent de les surgències del vessant sud de la vall són confluïdes per rierols que provenen del vessant nord de la vall. A la zona d'aiguabarreig és on la precipitació té més magnitud (Figura 31), i va desapareixent de manera progressiva aigües avall.



Figura 31. Zona de precipitació de la capçalera del torrent de la Coma de l'Embut. Font: Elaboració pròpia del 7 d'octubre del 2017.

L'aspecte dels precipitats és d'unes pàtines blanquinoses que recobreixen la totalitat de la llera del riu, recobrint els còdols, el substrat rocós i la vegetació en el cas que se'n trobi. El recobriment de la pàtina té un gruix generalment mil·limètric, i és especialment visible en condicions seques en les quals adquireixen un aspecte polsegós i un color blanc molt estrident (Figura 32a). En condicions humides o subaquàtiques, la pàtina sembla estar hidratada. Les pàtines que tenen menys gruix de recobriment no destaquen tant perquè encara s'observa el color original de la roca (Figura 32b), mentre que es detecten alguns punts on la precipitació és tan intensa que les pàtines tenen un gruix gairebé centimètric i un color lleugerament groguenc (Figura 32c i 32d). La vegetació subaquàtica recoberta per les pàtines sembla estar morta (Figura 32b i 32d).

Les pàtines són, en general, molts similars a la descripció donada per IGC (2012) de les pàtines blanques que es troben a la llera del riu Noguera de Vallferrera, i molt similars també a la descripció feta pels membres del CEC dels precipitats blancs de la vall de la Coma de l'Embut (Vidal, 2017).

5.3.2. Anàlisi dels precipitats blancs

Les mostres de precipitats blancs es van prendre en un únic punt de mostreig on les pàtines es trobaven deshidratades (Figura 31).

L'anàlisi de les mostres es va realitzar amb la tècnica ICP-MS (*Inductively Couple Plasma Mass Spectrometry*) (Taula 7) detecta una concentració elevada de fòsfor (P), silici (Si) i alumini (Al). L'arsènic (As) té una concentració molt baixa a la mostra, únicament per sobre del titani (Ti).

Les anàlisis de 6 mostres de precipitats blancs a partir de fluorescència de raigs X (Figura 34 i Figures 2 i 3 de l'Annex) evidencien un contingut elevat i principal d'oxigen i alumini que, probablement, es troben en forma d'hidròxids d'alumini i són el component majoritari dels precipitats que també contenen traces de silici i sofre de manera variable segons la mostra. El carboni apareix en una proporció alta perquè la mostra es recobreix amb aquest element per poder-la estudiar al microscopi. La proporció dels altres elements és molt baix, excepte en el cas de la mostra 2 que té una proporció elevada de calci. Aquest calci pot provenir de carbonat de calci precipitat després de la deshidratació de l'hidròxid d'alumini. Les imatges al Microscopi Electrònic de Rastreig (MER) (Figura 33) confirmen que els precipitats són amorfs.



Figura 32. A) Llera del torrent afectat per la precipitació de pàtines en condicions seques. B) Pàtines amb poc gruix de recobriment. C) Pàtines amb molt gruix de recobriment, pràcticament centimètric en algun punt. D) Molses afectades per les pàtines. Font: Elaboració pròpia del 7 d'octubre del 2017 i del 12 d'octubre del 2018.

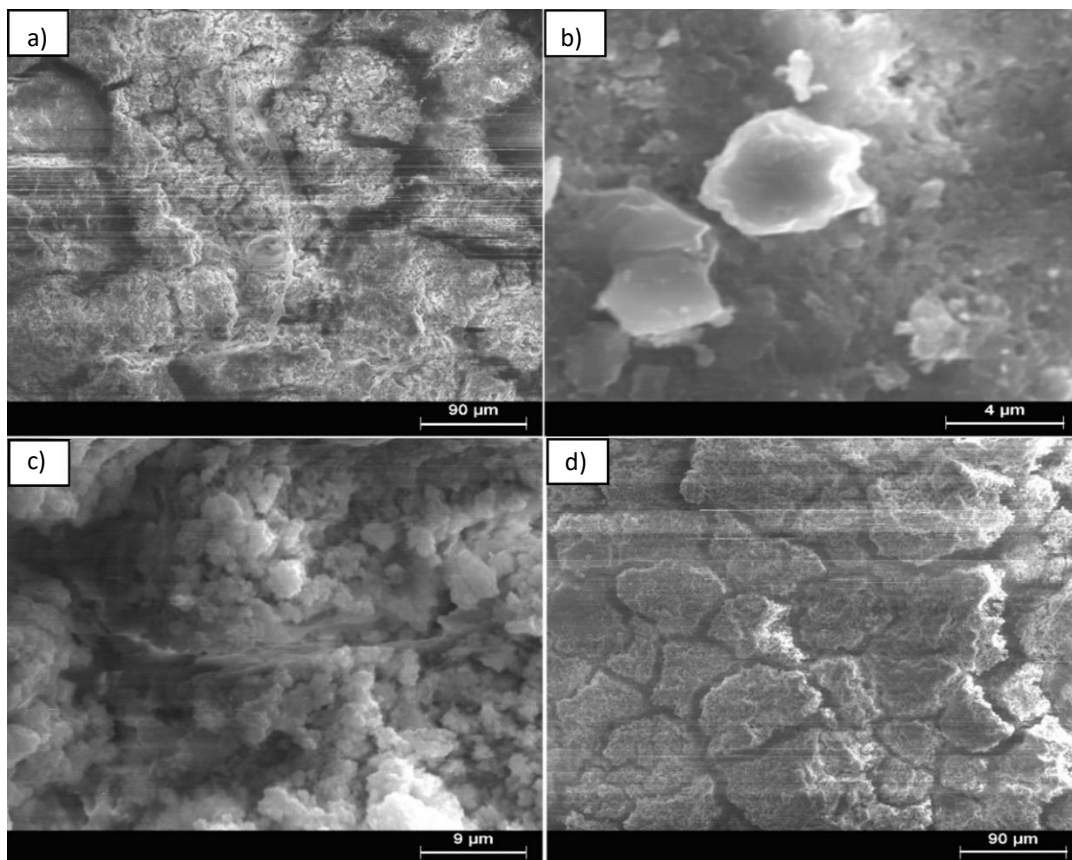


Figura 33. Imatges al microscopi electrònic de rastreig (MER) dels precipitats blancs. A) correspon a la mostra 1, i es poden observar filaments orgànics recoberts pel precipitat d'alumini. B) correspon a la mostra 2, i els cristalls que s'observen són molt probablement de carbonat de calci. A la imatge corresponent a D) és visible la formació d'esquerdes en l'hidròxid d'alumini deshidratat. Font: Carles Roqué.

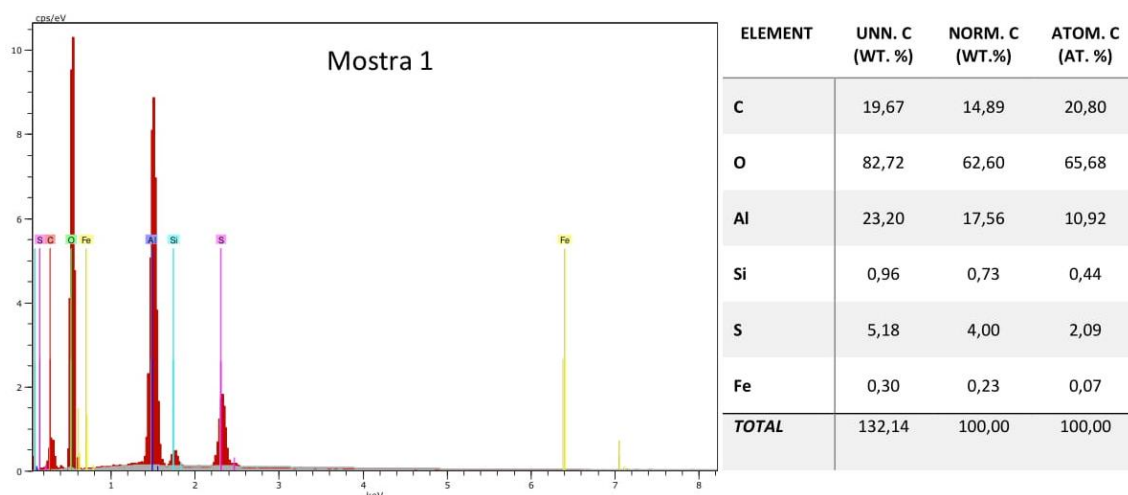


Figura 34. Difractogrames de raigs X i taules corresponents a les mostres 1. Font: Carles Roqué.

Taula 7. Resultats de l'anàlisi per ICP-MS després de diluir la mostra de precipitats blancs en 100 mL de dissolució àcida.

Element	²³ Na	²⁴ Mg	²⁷ Al	²⁹ Si	³¹ P	³² S	³³ S	³⁹ K	⁴⁷ Ti	⁵⁴ Fe	⁵⁵ Mn	⁷⁵ As
Concentració (µg · L ⁻¹)	892	3340	417000	822800	1665200	6326	6632	1966	53	11410	8678	220

5.4. Caracterització dels sòls

Durant l'última campanya de mostreig es van recollir tres mostres de sòls per ser analitzades. Aquestes mostres corresponen als punts NM8Z, NM8Y i NM13 (Figura 30 i Figura 1 de l'Annex), que corresponen a dues mostres del vessant sud, a la zona de capçalera, i una mostra del vessant nord també a la zona de la capçalera.

El sòl de la vessant nord (NM13) es va mostrejar en una zona de torbera, i presenta un perfil H, C (Figura 35a). Es caracteritza per presentar un únic horitzó H, orgànic i saturat d'aigua, sobre la roca poc meteoritzada per processos físics. Les condicions en les quals es formen aquests sòls són anaeròbiques i reductores. Els sòls de la vessant sud (NM8Z i NM8Y) no presenten cap horitzó saturat d'aigua, però difereixen lleugerament en el perfil. El sòl NM8Z presenta un perfil AC, C (Figura 35b), d'evolució incipient. El sòl NM8Y es troba més evolucionat, presentant un perfil A, C (Figura 35c). Són sòls, en general, poc potents, amb profunditats de 20 cm (NM13), 32 cm (NM8Z) i 40 cm (NM8Y).



Figura 35. A) Sòl NM13. B) Sòl NM8Z. C) Sòl NM8Y. Font: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

El pH dels sòls varia entre valors de 5,4 i 6,7 (Taula 4 de l'Annex). Precisament, el sòl del vessant nord, al contrari del que passa amb l'aigua, és el que té un pH més àcid, de 5,4. Aquest resultat confirma que aquest sòl conforma una torbera, i no una mollera, ja que l'acidesa és important. Els sòls del vessant sud donen pH de 6,4 i 6,7, valors lleugerament àcids que es corresponen amb el substrat silícic on es troben els sòls i l'acumulació de matèria orgànica. Són pH per sobre de la pK_1 de la hidròlisi del Al^{3+} , que és 5,0, pel que en aquests sòls no s'hauria de mobilitzar aquest metall.

La EC de les mostres varia entre $52,1 \mu S \cdot cm^{-1}$ i $172,1 \mu S \cdot cm^{-1}$. Són valors de EC baixos. Les mostres NM8Z i NM8Ys són les que presenten valors més baixos, fet que contrasta amb la EC de les surgències d'aigua del vessant sud, les més altes de l'àrea d'estudi.

5.5. Resultats d'anàlisi cartogràfics

5.5.1. Cartografia d'hàbitats

A continuació s'exposen els mapes d'hàbitats de la Cartografia d'hàbitats de Catalunya i dels Hàbitats d'Interès Comunitari sobre la zona d'estudi (Figures 36 i 37), amb un inventari de tots els hàbitats presents i una breu descripció. També s'inclouen els principals usos i problemes de conservació extrets del Manual d'Interpretació de la Cartografia d'hàbitats de Catalunya.

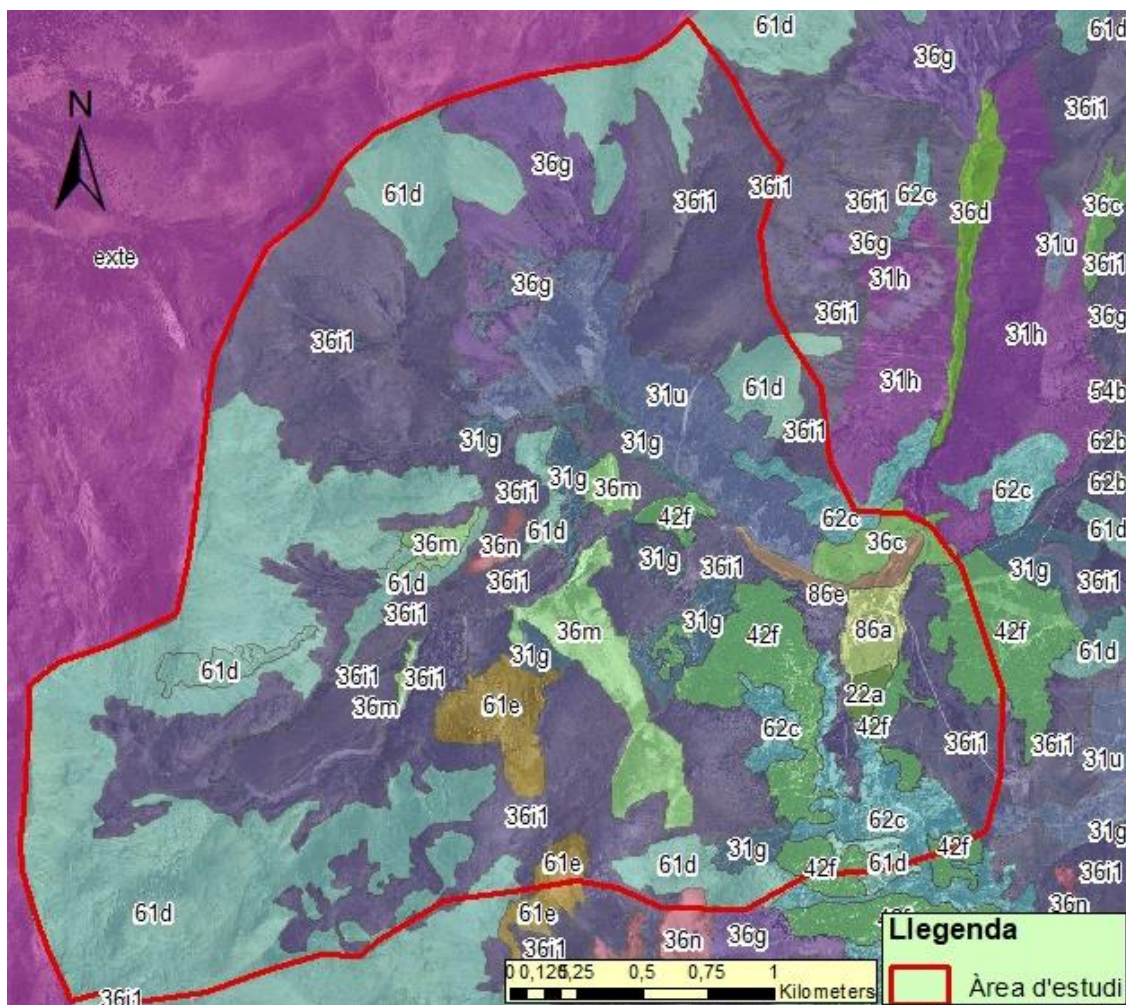


Figura 36. Mapa de la zona d'estudi amb la cartografia d'hàbitats a Catalunya (CHC50 v2). Font: Elaboració pròpia a partir la cartografia d'hàbitats de Catalunya 1:50000 (versió 2) del Grup de Recerca de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació de la Universitat de Barcelona i ortofoto PNOA 1:50.000 del CNIG.

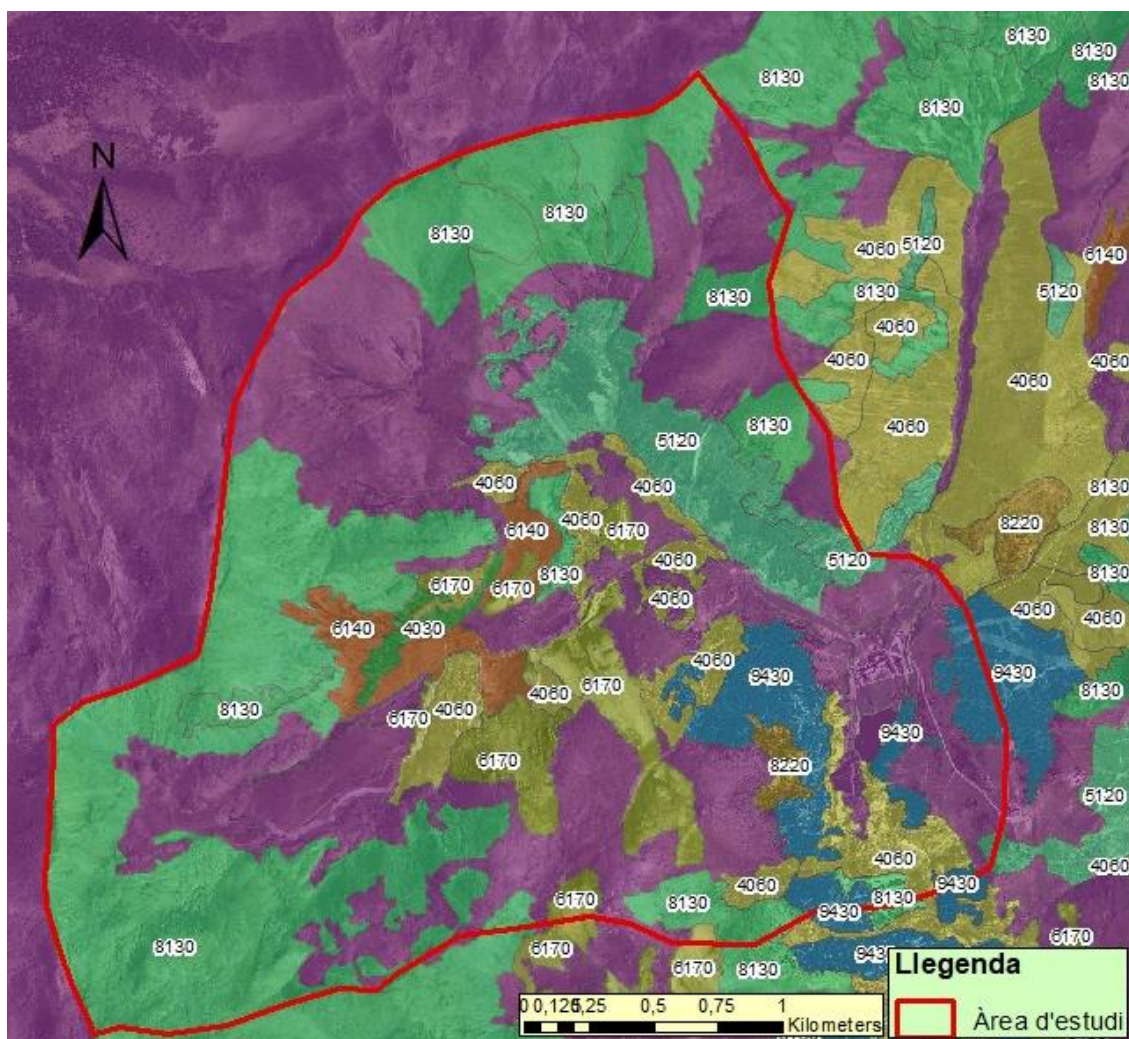


Figura 37. Mapa de la zona d'estudi amb la cartografia d'hàbitats d'interès comunitari de Catalunya (CHIC50 v2 2012). Font: Elaboració pròpia a partir la cartografia d'hàbitats d'interès comunitari de Catalunya 1:50000 (versió 2) del Grup de Recerca de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació de la Universitat de Barcelona i ortofoto PNOA 1:50.000 del CNIG.

Hàbitats de la Cartografia d'hàbitats a Catalunya

- **Aigües continentals**

- **22a:** Estanys i embassaments d'alta muntanya, incloent-hi, si és el cas, les formacions de grans càrexs associades.

Els usos i problemes de conservació principals d'aquest hàbitat són la introducció de peixos que afecten greument a la biocenosi. Aquesta unitat inclou una gran diversitat d'hàbitats que no permet fer consideracions generals.

- **Vegetació arbustiva i herbàcia**

- **31g:** Neretars (matollars de *Rhododendron ferrugineum*) acidòfils, d'indrets ben innivats de l'alta muntanya.

No té usos ni problemes de conservació coneguts. Es veu afavorit pel mal ús forestal i les pastures abandonades.

- **31u:** Balegars (matollars de *Genista balansae*) silicícola, de vessants solells de l'alta muntanya.

No té usos ni problemes de conservació coneguts. El bosc de pi negre pot colonitzar els matollars secundaris.

- **36c:** Prats de pèl caní (*Nardus stricta*) o de *Bellardiochloa variegata*, acidòfils i mesòfils, de l'alta muntanya pirinenca.
No té problemes de conservació coneguts tot i que les pastures poden afectar aquest hàbitat si són excessives, reduint la presència de pèl caní i la diversitat florística.
 - **36g:** Gespets (prats de *Festuca eskia*) sovint esglaonats, acidòfils, dels vessants solells de l'alta muntanya pirinenca.
No té problemes de conservació coneguts però les pastures d'ovelles poden afectar al sòl i degradar l'hàbitat.
 - **36i1:** Prats de *Festuca airoides* de l'estatge alpí del Pirineu.
Sense problemes de conservació coneguts però és pasturat per ovelles i eugues.
 - **36m:** Prats de *Kobresia myosuroides*, calcícoles, de l'estatge alpí dels Pirineus.
Sense problemes de conservació coneguts.
Sense problemes de conservació coneguts, però és habitualment pasturat per ovelles. El canvi climàtic el pot afectar a mitjà termini.
 - **36n:** Prats d'ussona (*Festuca gautieri*) i comunitats anàlogues, calcícoles i mesoxeròfils, de l'alta muntanya pirinenca.
Sense problemes de conservació coneguts, però és pasturat per ovelles. És previsible que la disminució de pastura disminueixi els prats secundaris per l'extensió dels boscos.
 - **Boscos**
 - **42f:** Pinedes de pi negre (*Pinus uncinata*) generalment amb neret (*Rhododendron ferrugineum*), acidòfiles i mesòfiles, dels obacs pirinencs.
En quant als usos i problemes de conservació coneguts, cal indicar que tenen una regeneració bona i que estan colonitzant superfícies antigament dedicades a la pastura. Els usos principals són l'aprofitament forestal i la recol·lecció de bolets. Les pistes d'esquí comporten l'eliminació dels boscos.
 - **Roques, tarteres i glaceres**
 - **61d:** Tarteres i pedrusques silícies de l'alta muntanya.
Sense usos ni problemes de conservació coneguts, però es pot veure afectat pel pas d'excursionistes.
 - **61e:** Tarteres i pedrusques calcàries de l'alta muntanya.
 - Sense usos ni problemes de conservació coneguts, però es pot veure afectat pel pas d'excursionistes.
 - **62c:** Singles i penyals silícis de muntanya.
En general, no se'n fa cap ús.
 - **Terres agrícoles i àrees antròpiques**
Al ser àrees antròpiques, és evident que se'n fa un ús i s'ha hagut de degradar algun hàbitat prèviament.
 - **86a:** Àrees urbanes i industrials, inclosa la vegetació ruderal associada.
 - **86e:** Àrees revegetades: mines a cel obert, pistes d'esquí, etc.
- Hàbitats d'interès comunitari*
- A la zona d'estudi es troben diversos hàbitats d'interès comunitari, però cap de prioritari.
- **Landes i matollars de les zones temperades**
 - **4030:** Landes atlàntiques i subatlàntiques seques.
 - **4060:** Matollars alpins i boreals.

- **Matollars esclerofil·les**
 - **5120:** Formacions muntanyenques de bàlec (*Genista balansae* subsp. *europaea*=*Cytisus purgans*).
- **Pastures naturals i seminaturals**
 - **6140:** Gespets tancats, silicícoles, dels Pirineus.
 - **6170:** Prats calcícoles alpins i subalpins.
- **Hàbitats rupícoles**
 - **8130:** Tarteres de l'Europa meridional amb vegetació poc o molt termòfila.
 - **8220:** Costers rocosos silicis amb vegetació rupícola
- **Bosc**
 - **9430:** Bosc de pi negre (*Pinus uncinata*) acidòfils.

D'aquests vuit hàbitats d'interès comunitari, cap es troba a la zona de surgències àcides i barreja d'aigües a la capçalera. La zona de surgències àcides es situa en un hàbitat sense problemes de conservació, com són els prats de *Festuca airoides*.

5.5.2. Fotointerpretació a partir d'imatges aèries

A continuació s'exposen les fotografies aèries de l'àrea d'estudi disponibles en l'aplicació VISSIR v3.26 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), en la qual s'observa l'evolució temporal dels precipitats blancs. La ubicació de l'estudi de fotointerpretació s'ha escollit en criteri a la zona de l'àrea d'estudi on la presència de precipitats blancs fos més evident, per tal de facilitar la identificació de pàtines blanques en les fotografies aèries (Figura 38). A les Figures 39, 40, 41 i 42 es pot observar l'evolució de les pàtines blanques a la capçalera de la vall de la Coma de l'Embut, des de l'any 1946 fins al 2016.

Les imatges aèries més antigues, del 1946-1947, 1955-1956 i les del 1988, són en blanc i negre i no de molt bona qualitat, tot i així, s'observa el torrent de la Coma de l'Embut de color negre, sense presència de taques blanques a la llera del riu (Figura 39).

L'ortofoto del 1996, tot i ser en blanc i negre, presenta una major qualitat i es pot apreciar clarament com a la llera del riu, de color negre a la imatge, no hi ha presència de precipitats blancs. En canvi, en la ortofoto del 2002, ja en color, s'observen unes petites taques blanques, que podrien ser indicis de què es van formar precipitats blancs. Tot i així, a la imatge del 2005, altra vegada no s'observa cap taca blanca (Figura 40).

En les ortofotos del 2008, 2009 i 2010, posteriors al episodi de sequera a Catalunya del 2007 i 2008, s'observa un progressiu augment de taques blanques a la llera del torrent (Figura 41) que podria estar relacionat amb la disminució de les precipitacions dels anys anteriors.

Al llarg dels anys 2014 i 2015 s'observa com les taques blanques es mantenen o fins i tot són lleugerament menys visibles, però en l'ortofoto del 2016 s'observa un gran augment de la superfície de les taques blanques, sent l'any en què la seva presència a la llera del torrent és més evident (Figura 42).

Així doncs, les imatges aèries dels últims 70 anys disponibles de la capçalera del torrent de la Coma de l'Embut mostren una tendència clara a l'augment de taques blanques, les quals gràcies a les campanyes de camp s'han verificat que corresponen als precipitats blancs.

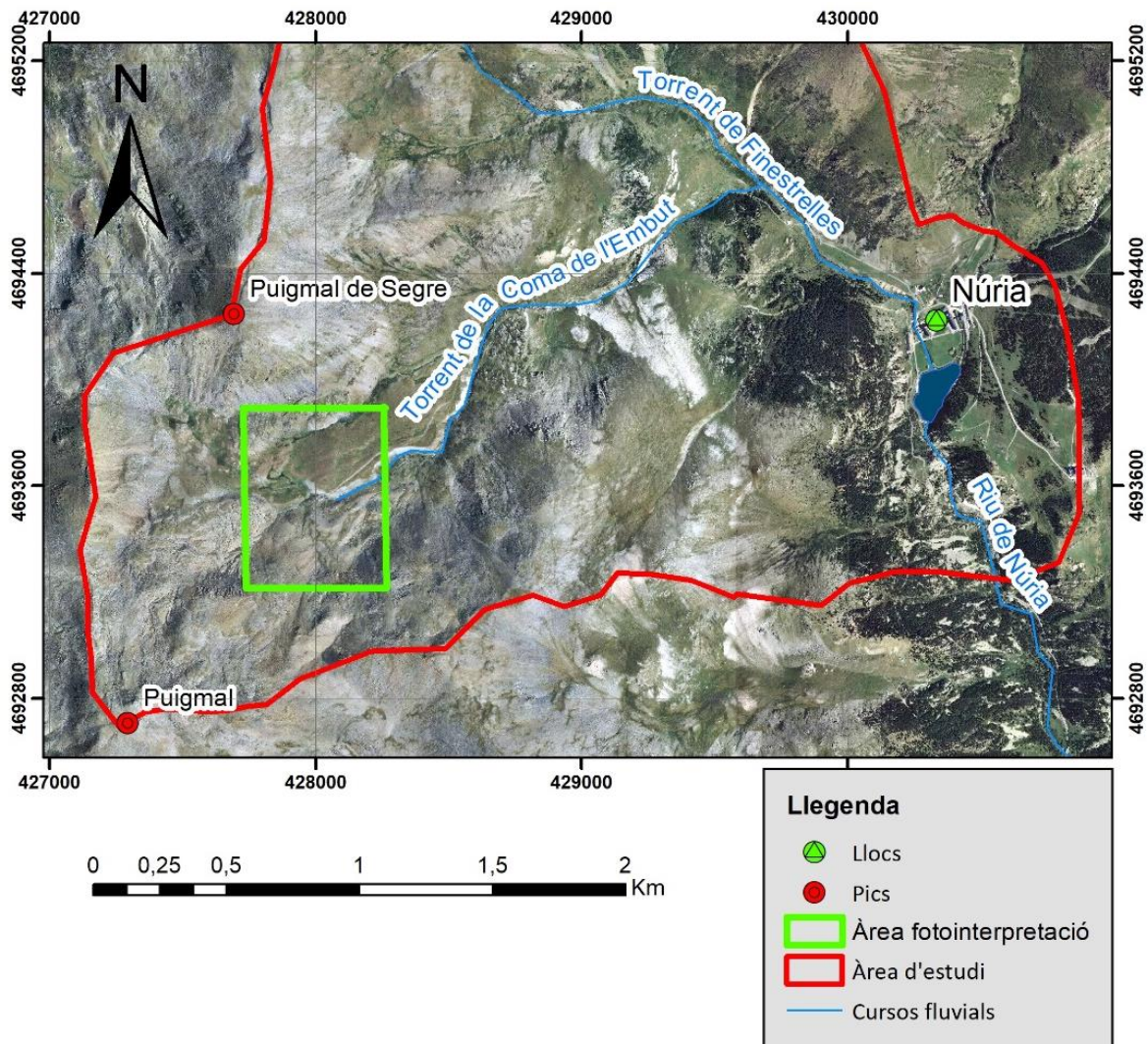


Figura 38. Situació geogràfica de l'àrea on s'ha realitzat l'estudi de fotointerpretació. Mapa base ortofotografia de l'any 2010, resolució 25 cm per píxel. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

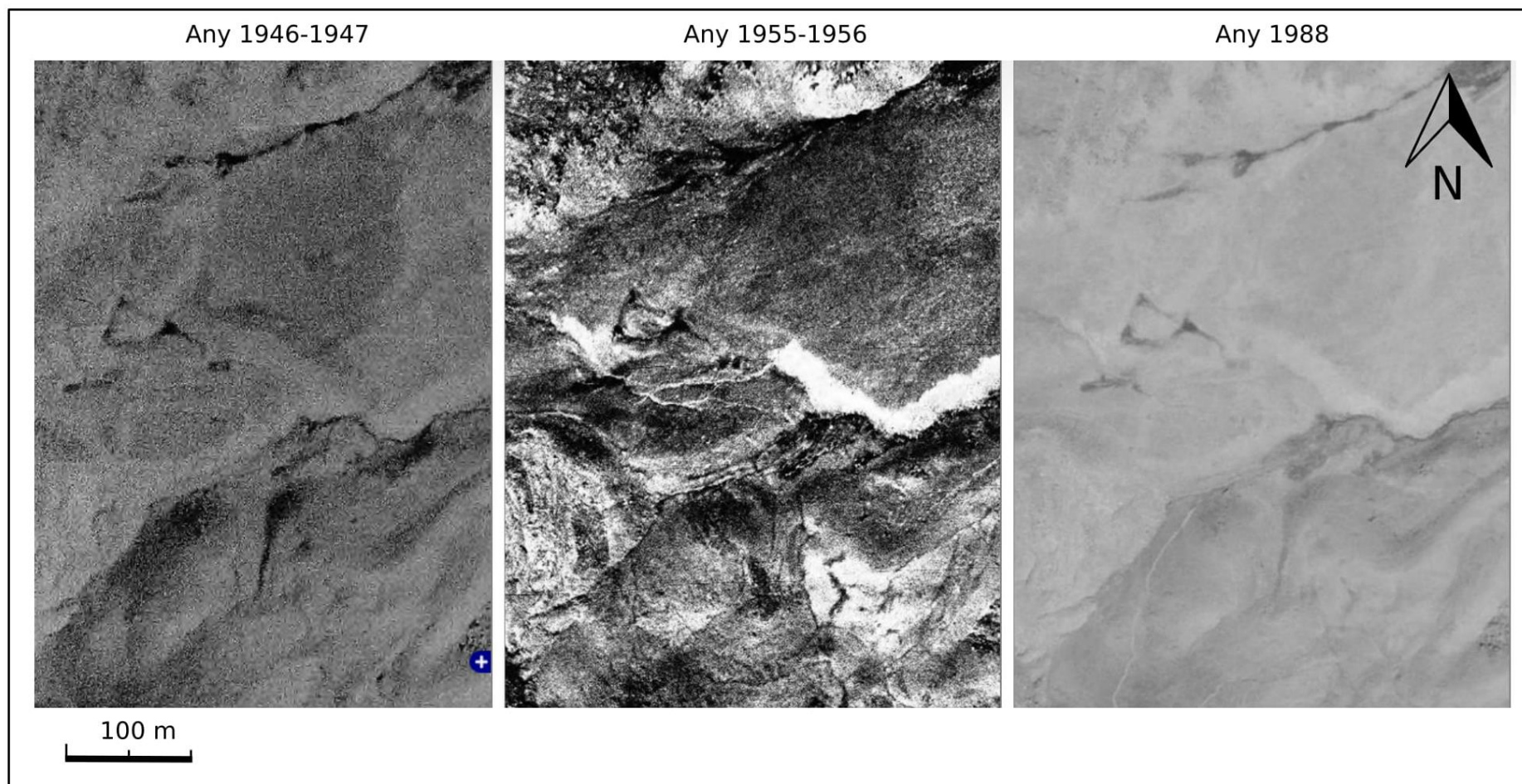


Figura 39. Ortofotos en blanc i negre de la capçalera de la Vall de la Coma de l'Embut de l'any 1946-1947, amb resolució 100 cm per píxel, a escala 1:5000, de l'any 1955-1956 i 1988 amb resolució 50cm/píxel, a escala 1:5000. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

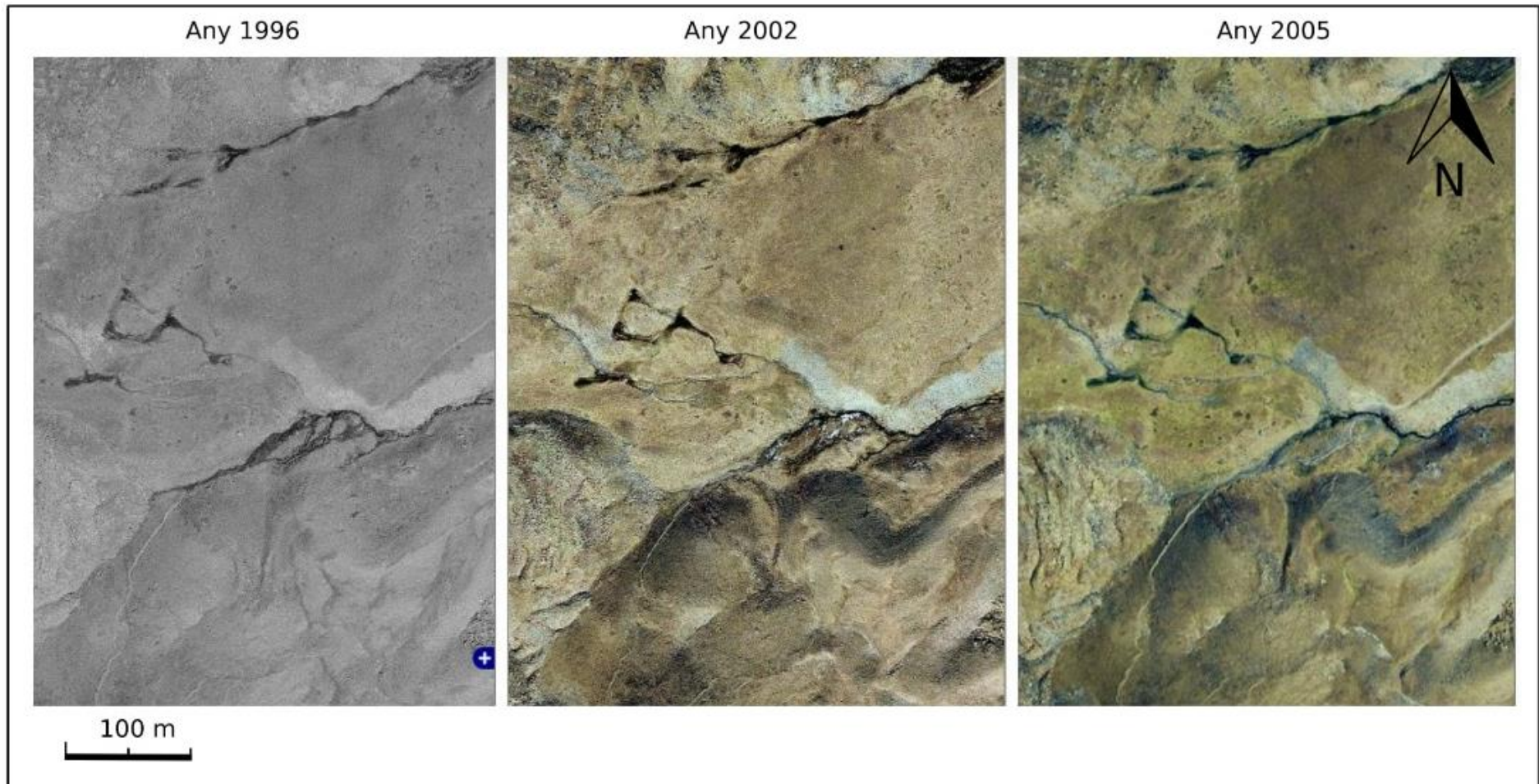


Figura 40. Ortofotos de la capçalera de la Vall de la Coma de l'Embut de l'any 1996, 2002 i 2005, amb resolució 50 cm per píxel, a escala 1:5000. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

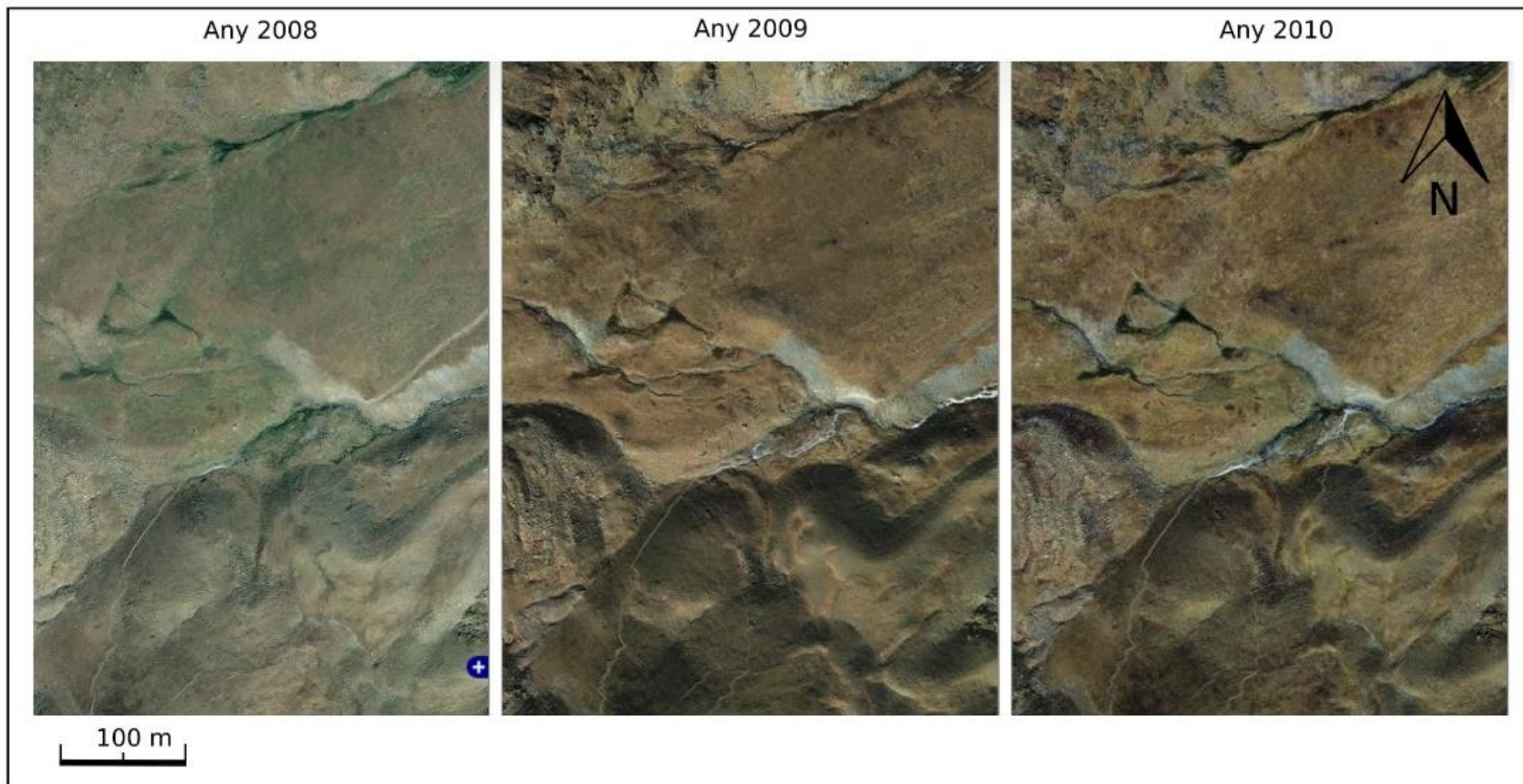


Figura 41. Ortofotos de la capçalera de la Vall de la Coma de l'Embut de l'any 2008, 2009 i 2010, amb resolució 50 cm per píxel, a escala 1:5000. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

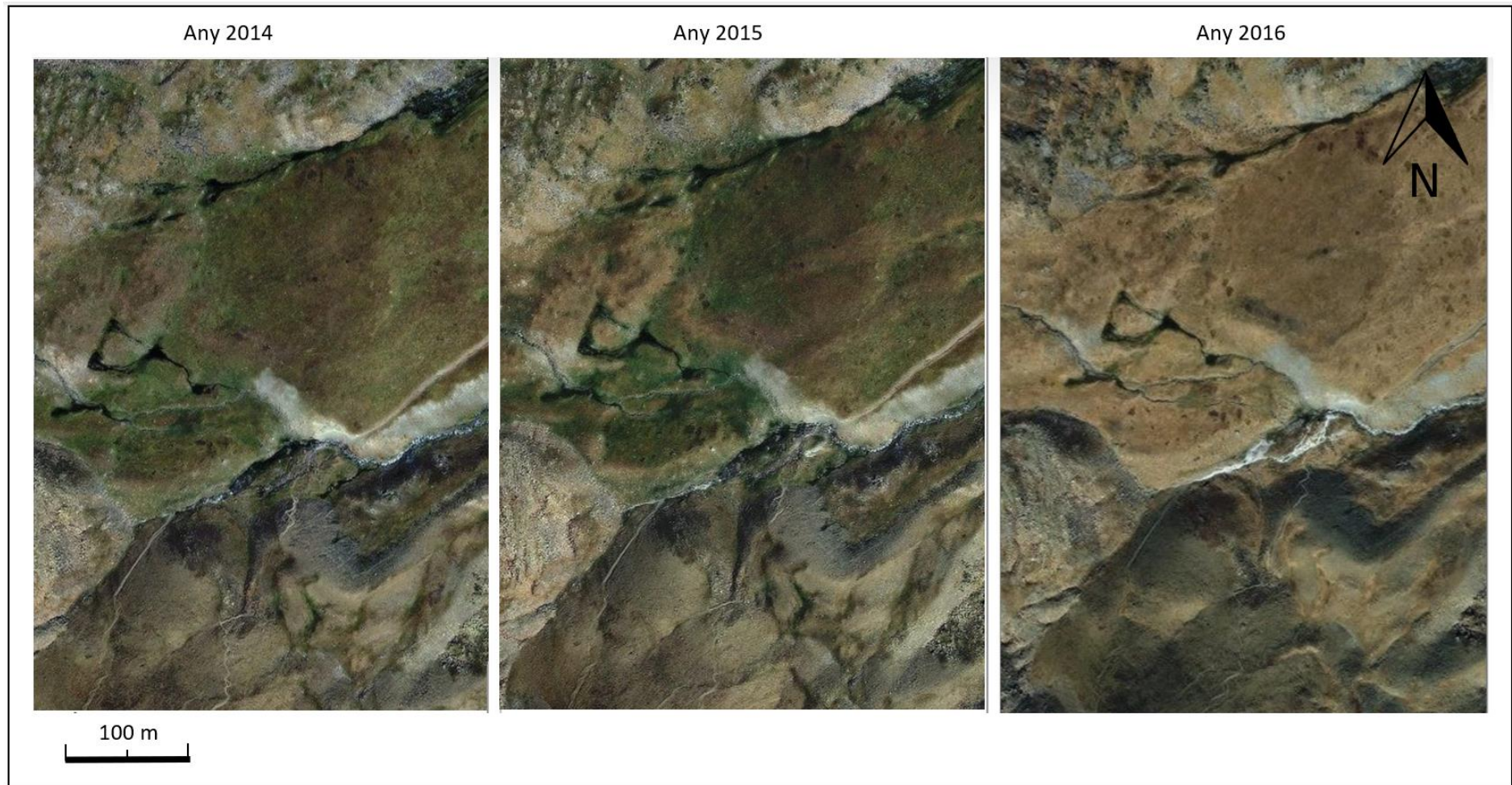


Figura 42. Ortofotos de la capçalera de la Vall de la Coma de l'Embut de l'any 2014, 2015 i 2016, amb resolució 50 cm per píxel, a escala 1:5000. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

6. Discussió

6.1. Valoració sobre els canvis d'usos dels espais d'alta muntanya en un context de canvi Global i com els percep la població local i visitants

La importància de l'estudi dels drenatges àcids a l'alta muntanya recau en l'impacte que pot ocasionar aquest fenomen als valors ecològics, paisatgístics, socials i econòmics que tenen aquests espais en el context de canvi Global.

En aquest apartat, a partir de informació recopilada i completada amb les enquestes realitzades, es caracteritza l'impacte del canvi Global als espais d'alta muntanya percebut per la població de la regió i els visitants, i el valor que otorguen a aquets espais naturals, el qual justifica l'estudi del present projecte.

En primer lloc la recerca realitzada sobre l'evolució de les principals activitats econòmiques de la regió i la informació extreta de les enquestes dutes a terme a la població local, indica que:

1. La ramaderia és un sector econòmic que ha disminuït en els darrers anys a causa de l'abandonament de ramats, en relació a l'augment a altres indrets de Catalunya de la ramaderia intensiva. La ramaderia extensiva no pot competir amb els costos de producció. Per altra banda, actualment, la ramaderia que persisteix ha enfocat la seva producció al mercat ecològic.
2. L'agricultura ha disminuït de manera significativa quedant com una activitat econòmica residual a la Vall de Ribes. Les causes d'aquesta disminució es poden atribuir al despoblament de les zones rurals i a la desvalorització del preu del producte agrícola lligat a la intensificació de l'agricultura.
3. L'aprofitament forestal ha disminuït com a conseqüència de l'augment d'altres combustibles pel condicionament tèrmic dels habitatges, fet que provoca la disminució de la demanda de fusta i la caiguda del preu associada. Alhora, certa població local transmet que durant els últims anys s'ha observat un lleuger increment de l'aprofitament forestal en relació a l'aparició de la biomassa com a font d'energia. La disminució d'aquesta activitat és considerada com una problemàtica per la població local, ja que incrementa el risc d'incendis.
4. La mineria correspon a una activitat econòmica que es desenvolupà a la vall de Ribes durant el segle XIX fins a principis del segle XX (Ayora et al., 1981). La població local percep que ha disminuït al recordar que fa molt temps existia mineria a la comarca, i a l'actualitat no. Per altra banda, el temps transcorregut després del tancament de les mines, dona lloc a que un gruix important dels enquestats no coneix l'existència de mineria a la regió.
5. L'evolució dels serveis i del turisme es percep entre la població local com un gran augment en els darrers 50 anys. S'observa en l'opinió dels enquestats de la població local que ha estat aquest sector econòmic el que ha absorbit la davallada de les altres activitats econòmiques. Consideren majoritàriament els serveis i el turisme com el motor de l'economia comarcal. En concordança amb aquest fet, la majoria dels enquestats de la població local que treballa a l'entorn de Núria ocupa un lloc de feina en el sector dels serveis. És aquest sector el que permet comparar amb el primer bloc de l'enquesta als visitants, del qual s'extreu que han augmentat considerablement les visites als espais d'alta muntanya, les quals van destinades majoritàriament al turisme.

Els visitants posen de manifest que la visita als espais d'alta muntanya com són Núria o la Vall de Ribes, els permet desconnectar del bullici de les ciutats i perceben la muntanya com un indret on la contaminació és gairebé nul·la. El turisme s'ha establert com l'activitat econòmica més important de la Vall de Ribes. La davallada de sectors econòmics com la ramaderia, l'agricultura i l'aprofitament forestal, que foren en el passat importants modificadors del paisatge, ha possibilitat un canvi d'usos del sòl, tornant-se a reforestar els prats secundaris generats per aquestes activitats. Aquest canvi d'usos en el territori és evident a la Vall de Ribes i a l'entorn de Núria. S'ha deixat enrere, generalment, l'explotació dels espais d'alta muntanya com a font de recursos naturals.

Pel que fa la percepció sobre els valors naturals i patrimonials dels espais d'alta muntanya, les enquestes realitzades a l'entorn de la vall de Ribes posen de manifest que el valor paisatgístic i ecològic com els més apreciats. Aquesta percepció és compartida tant per la població local com pels visitants. En aquest punt, cal afegir que els enquestats responien el valor paisatgístic i ecològic referint-se principalment al valor natural dels espais d'alta muntanya, idealitzant la muntanya com un espai de gran bellesa i amb absència d'impactes humans, generalment. Cal indicar que és la població local la qual dona al valor turístic un grau més elevat d'importància, del qual es pot deduir la gran repercussió del turisme i l'estret lligam de la regió amb aquest sector econòmic. En relació a l'elevada importància que atorguen als espais d'alta muntanya, la població local opina que els espais d'alta muntanya han d'estar protegits amb un nivell màxim de conservació. De la mateixa manera, els visitants opinen que s'ha de protegir els espais d'alta muntanya a un nivell màxim. La població local transmet que un nivell màxim de protecció per aquests espais ha d'estar conciliat amb la vida rural i amb el potencial econòmic de la muntanya, demostrant la dependència econòmica. Els visitants, en contraposició a la població local, entenen la muntanya com un valor important per a la societat a preservar, però sense incloure el nexa d'unió d'aquesta amb el desenvolupament socioeconòmic del medi rural.

En referència a la percepció respecte les qüestions relacionades amb la salut, tant els visitants com la població local majoritàriament assenyalen que la muntanya té efectes positius o molt positius en ella. Repetint el mateix argument, perceben els espais de muntanya com indrets sense contaminació, fent èmfasi exclusivament en la contaminació atmosfèrica.

En quant a la valoració de la qualitat de l'aigua de les fonts i torrents dels espais d'alta muntanya, la informació extreta és de gran rellevància pel present projecte. Pel que fa als visitants, valoren l'aigua amb una qualitat excel·lent i bona en la seva totalitat. La població local discrepa més en quant a la qualitat de l'aigua. Alguns són coneixedors de la problemàtica de l'arsènic a la Vall de Ribes. Alhora, una part de la població local valora l'aigua amb una qualitat bona però responen que no beuen aigua dels torrents i, pel que fa a les fonts, que la qualitat de l'aigua pot ser variable. Aquesta és una gran diferència que es pot extreure amb l'enquesta dels visitants que opinen que l'aigua de l'alta muntanya ja sigui de fonts o de torrents és apta majoritàriament pel consum humà. La població local està més sensibilitzada amb les problemàtiques que pot ocasionar la ingesta d'aigua no tractada, mentre que els visitants procedents, en general, de grans ciutats, tenen la concepció que l'aigua de la muntanya ha de ser més saludable que l'aigua de les ciutats on viuen, on els fenòmens de contaminació afecten el medi natural més freqüentment.

En relació a la percepció de l'afectació del canvi climàtic a la Vall de Ribes, tant els visitants com la població local consideren que el canvi climàtic ha afectat l'entorn de Núria. Els visitants desconeixen les possibles afectacions del canvi climàtic a la regió, però responen en

concordança amb el coneixement que tenen sobre el significat del concepte del canvi climàtic, basant la seva resposta en un increment de temperatura i menor acumulació de neu. En canvi, la població local és coneixedora en gran part dels canvis climatològics soferts en els darrers anys, i basen la seva resposta no tant en el coneixement del canvi climàtic i els seus efectes associats sinó en l'experiència. Pel que fa al increment de temperatura exposen que el període de fred s'ha reduït, l'hivern és molt més suau i comença molt més tard. Consideren que les precipitacions en forma de neu han disminuït i com a conseqüència s'observa una reducció de l'acumulació de neu. Tant els visitants com la població local no són coneixedors dels efectes com la pèrdua de biodiversitat i l'alteració de la qualitat de l'aigua.

En resum, les observacions realitzades a partir de les enquestes assenyalen que s'ha produït un canvi d'usos en el territori que queden registrats amb la disminució d'activitats econòmiques com la ramaderia, l'agricultura, l'aprofitament forestal i la mineria. En canvi, els serveis han esdevingut el sector econòmic de major importància a la regió en relació a l'augment del turisme. L'augment del turisme està estretament lligat al canvi de percepció dels espais d'alta muntanya. En general, la societat considera la muntanya un indret amb un valor natural important, el qual és necessari conservar amb figures de protecció, a diferència de temps passats, quan hi havia una visió dels espais d'alta muntanya únicament com una font de recursos agropecuaris i forestals. Alhora, es valora positivament l'efecte que provoquen aquests espais en la salut de les persones. Un exemple d'aquesta visió idealitzada dels espais d'alta muntanya és la percepció que es té sobre la qualitat de l'aigua de la Vall de Ribes i l'entorn de Núria, que es considerada de qualitat bona a excel·lent, tot i que es posa de manifest que existeixen excepcions en alguna font o torrent. Finalment, es considera que el canvi climàtic està afectant la regió. Observen un increment de la temperatura i una menor acumulació de neu com els efectes més remarcables.

Així doncs, el valor social que han adquirit aquests espais justifica la seva protecció i conservació. És necessari l'estudi i la caracterització de tots els processos que puguin afectar aquests indrets, entre ells, el cas dels drenatges àcids a l'alta muntanya.

6.2. Identificació dels factors de tipus geològic i hidrogeològic que determinen el procés de drenatge àcid

Els resultats de les anàlisis d'aigua dels diferents punts de mostreig indiquen que les aigües de l'àrea d'estudi presenten unes diferències importants en les seves propietats fisicoquímiques. La informació que aporta l'anàlisi estadístic, a partir del mètode AHC (*Agglomerative Hierarchical Clustering*), és limitada per la poca quantitat de dades incorporades a l'anàlisi. Tot i això, és clar que l'aigua de les surgències del vessant sud, a la capçalera de la vall de la Coma de l'Embut, presenta una qualitat ben diferenciada de la resta, amb un pH inferior a 5,0 i una EC superior a $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Taula 6). La concentració de metalls és també clarament més elevada en comparació a la resta de mostres, excepte en el cas del ferro (Fe) i l'arsènic (As).

Els precipitats blancs enriquits en alumini (pàtines) es formen quan l'aigua de les surgències del vessant sud es barreja amb aigües procedents del vessant nord. Aquestes aigües de barreja conformen una classe d'aigua amb pH de l'ordre de 5,5 i EC de l'ordre de $300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (taula 6). La resta d'aigües són agrupades en una única classe, ja que en general són molt diferents de les aigües de les surgències del vessant sud, amb pH de l'ordre de 6,5 i EC inferior a $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Taula 6).

L'aigua de les surgències àcides presenta pH inferiors a 5,0. En aquestes condicions, segons els diagrames de Pourbaix, l'alumini i els altres metalls en altes concentracions (manganès (Mn),

níquel (Ni) i zinc (Zn), en aquest cas) es mantenen en dissolució (Figura 43 i Figures 32 i 33 de l'Annex). Quan l'aigua d'aquestes surgències es barreja amb aigües menys àcides procedents de l'altre vessant, el pH augmenta per sobre de 5,0. En aquest moment precipiten les pàtines blanques, que són essencialment hidròxids d'alumini. Aquest fet concorda amb els diagrames de Pourbaix, ja que l'alumini precipita en forma d'hidròxid quan el pH supera un valor de 5 (Figura 43). Els altres metalls, en canvi, tot i que en el cas del manganès i del níquel el seu estat depèn també del potencial redox, es poden mantenir en dissolució fins pH molt superiors als que s'observen als diferents punts de mostreig de l'àrea d'estudi (Figures 32 i 33 de l'Annex). Les concentracions d'aquests metalls que no precipiten van disminuint aigües avall a causa de la seva dilució per la barreja dels diferents torrents, que aporten aigua amb una concentració de metalls molt més baixa (Taula 5). En futurs treballs que tractin aquesta problemàtica serien necessàries dades de potencial redox.

En quant a l'origen de l'acidesa de l'aigua, els resultats de les anàlisis de sòls descarten que aquests en siguin la causa. Els sòls de la vessant sud, on es troben les surgències àcides, presenten valors de pH superiors a 6,0, pel que no poden ser l'origen de l'acidesa de l'aigua. L'alumini no es podria mobilitzar en les condicions de pH que presenten els sòls de les diferents mostres. De la mateixa manera, la EC del sòl presenta valors molt baixos en totes les mostres, tant en zones on l'aigua dels torrents presenta EC elevades com en zones amb EC baixes.

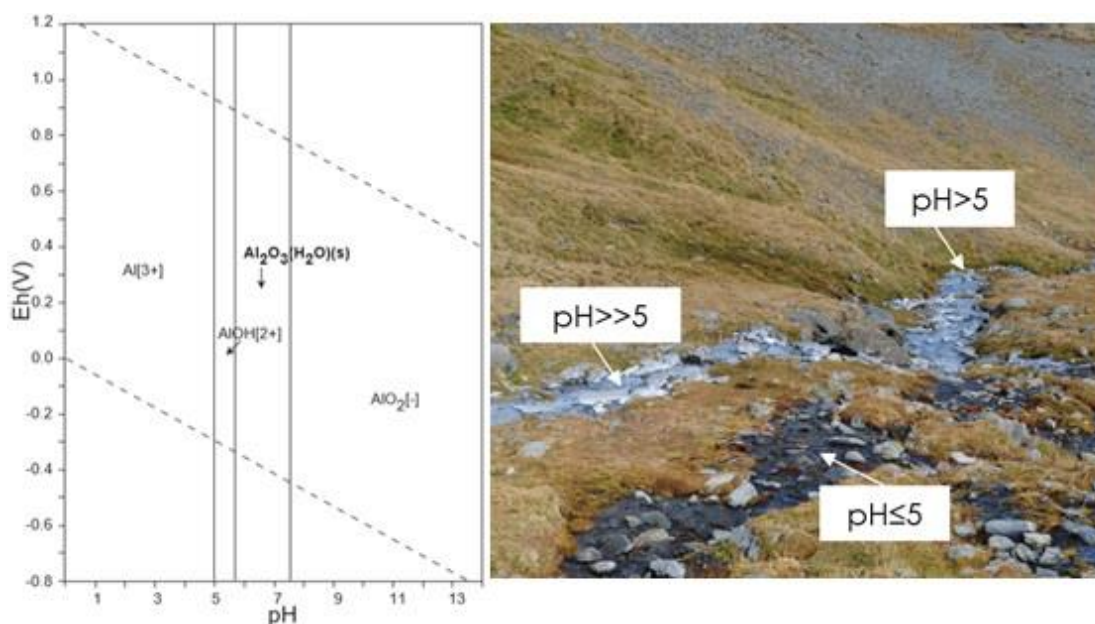


Figura 43. Diagrama de Pourbaix per a l'alumini i esquema de la precipitació d'hidròxids d'alumini. En aquest cas, l'aigua del torrent amb el pH >> 5 és de barreja d'aigües àcides i aigües no àcides, procedents del vessant nord, fet que evidencia la presència de precipitats blancs a la seva llera. El seu pH és suficientment alt com per augmentar el pH de la surgència àcida (pH ≤ 5) per sobre de 5, precipitant així l'alumini que transporta en dissolució. Font diagrama: Muñoz (2011). Font imatge: Elaboració pròpia del 12 d'octubre del 2018.

La mineralogia del substrat rocós, sens dubte, és un factor essencial, ja que és l'alteració de les mineralitzacions metàl·liques la que possibilita que es puguin generar els drenatges àcids. Els processos d'alteració i oxidació dels sulfurs que conté el substrat rocós són el principal mecanisme que provoca l'acidificació de les aigües. D'altra banda, les metapelites paleozoiques de la zona estan compostes fonamentalment per aluminosilicats, podent ésser la font de l'alumini que es detecta a les aigües àcides. Tot i així, els dos vessants presenten la mateixa litologia, pel que la mineralogia per si mateixa no explica perquè només apareixen drenatges àcids a un dels vessants.

La geomorfologia, en canvi, sembla ser el factor diferenciador entre els dos vessants. Segons Jarman (2014), al vessant sud s'identifica un moviment en massa de tipus *Arrested Slide*, el que comporta que la permeabilitat del massís sigui molt més alta en aquest vessant. Aquestes diferències en la permeabilitat condicionen que les dinàmiques hidrogeològiques siguin diferents en ambdós vessants.

En el vessant sud, la fracturació de la roca genera una porositat secundària en roques que en principi no són permeables (roques metasedimentàries). Això permet la circulació d'aire i aigua per l'interior del massís fracturat, exposant la roca a condicions oxidants. D'aquesta manera, els sulfurs que es troben a la roca pateixen reaccions d'oxidació i s'allibera acidesa i metalls. La hidroquímica de l'aigua se'n veu afectada, i les surgències que apareixen al peu de la massa esllavissada presenten acidesa i una concentració elevada de metalls. Per contra al vessant nord, on el massís no es troba fracturat, la circulació d'aigua es dona preferentment per escorrentia superficial, el que no afavoreix que es produeixin processos de drenatge àcid a l'actualitat.

Un cas particular és el dels punts de mostreig de la zona del santuari de Núria: la font Ramon Bassols i Dr. Tarrés. Malgrat que tenen pH superiors a 6,5 i concentracions molt baixes de metalls, tenen una concentració d'arsènic anòmalament elevada respecte la resta de punts de mostreig (Taula 1 de l'Annex), que és sis vegades superior al valor paramètric que estipula la llei per a l'aigua de consum humà (RDL 140/2003, de 7 de febrer). Els resultats posen de manifest que l'origen d'aquesta aigua ha de ser diferent a l'origen de l'aigua àcida. El seu alt contingut en arsènic podria provenir de la circulació de l'aigua a través d'alguna mineralització d'arsenopirita, les quals són presents a la zona (IGME, 1973) i han estat objecte d'explotació minera en el passat. No obstant, les dades disponibles no han permès un anàlisi més detallat sobre l'origen d'aquestes aigües i el seu enriquiment en arsènic.

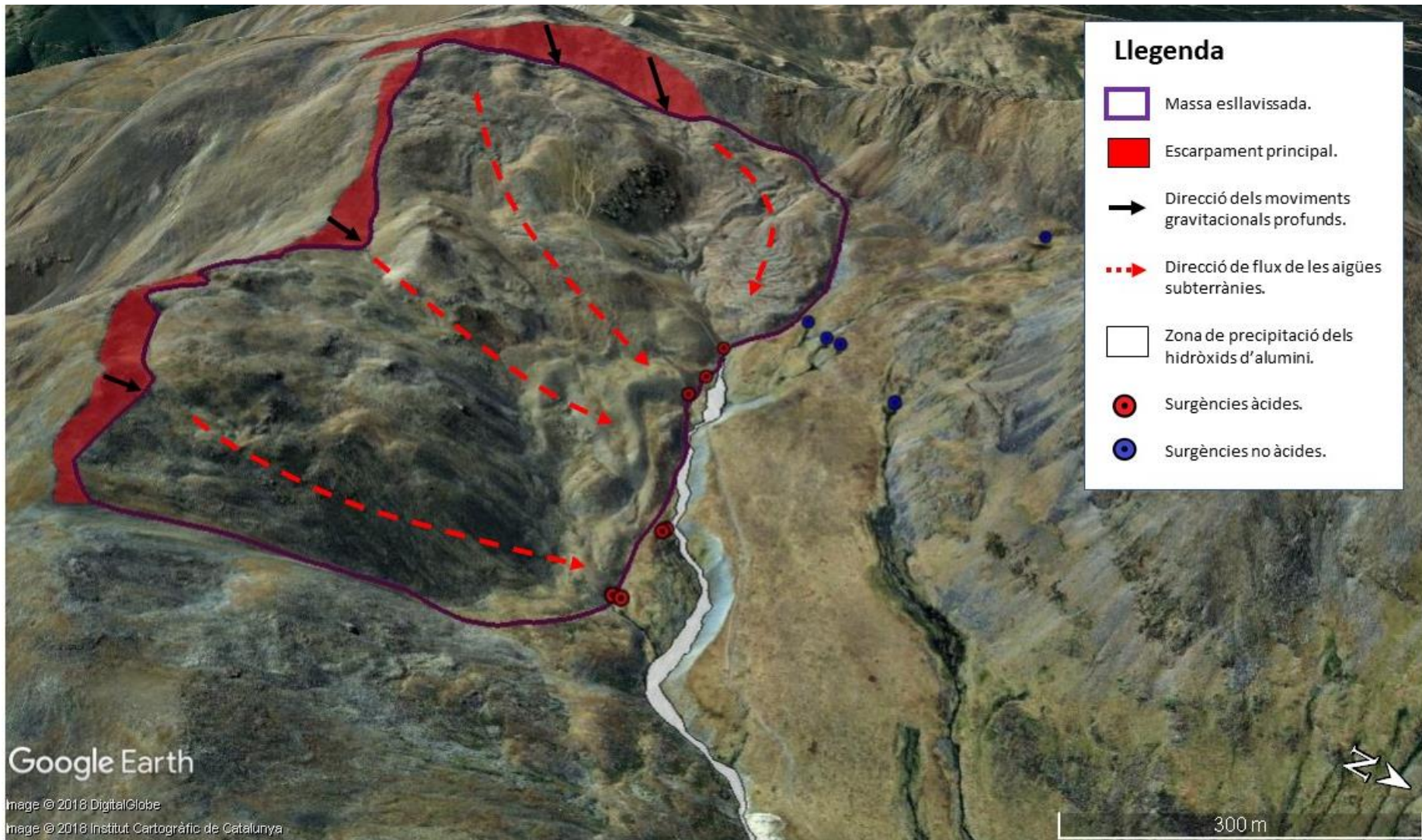


Figura 44. Esquema general dels vessants de la capçalera de la vall de la Coma de l'Embut, amb els moviments en massa, la direcció de flux de les aigües subterrànies i la localització de les diferents surgències i zona de precipitació. Font: Elaboració pròpia a partir de l'aplicació Google Earth.

6.3. Avaluació de la potencial toxicitat dels elements metàl·lics presents als drenatges àcids per a la salut pública i els ecosistemes

6.3.1. Toxicitat per als ecosistemes

En quant a l'afectació que puguin tenir els ecosistemes, és important fer una distinció entre terrestres i aquàtics. A partir dels resultats es pot determinar que els drenatges àcids només afecten la llera del riu, pel precipitat d'hidròxids d'alumini, i la composició química de l'aigua. No afecten els sòls adjacents a les surgències àcides i al torrent de la Coma de l'Embut, ja que els pH dels sòls presenten valors típics de sòls d'alta muntanya.

Segons les guies de qualitat d'aigua de la Columbia Britànica (Government of British Columbia, 2018), petites concentracions d'un metall pesat en l'aigua poden tenir una afectació en la vida aquàtica, mentre que són necessàries concentracions molt més elevades per afectar la fauna terrestre. En el cas de l'alumini, per exemple, concentracions de l'ordre de $0,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ poden afectar la vida aquàtica (per a valors de pH superiors a 6,5), mentre que són necessàries concentracions de $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ per afectar la fauna terrestre que s'abasteix d'aquesta aigua.

Tenint en compte aquests supòsits, l'ecosistema més afectat per aquests processos de drenatge àcid és l'aquàtic. Els ecosistemes terrestres es poden veure afectats en la mesura que la fauna salvatge s'abasteixi d'aigües amb altes concentracions de metalls pesats.

Ecosistemes terrestres

A partir dels resultats de la cartografia d'hàbitats, s'ha determinat que l'hàbitat on es troben les surgències àcides i les concentracions més altes de metalls són prats de *Festuca airoides*, els quals no estan catalogats com a hàbitats d'interès comunitari i no presenten problemes de conservació. A més, com s'ha esmentat anteriorment, els drenatges àcids només afecten a la llera dels torrents, pel que els hàbitats terrestres no es veuen malmesos.

En el cas de la fauna salvatge, segons les guies de qualitat d'aigua de la Columbia Britànica (Government of British Columbia, 2018), les concentracions de $5000 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, en el cas de l'alumini, i $25 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, en el cas de l'arsènic, no s'haurien de superar en períodes més llargs de noranta-sis hores per tal d'evitar efectes letals o subletals en les espècies més sensibles. En els resultats de les anàlisis químiques de l'aigua només es supera el valor de $5000 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ per a l'alumini en un punt de mostreig, NM10, al juliol de 2018 (Taula 1 de l'Annex) i correspon a una de les surgències àcides. Valors d'aquest ordre només es troben en els punts exactes on hi ha surgències àcides, i disminueixen a mesura que l'aigua es barreja amb aigües de l'altre vessant. Tenint en compte aquests factors, és difícil que un animal s'abasteixi d'aquesta aigua més enllà d'alguna vegada puntual, pel que també és difícil que la seva salut se'n vegi afectada. En el cas de l'arsènic, el valor de $25 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ es supera únicament a les fonts de Núria, pel que no ha de suposar un risc per a la salut dels animals salvatges ja que no s'abasteixen d'aquesta aigua.

També cal tenir en compte que aquests valors corresponen a valors màxims que no s'han de superar en períodes més llargs de noranta-sis hores, mentre que la dinàmica dels drenatges àcids genera unes concentracions relativament constants en les aigües, pel que amb aquestes dades és possible infravalorar l'efecte que es pugui donar en els animals salvatges.

Ecosistemes aquàtics

En el cas dels ecosistemes aquàtics, a la zona d'estudi es troben concentracions de metalls suficientment altes com per afectar-los de manera important. Segons les guies de qualitat d'aigua de la Columbia Britànica els valors de concentració de l'alumini, el cobalt i el zinc en

diversos punts de mostreig superen els valors que poden afectar la vida aquàtica durant exposicions indefinides. Els valors que proposen les guies es troben a la Taula 8.

Taula 8. Valors de les directrius de qualitat d'aigua per a l'alumini, el cobalt, el níquel i l'arsènic (Government of British Columbia, 2018). *(duresa $\leq 90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

Metalls	Directrius de qualitat d'aigua (exposició indefinida) ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	Directrius de qualitat d'aigua (exposició curta: 96 hores) ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
Al	6 (pH 4,6-4,9) – 40 (pH 6,4) / 50 (pH \geq 6,5)	21 (pH 4,7-4,8) – 74 (pH 6,4) / 100 (pH \geq 6,5)
Co	4	110
Zn	7,5*	33*
As	-	5 (valor provisional)

L'alumini, en exposicions indefinides, no hauria de superar valors d'entre $6 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (a pH inferiors a 5,0) i $40 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (a pH de 6,4). A pH superiors a 6,5, la concentració d'alumini no hauria de superar els $50 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Les zones amb pH inferiors a 5,0, les surgències àcides, presenten valors en la concentració d'alumini de fins a tres ordres de magnitud per sobre (Taula 1 de l'Annex). Aigües avall, durant tot el recorregut del torrent de la Coma de l'Embut es superen els valors de les directrius de qualitat de l'aigua per als pH corresponents, tot i que cada vegada amb menys magnitud. L'afectació a la vida aquàtica, d'aquesta manera, pot ser molt intensa a la zona de capçalera del torrent i va disminuint aigües avall, sempre en un nivell que pot afectar-la.

El cobalt, per a una exposició indefinida, no ha de superar un valor de $4 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. En aquest cas, aquests valors es superen únicament en la zona de surgències àcides, fins a un valor màxim de $42 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ en el punt de mostreig NM10 al juliol de 2018 (Taula 1 de l'Annex).

El zinc, de la mateixa manera, no ha de superar valors de $7,5 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ per a no afectar la vida aquàtica enfront una exposició indefinida (per a valors de duresa molt baixos, de menys de $90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, que serien normals a la capçalera del torrent de la Coma de l'Embut tenint en compte la litologia). Aquests valors es superen àmpliament a la zona de surgències àcides, amb valors d'entre 41 i $271 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (Taula 1 de l'Annex). Aigües avall les concentracions disminueixen, mentre que és previsible un augment de la duresa de l'aigua per la presència de roques carbonàtiques. En aquests trams més baixos del torrent, la duresa és incerta, pel que no és possible determinar el valor de la concentració de zinc que pot afectar la vida aquàtica. El que és clar és que a la zona de capçalera les concentracions de zinc si que poden afectar-la.

Per a l'arsènic, s'indica que una concentració de més de $5 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ pot afectar la vida aquàtica durant exposicions curtes, tot i que s'indica que és un valor provisional per manca de dades que permetin donar un valor definitiu. Aquest valor no es supera a la zona de surgències àcides, on les concentracions d'arsènic són molt baixes, però si que es superen lleugerament a una surgència del vessant nord (NM15) i al torrent de la Coma de l'Embut aigües avall (NM2 i NM1X). Es superen àmpliament a les fonts de Núria (Taula 1 de l'Annex). En comparació a l'alumini, l'arsènic es troba generalment en concentracions molt més baixes, i la seva presència a les fonts de Núria suposa un risc més aviat per la salut humana que per l'ecosistema aquàtic.

En resum, el fet de superar certs valors de concentració de metalls en l'aigua justifica estudis concrets de l'estat de la flora i fauna al torrent de la Coma de l'Embut. En el cas de l'alumini, els valors són extremadament alts per a la vida aquàtica, mentre que els valors de zinc, cobalt i arsènic també donen motius per a la investigació.

6.3.2. Toxicitat per a la salut pública

En quant als riscos per a la salut pública que es puguin generar a causa dels drenatges àcids, és necessari tenir en compte que aquests afecten únicament a la composició química de l'aigua. Segons les guies per a la qualitat de l'aigua de consum humà (OMS, 2018) els riscos per a la salut associats a la composició química de l'aigua són causats principalment per la capacitat de certs components químics, en aquest cas d'elements metàl·lics i metal·loides, de produir efectes adversos en la salut quan l'exposició és prolongada. D'aquesta manera, els valors de referència (Taula 5 de l'Annex) que es donen en aquesta guia per a cada component químic de l'aigua representen les concentracions en l'aigua que no suposen un risc significatiu per a la salut quan es consumeix durant tota la vida.

Cal tenir en compte que les masses d'aigua analitzades en aquest treball no corresponen a cap xarxa d'abastament d'aigua potable, pel que resulta difícil que es pugui donar un consum habitual o prolongat en el temps per part de cap ésser humà. Els únics punts de mostreig amb una ubicació sotmesa a un consum habitual a nivell col·lectiu, no individual, per part dels visitants, són les fonts del Dr. Tarrés i Dr. Ramon Bassols a les immediacions del santuari de Núria. En aquest sentit, cal esmentar que aquesta zona és una àrea de pastura habitual de ramat com vaques i cavalls. La inclusió d'aquest ramat en la cadena alimentària també podria ésser una via d'exposició per a la població que consumeixi els productes derivats. No obstant, per la seva complexitat, l'anàlisi del consum d'aquest productes alimentari com a factor de risc per a la Salut ha excedit els objectius del nostre treball.

A la Taula 10 consten tots els punts de mostreig que han presentat una composició química que no compleix els valors paramètrics exposats al Reial Decret 140/2003. S'entenen els valors paramètrics com a valors de referència amb els quals s'estableixen els criteris sanitaris i els valors límit de la qualitat de l'aigua de consum humà (RDL 140/2003, de 7 de febrer). Els valors paramètrics (Taula 4 de l'Annex) s'han determinat a partir de les recomanacions de la OMS en la tercera edició de les guies per a la qualitat de l'aigua de consum humà i no s'han actualitzat als valors que la OMS recomana a la quarta edició publicada l'any 2018. Aquests valors paramètrics s'han de complir en qualsevol punt on l'aigua de consum humà es posi a disposició del consumidor. El pH, l'alumini (Al), el manganès (Mn), el níquel (Ni) i l'arsènic (As) són els components que no compleixen els valors paramètrics. Els valors paramètrics per a aquests elements es presenten a la Taula 9.

Taula 9. Valors paramètrics per al pH, l'alumini, el manganès, el níquel i l'arsènic.

Paràmetre	Valor paramètric
pH	6,5 (mínim) - 9,5 (màxim)
Al	200 µg·L ⁻¹
Mn	50 µg·L ⁻¹
Ni	20 µg·L ⁻¹
As	10 µg·L ⁻¹

Origen i efectes dels drenatges àcids a l'alta muntanya. El cas de la capçalera del riu Freser.

Taula 10. Punts de mostreig que superen els valors paramètrics per al pH, l'alumini, el manganès, el níquel i l'arsènic. Vermell: No compleix els valors paramètrics. Verd: Compleix valors paramètrics. Gris: No hi ha dades.

Punt de mostreig	pH	Al ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	As ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
FRB (07/18)	7,0	12,0	0,3	0,3	61,0
FT (10/17)	6,5	19,9			60,9
FT (07/18)	7,0	11,0	0,3	0,2	61,0
NM1X (07/18)	6,3	66,0	4,2	9,0	6,1
NM2 (07/18)	6,0	103,0	10,0	14,0	5,5
NM3 (07/18)	6,0	326,0	38,0	31,0	1,5
NM4 (10/18)	6,5				
NM5Z (10/18)	5,6				
NM5X (10/18)	5,1				
NM6 (07/18)	4,9	1529,0	117,0	97,0	1,2
NM6 (10/18)	5,0				
NM7 (10/17)	6,3				
NM7 (07/18)	5,9	934,0	68,0	49,0	0,6
NM8Z (10/17)	5,7				
NM8Z (10/18)	5,9				
NM8X (10/17)	5,3	1172,0	89,9		1,7
NM8X (07/18)	5,2	3005,0	175,0	93,0	1,3
NM8X (10/18)	5,2				
NM8Y (10/17)	6,3	8,5	0,2		0,2
NM8Y (10/18)	6,1				
NM9 (10/18)	4,9				
NM10 (07/18)	4,8	7574,0	497,0	238,0	2,3
NM10 (10/18)	5,0				
NM11 (07/18)	5,0	3940,0	249,0	117,0	1,3
NM12 (07/18)	5,7	323,0	54,0	42,0	0,4
NM13 (07/18)	6,1	10,0	0,5	0,2	2,2
NM13 (10/18)	6,5				
NM14 (07/18)	6,2	77,0	2,5	0,3	0,1
NM15 (07/18)	6,2	146,0	2,8	0,9	12,0
NM15 (10/18)	6,3				

El pH presenta valors inferiors a 6,5 en pràcticament tots els punts de mostreig de l'àrea d'estudi, pel que no compleix els valors paramètrics establerts per la legislació. Les guies per a la qualitat de l'aigua de consum humà (OMS, 2018) no estableixen un valor de referència per al pH. El valor del pH de l'aigua no afecta directament la salut dels consumidors, però generalment és un paràmetre indicador de la qualitat de l'aigua (OMS, 2018). D'aquesta manera, es descarta que el pH suposi cap mena de risc per a la salut humana.

Els efectes sobre la salut de l'exposició a l'alumini inclouen diverses malalties neurodegeneratives, com l'Alzheimer, l'esclerosi múltiple i el Parkinson, tot i que la relació causal és encara controvertida (Inan-Eroglu et al., 2018). Segons Vargel (2004) l'exposició a l'alumini és inevitable i uns 10 mg al dia entren a l'organisme humà: 9,6 mg provenen de l'aliment i 0,1-0,4 mg provenen dels utensilis de cuina i els embolcalls del menjar (citats a Inan-Eroglu et al., 2018). La EFSA (*European Food Safety Authority*) situa a 1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d'alumini a la setmana la TWI (*Tolerable weekly intake*). Els valors de TWI es basen en el principi de precaució

i la ingesta a llarg termini. L'absorció de l'alumini ingerit per via oral és baixa, i varia entre un 0,01% i 0,10% de la ingesta total (Wilhelm, 1990).

És important senyalar que la OMS, en les guies per a la qualitat de l'aigua de consum humà (OMS, 2018), no estableix un valor de referència per a l'alumini. Tenint en compte la salut, asseguren que el valor de referència hauria de ser de $0,9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ per a una ingesta diària de 2 L d'aigua per a un adult de 60 kg, però que aquest valor està molt per sobre del que es troba a l'aigua quan l'alumini s'utilitza com a coagulant a les plantes de tractament d'aigua.

L'alumini presenta concentracions per sobre dels valors paramètrics ($0,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) en punts de mostreig compresos entre l'engolidor de la Coma de l'Embut i les surgències àcides. En la zona de les surgències àcides i les zones de precipitació de pàtines blanques a la capçalera, les concentracions d'alumini varien entre quasi $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ i $7,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, mentre que a les fonts de Núria, on es pot donar el consum més habitual, les concentracions d'alumini es troben molt per sota del valor paramètric (Taula 9). D'aquesta manera, l'exposició al risc per part dels éssers humans és extremadament baix. És pràcticament impossible que una persona consumeixi aigua de manera habitual de les surgències àcides, ja que a nivell individual la freqüència de visita a aquests espais és molt baixa. En el cas hipotètic que una persona adulta de 70 kg de pes consumís 1 L d'aigua de la surgència amb més concentració d'alumini, $7,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (Taula 5), només sumaria $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d'alumini a la setmana, un 10% de la TWI. En base a aquestes evidències, és un fet que donada la concreta localització dels drenatges àcids, l'elevada concentració d'alumini a les aigües no suposa un risc per a la salut pública.

El manganès, contràriament a l'alumini, és un metall essencial necessari per al bon funcionament del sistema nerviós central (Roels et al., 2012). El consum diari mitjà per a moltes dietes occidentals és d'entre 2,3 i 8,8 mg (U.S. EPA, 1995; citat a O'Neal i Zheng, 2015). Malgrat això, des del segle XIX es coneixen els efectes neurotòxics de la sobreexposició a aquest metall quan és ingerit per via oral o respiratòria, produint efectes similars al Parkinson (Roels et al., 2012).

En el cas concret d'elevades concentracions de manganès en aigües de consum, la problemàtica ha sigut estudiada a Bangladesh i Canadà. A Bangladesh, on els nivells de contaminació de l'aigua per manganès arriben als $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (Frisbie et al., 2002; citat a O'Neal i Zheng, 2015), s'ha detectat que el consum d'aquesta aigua disminueix les puntuacions en matemàtiques dels infants en edat escolar (Khan et al., 2013; citat a O'Neal i Zheng, 2015). A Canadà, les altes concentracions de manganès a l'aigua de consum produeixen hiperactivitat, un desenvolupament cognitiu deficient i una disminució de la puntuació en els test de coeficient intel·lectual (IQ) dels infants (Bouchard et al., 2007; Khan et al., 2012; Bouchard et al., 2011; citat a O'Neal i Zheng, 2015).

En qualsevol cas, els efectes adversos d'aigües amb una certa concentració de manganès es dona quan les concentracions són molt elevades i l'exposició és prolongada. Les concentracions de manganès superen els valors paramètrics de la legislació espanyola ($0,05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) únicament en zones de surgència àcida (Taula 9). Tenint en compte que la ingesta diària és de $11 \text{ mg} \cdot \text{dia}^{-1}$ (OMS, 2018), i no suposa cap efecte advers, es pot descartar que un consum puntual d'aquesta aigua generi cap risc en la salut. Les fonts de Núria, amb un consum habitual, presenten una concentració de manganès extremadament baixa, molt per sota del valor paramètric (Taula 9).

En el cas del níquel, encara resulta incert si es tracta d'un metall essencial o no (Denkhaus et al., 2002). En qualsevol cas, malgrat que els efectes carcinogènics de la inhalació de níquel en

exposició ocupacional han sigut observats i demostrats (Easton et al., 1992; Anderson, 1992; Roberts, 1992; citat a Denkhau et al., 2002), els efectes carcinogènics de la ingesta per via oral de níquel no han sigut demostrats (OMS, 2018).

Els valors paramètrics de la legislació ($0,02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) són superats als punts de mostreig situats entre la Coma de l'Embut i les surgències àcides, en valors que varien entre $0,02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ i $0,24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (Taula 9). Els valors més alts es troben a les surgències àcides i és només en aquestes zones on es supera també el valor de referència de les guies per a la qualitat de l'aigua de consum humà (OMS, 2018), de $0,07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. La ingesta diària tolerable es situa a $12 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (OMS, 2018), pel que un consum puntual i hipotètic de les aigües de les surgències àcides no pot generar cap risc per a la salut humana. Igual que en el cas de l'alumini i el manganès, les fonts de Núria presenten una concentració molt baixa d'aquest metall, molt per sota del valor paramètric de la legislació.

L'arsènic és conegut àmpliament per la seva capacitat de generar malalties quan es troba en altes concentracions a les aigües de consum. L'arsenicisme, terme que es refereix a la intoxicació per arsènic, produeix diversos efectes nocius en la salut i té capacitat per afectar a grans masses de població quan la contaminació per aquest metal·loide és extensa. Aquest és el cas de l'Índia i Bangladesh, on l'any 1996 es va descriure per primera vegada l'arsenicisme crònic endèmic (Sun, 2003). Les lesions a la pell són els efectes més habituals de l'exposició a l'arsènic en l'aigua (Abernathy et al., 1999), però també presenta un efecte carcinogènic. S'ha determinat que una de cada deu persones que consumeixen aigua amb continguts superiors a $500 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ desenvoluparan càncer de pulmó, vesícula o pell (Stanwell Smith, 2001; citat a Bocanegra et al., 2002). L'estudi de cohort de Ferreccio et al. (1998) troba una relació causal entre concentracions d'arsènic de $50 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ en aigua de consum i el càncer de pell i quatre càncers interns (citat a Abernathy et al., 1999). Altres efectes de l'exposició a altes concentracions d'arsènic en l'aigua són hipertensió (Chen et al., 1995; citat a Sun, 2003) i malaltia vascular perifèrica (Engel et al., 1994; citat a Sun, 2003) que pot acabar en gangrena en els casos més greus. En el mateix estudi (Sun, 2003) es descriuen les zones on l'aigua de consum supera els $50 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ com a zones d'alta exposició a l'arsènic.

Les concentracions d'arsènic superen el valor paramètric de la legislació estatal, que en aquest cas és el mateix que el valor de referència de la guia de la OMS ($10 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), en les dues fonts de Núria, on el consum d'aigua és més freqüent. També supera el valor paramètric una font de surgència de la vessant nord. En aquesta surgència el valor supera per molt poc l'establert per la legislació ($12 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), però a les fonts de Núria es supera el valor paramètric àmpliament, fins a valors sis vegades superiors als legals per a aigües de consum. Tenint en compte que en aquests punts de mostreig l'aigua es posa a disposició del consumidor per mitjà de fonts, caldria prendre algunes mesures en base a la legislació vigent a Espanya. Segons el Reial Decret 140/2003, els consumidors han de rebre informació suficient i oportuna de les situacions d'excepció en quant a la qualitat de l'aigua de consum, pel que en aquest cas, malgrat es pugui assumir que la població no té accés al consum d'aquesta aigua de manera habitual, s'hauria d'informar als consumidors de l'elevada concentració d'arsènic a les fonts.

Tenint en compte que la concentració d'arsènic a aquestes fonts supera el valor que Sun (2003) estableix com a zona d'alta exposició a l'arsènic ($50 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), i l'estudi de Ferreccio et al. (1998), que correlaciona aquest valor a les aigües de consum amb diversos càncers, és necessari el control habitual de les concentracions d'arsènic a aquestes fonts. Si el consum és poc freqüent, a causa de la localització de les fonts, és raonable considerar que el risc no és important. Ara bé,

en el cas que les concentracions augmentin i/o algunes persones consumeixin aigua de manera més habitual, el risc podria ser real.

6.4. Discussió sobre l'evolució temporal del procés i la seva possible relació amb el canvi climàtic

En base a l'anàlisi de la sèrie històrica de fotografies aèries s'han pogut realitzar algunes observacions respecte l'evolució del fenomen observat. Primer de tot, cal tenir en compte que aquest anàlisi té limitacions: tot i que la sèrie comença amb imatges de 1945 i 1956-57, aquesta està incompleta fins als anys 80-90 i no és fins als anys 2000 on es disposa de fotografies aèries freqüents (amb periodicitat inclús d'un any, per a alguns períodes). La qualitat de les fotografies, que és molt alta per a les més actuals, és inferior per a algunes de les imatges de la sèrie, el que ha dificultat la identificació d'anomalies que puguin ésser identificades com a formació de precipitats blancs cobrint les lleres dels torrents.

Respecte els resultats de l'estudi de fotointerpretació, a les imatges s'observa que el fenomen de precipitació no és freqüent, o almenys no amb tanta intensitat com per a ser identificat a les imatges aèries pel període 1945-2005. Si bé s'observa que l'any 2005-2006 hi ha alguna zona afectada pels precipitats, no és fins l'any 2008 quan s'activa el procés de formació continuada de precipitats blancs a la llera del torrent de la Coma de l'Embut. Les imatges també indiquen que aquest procés augmenta significativament a partir de l'any 2009.

La tendència observada podria indicar que la precipitació de les pàtines blanques originades pels drenatges àcids, podria estar relacionada amb la variació climàtica soferta en els darrers anys a causa del canvi climàtic (Nordstrom, 2009; Anawar, 2013; Cánovas, 2008). Segons l'estudi realitzat per l'OPCC-CTP (2018), les temperatures i la freqüència dels episodis de sequera al Pirineu han augmentat gradualment en els darrers seixanta anys, en canvi les precipitacions han disminuït, generant una alteració del balanç hídric i modificant la composició química de l'aigua.

L'any 2008, en el context descrit anteriorment, després de successius episodis de sequera i amb unes temperatures en augment (OPCC-CTP, 2018), es donen les condicions idònies que permeten l'increment de metalls i metal·loides en la capçalera del torrent de la Coma de l'Embut, i l'inici del desenvolupament dels precipitats blancs d'hidròxid d'alumini. A partir de llavors, tot i les variacions anuals de precipitació acumulada i de temperatura mitja registrades a l'estació meteorològica de Núria (Figura 45), s'observa, any rere any, en les imatges aèries una progressiva creixuda de les anomalies en forma de taques blanques, cobrint una major superfície del terreny i augmentant la intensitat del seu color. Així doncs, el procés de formació dels precipitats d'hidròxid d'alumini no sembla alterar-se per les variacions climàtiques anuals, sinó que segueix la tendència climàtica a major escala, amb una aparent independència de les variacions anuals de temperatura i precipitació actuals.

Cal tenir en compte que l'alumini un cop ha precipitat no es dissol amb facilitat, ja que es necessiten unes condicions de pH inferiors a 5, poc habituals a les zones d'aiguabarreig on es formen les pàtines i per tant, els hidròxids d'alumini es van acumulant. Per aquest motiu, per conèixer l'evolució de la concentració d'alumini dissolt en l'aigua no és suficient observar l'increment de les taques blanques en les imatges aèries, sinó que cal prendre periòdicament dades de concentració d'alumini a les diferents surgències àcides.

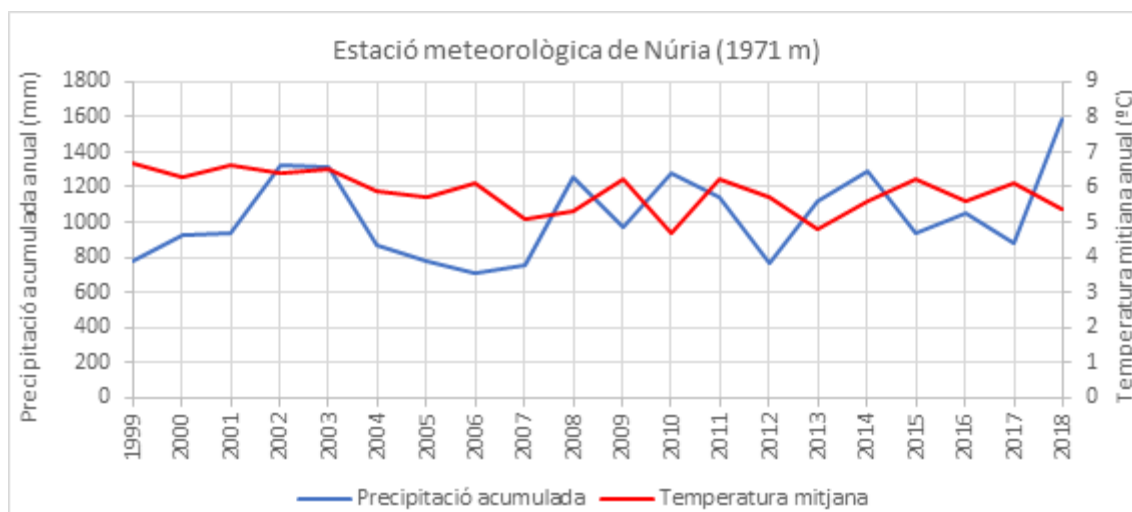


Figura 45. Dades registrades a l'estació meteorològica de Núria de precipitació acumulada i de temperatura mitjana anual del 1999 al 2018. Font: Servei Meteorològic de Catalunya.

Segons els models de canvi climàtic la tendència d'escalfament i d'augment d'episodis de sequera es mantindrà al llarg del segle XXI (OPCC-CTP, 2018) i per tant, els drenatges àcids i els precipitats blancs del torrent de la Coma de l'Embut podrien intensificar-se en un futur. A mesura que disminueixi l'escorrentia superficial i subterrània a causa de les sequeres, la intensitat del drenatge àcid serà més elevada (Nordstrom, 2009; Anawar, 2013; Cánovas, 2008; OPCC-CTP, 2018) i comportarà una disminució del pH de les aigües àcides i un augment de la concentració de metalls i metal·loides. Actualment, el pH de les aigües àcides és neutralitzat ràpidament a valors per sobre de 5, ja que l'acidesa no és gaire important. En un futur és molt probable que el pH de les aigües àcides disminueixi, i, a causa l'augment d'episodis de sequeres, es produeixi una disminució del volum d'aigua d'escorrentia superficial i subterrània dificultant la neutralització dels drenatges àcids. La precipitació dels hidròxids d'alumini no es donarà, per tant, a la zona de capçalera sinó que es podrà donar a zones més baixes del curs hídric, ja que el pH de l'aigua és previsible que es mantingui en valors inferiors a 5 en trams més extensos aigües avall.

Aquest procés no es limita a l'àrea d'estudi del present projecte, sinó que s'han observat manifestacions de drenatges àcids a altres zones del Pirineu (IGC, 2012). Els factors que determinen la formació de drenatges àcids a l'alta muntanya (geomorfològics, litològics i climàtics) són habituals en serralades com els Pirineus, pel que es pot preveure un augment en la freqüència, extensió i intensitat d'aquests processos.

Aquest augment en la magnitud i intensitat dels drenatges àcids afectarà de manera important la qualitat de l'aigua a les zones d'alta muntanya del Pirineu, disminuint el seu pH i augmentant la seva concentració en metalls.

Una de les principals conseqüències podria ser la contaminació d'aigües de consum humà. A causa de la major acidesa de l'aigua i el menor volum d'aquesta, concentracions altes de metalls podran arribar a cotes més baixes afectant embassaments i aigües d'abastament. Podria ser especialment problemàtic el cas de l'arsènic, ja que concentracions relativament baixes en comparació a l'alumini o el manganès, per exemple, poden tenir efectes importants en la salut, destacant el seu potencial com a carcinogen (Abernathy et al., 1999).

Per altra banda, hàbitats que es troben en zones dels cursos hídrics més baixes, que actualment no es veuen amenaçats per aquesta problemàtica, es podrien veure afectats. Els ecosistemes aquàtics serien els més perjudicats, ja que tal i com s'expressa en la guia de qualitat d'aigua de la Columbia Britànica (Government of British Columbia, 2018) són més vulnerables a petites

concentracions de metalls tòxics dissolts en l'aigua que els ecosistemes terrestres que s'abasteixen d'aquesta aigua. Els torrents d'alta muntanya són ecosistemes altament vulnerables, ja que a causa del baix volum d'aigua que transporten, petits canvis de la composició química de l'aigua poden afectar greument a la fauna i la flora existent.

L'augment de concentració de metalls com l'alumini, el cobalt i el zinc, els quals actualment en diversos punts del torrent ja superen valors que poden afectar la vida aquàtica, alteraria ecosistemes de zones més baixes del torrent i podrien produir danys letals o subletals a la fauna i la flora. A llarg termini, els drenatges àcids i la precipitació de pàtines podria afectar al riu de Finestrelles, on desemboca el torrent de la Coma de l'Embut, i modificar les característiques hidroquímiques a l'estany de Núria i el riu Núria. També cal tenir en compte que el riu Núria i els seus afluents són reserva genètica de truites, pel que un augment en les concentracions de metalls pesants podria afectar les poblacions d'aquests peixos.

Per aquests motius són necessaris estudis de l'estat de la fauna i la flora, especialment l'aquàtica, a la vall de la Coma de l'Embut. L'ús de bioindicadors és necessari per conèixer l'estat actual de l'ecosistema i poder extrapolar els efectes dels drenatges àcids a un futur on es poden intensificar.

L'augment de concentració de metalls a aquests trams més baixos podria tenir també efectes a nivell socioeconòmic. L'activitat de la pesca es veuria limitada a mesura que les poblacions de peixos resultessin afectades, mentre que la presència de precipitats d'hidròxid d'alumini podria afectar als valors naturals de Núria donant un aspecte als torrents que pot ser percebut com a contaminat.

Per tal de limitar aquests efectes en la percepció dels espais d'alta muntanya, serien necessàries accions pedagògiques concretes amb la finalitat d'informar als visitants a l'alta muntanya de l'origen natural d'aquest fenomen, tenint en compte que és una manifestació del canvi Global i que el canvi climàtic en pot ser el desencadenant.

En aquesta línia es podrien considerar els processos de drenatge àcid que es donen a l'alta muntanya com a indicadors del canvi climàtic. Donada la gran variabilitat del clima a la zona mediterrània, les condicions climàtiques poden variar molt a nivell interanual, pel que la percepció del canvi climàtic pot ser molt limitada a escala de temps humana i donar lloc a cert escepticisme. Per aquest motiu un procés com el drenatge àcid, que segueix la tendència climàtica a una escala temporal àmplia però es desencadena i s'observa de manera clara en un moment concret, com és la última dècada, es pot postular conjuntament amb altres indicadors del canvi climàtic com el retrocés de les glaceres a l'alta muntanya (Heaberli i Beniston, 1998) i el canvi de les comunitats vegetals (Gottfried et al., 2012).

7. Conclusió

La informació que aporten les enquestes evidencia la necessitat d'estudiar qualsevol amenaça pels espais d'alta muntanya, com en aquest cas, els drenatges àcids. El valor social que han adquirit aquests espais justifica la seva protecció i conservació.

Els precipitats blancs que es troben a la llera del torrent de la Coma de l'Embut s'originen a causa dels factors mineralògics i geomorfològics de la zona. Les condicions d'alta permeabilitat que es donen a la vessant sud de la vall a causa de la fracturació, possibiliten l'oxidació dels sulfurs que són presents a la roca, generant acidesa i alliberant metalls i metal·loides. Aquests processos de drenatge àcid es manifesten en les surgències àcides al peu del massís fracturat. La neutralització de l'acidesa d'aquestes aigües per la seva barreja amb les aigües poc mineralitzades i menys àcides provinents de l'altre vessant, provoca la precipitació dels hidròxids d'alumini per un augment del pH. La resta de metalls i metal·loides es dilueixen aigües avall.

Les concentracions d'arsènic detectades a les fonts de Núria tenen un origen incert, ja que les dades disponibles no generen cap resultat conclouent al respecte. Tot i això, és l'únic element present a l'aigua de l'àrea d'estudi que en la actualitat pot suposar la presa de mesures respecte el consum d'aquesta aigua. El risc de l'exposició a l'arsènic és conegut per la bibliografia (Abernathy et al., 1999; Sun, 2003), i es troba en fonts on es facilita el consum d'aigua a la població. L'alumini, el manganès i el níquel superen els valors paramètrics que estableix la llei d'aigua de consum humà (RDL 140/2003, de 7 de febrer), però tenint en compte que no és una aigua d'abastament públic, pel que el consum és poc possible i/o infreqüent, no suposen un risc per a la salut pública. No és així per als ecosistemes, ja que les concentracions d'alumini, cobalt i zinc generades pel procés de drenatge àcid en les aigües del torrent de la Coma de l'Embut presenten valors superiors als que poden afectar la vida aquàtica (Government of British Columbia, 2018).

Actualment, els efectes als ecosistemes i a la salut pública són limitats per la baixa extensió de la zona afectada. Tot i així, en un futur, aquests efectes es podrien agreujar. La bibliografia actual (Nordstrom, 2009; Anwar, 2013; Cánovas, 2008), indica que existeix una correlació entre el canvi climàtic i un augment dels processos de drenatge àcid, fet que també és confirmat per l'estudi de fotointerpretació, en el qual s'observa que els precipitats blancs d'hidròxid d'alumini apareixen fonamentalment a la última dècada. A causa de la major incidència de les sequeres i l'augment de temperatures que es donaran en un futur, especialment a la regió Mediterrània (Giorgi et al., 2008), els Pirineus es poden veure afectats per una generalització dels processos de drenatge àcid. Es podria esperar una degradació de la qualitat de l'aigua, amb un augment de les concentracions de metalls i l'acidesa, que seria més difícil de neutralitzar, afectant cotes més baixes dels cursos hídrics. La salut dels ecosistemes es podria veure compromesa, mentre que també seria possible que es veiessin afectades aigües d'abastament públic.

A nivell socioeconòmic, la percepció idealitzada dels valors naturals de l'alta muntanya, corroborada amb les enquestes i que és un reflex del canvi d'usos del sòl que s'ha produït en el context de canvi Global, es pot veure afectada per la pèrdua de qualitat d'aigua i la precipitació d'hidròxids d'alumini a cotes més baixes.

Els processos de drenatge àcid natural al Pirineu poden ser proposats com un indicador de canvi climàtic, conjuntament amb el retrocés de les glaceres a l'alta muntanya (Heaberli i Beniston, 1998) i el canvi de les comunitats vegetals (Gottfried et al., 2012).

8. Propostes de millora

Per finalitzar, s'han realitzat un seguit de propostes de millora que es creuen convenientes un cop realitzat l'estudi dels drenatges àcids a la vall de la Coma de l'Embut. Les propostes de millora es presenten a continuació (Figura 46) i s'estructuren en diverses línies estratègiques, programes i accions mitjançant les quals es duran a terme.

Per a cada acció proposada conté una breu explicació de l'objectiu i la descripció. Alhora, també s'inclou la prioritat, el termini d'implantació, el període d'execució, els agents econòmics, les fonts de finançament i els indicadors de seguiment.

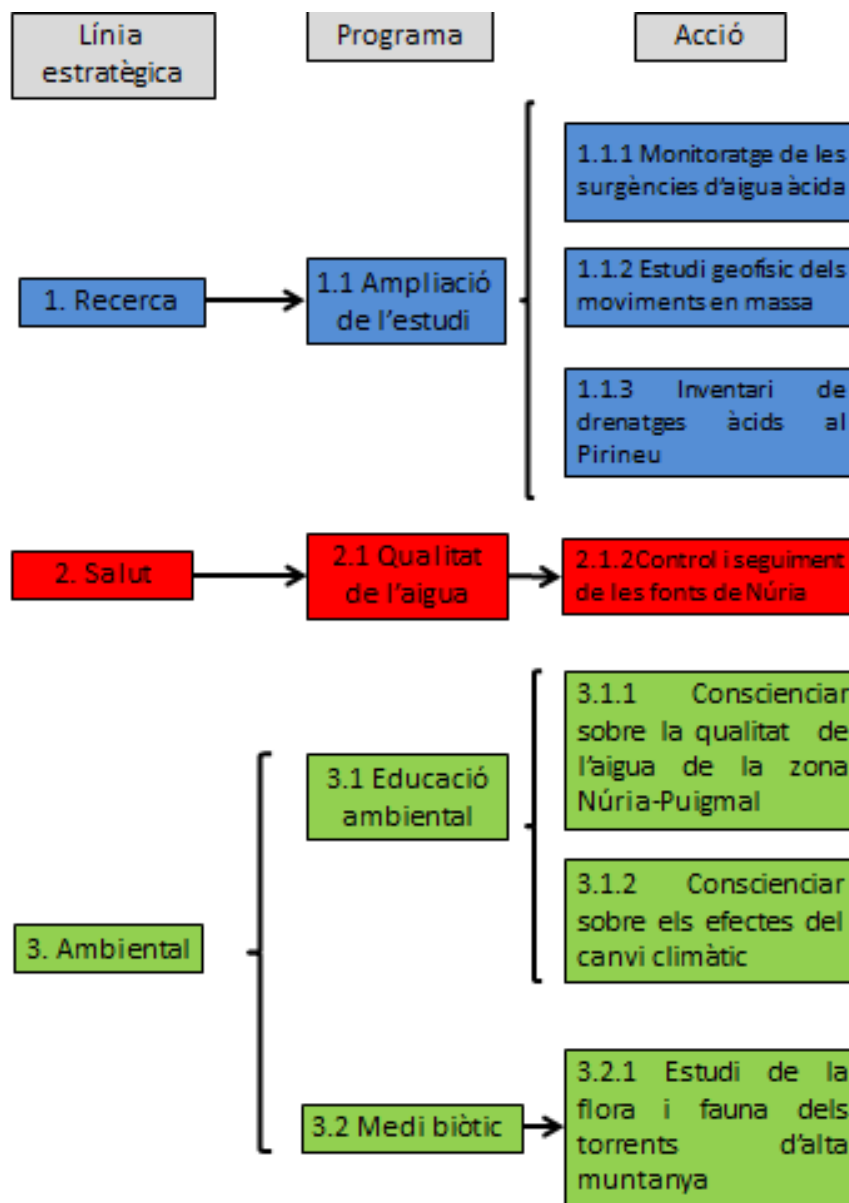


Figura 46. Esquema de les línies estratègiques que es realitzen per dur a terme les propostes de millora.

A continuació, es presenten les diferents fitxes d'accions de les línies estratègiques marcades a l'inici d'aquest apartat. S'adjunta un exemple de fitxa a l'Annex (Taula 7 de l'Annex) amb l'explicació dels paràmetres establerts.

Taula 11. Fitxa 1 de propostes de millora.

FITXA 1		
Línia estratègica	1. Recerca	
Programa	1.1 Ampliació de l'estudi	
Acció	1.1.1 Monitoratge de les surgències d'aigua àcida	
Objectiu	Fer un seguiment del fenomen de drenatge àcid a les surgències del vessant sud de la vall de la Coma de l'Embut.	
Descripció	El seguiment, a partir del monitoratge de les surgències àcides, localitzades al peu dels moviments en massa del vessant sud, permetria avaluar l'evolució del fenomen en relació a la seva magnitud. El monitoratge es basaria en instal·lar mesuradors de pH, EC i T ^a .	
Prioritat	Termini d'implantació	Període d'execució
Mitjana	Curt	1 any
Agents implicats	Ajuntament de Queralbs, Agència Catalana de l'Aigua, Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser, Vall de Núria	
Cost econòmic	Fonts de finançament	
A definir segons els materials emprats	Ajuntament de Queralbs, Agència Catalana de l'Aigua, Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser, Vall de Núria.	
Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment	

Taula 12. Fitxa 2 de propostes de millora.

FITXA 2		
Línia estratègica	1. Recerca	
Programa	1.1 Ampliació de l'estudi	
Acció	1.1.2 Estudi geofísic dels moviments en massa	
Objectiu	Caracteritzar la circulació de l'aigua d'escorrentia subterrània pel massís esllavissat de la vessant sud de la vall de la Coma de l'Embut.	
Descripció	L'estudi geofísic permetria conèixer la dinàmica hidrogeològica del vessant sud que produeix les surgències d'aigua àcida. Seria d'utilitzat per poder fer una descripció més acurada del fenomen.	
Prioritat Baixa	Termini d'implantació Llarg	Període d'execució 1-2 anys
Agents implicats	Universitats de Catalunya	
Cost econòmic A definir segons els materials emprats	Fonts de finançament Ajuntament de Queralbs, Agència Catalana de l'Aigua, Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser, Universitats de Catalunya, Vall de Núria.	
Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment	

Taula 13. Fitxa 3 de propostes de millora.

FITXA 3		
Línia estratègica	1. Recerca	
Programa	1.1 Ampliació de l'estudi	
Acció	1.1.3 Inventari de drenatges àcids al Pirineu	
Objectiu	Realitzar un inventari de les diferents manifestacions de la problemàtica a altres indrets del Pirineu	
Descripció	L'inventari per identificar possibles manifestacions al Pirineu es realitzarà a partir d'un estudi de fotointerpretació inicialment i una identificació al camp, utilitzant el reconeixement de precipitats blancs com a indicador dels drenatges àcids.	
Prioritat Mitjana	Termini d'implantació Mitjà	Període d'execució 2-3 anys
Agents implicats	Agència Catalana de l'Aigua, Institut Geològic de Catalunya, Parcs Naturals, Universitats de Catalunya	
Cost econòmic A definir segons els materials emprats	Fonts de finançament Agència Catalana de l'Aigua, Institut Geològic de Catalunya, Universitats de Catalunya.	
Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment	

Taula 14. Fitxa 4 de propostes de millora.

FITXA 4		
Línia estratègica	2. Salut	
Programa	2.1 Qualitat de l'aigua	
Acció	2.1.1 Control i seguiment de les fonts de Núria	
Objectiu	Controlar l'evolució de les característiques fisicoquímiques d'aquestes fonts a través d'anàlisis hidroquímics freqüents.	
Descripció	Les fonts del Dr. Tarrés i Ramon Bassols a Núria són les dues fonts on es realitzaria el control i seguiment de la seva qualitat a causa del risc que poden suposar les concentracions d'arsènic detectades en aquests punts de mostreig. Es realitzarien anàlisis de la composició química de l'aigua amb una freqüència mensual.	
Prioritat Alta	Termini d'implantació Curt	Període d'execució < 1 any
Agents implicats	Ajuntament de Queralbs, Agència Catalana de l'Aigua, Vall de Núria	
Cost econòmic A definir segons els materials emprats	Fonts de finançament Ajuntament de Queralbs, Agència Catalana de l'Aigua, Vall de Núria.	
Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment	

Taula 15. Fitxa 5 de propostes de millora.

FITXA 5		
Línia estratègica	3. Ambiental	
Programa	3.1 Educació ambiental	
Acció	3.1.1 Conscienciar sobre la qualitat de l'aigua de la zona Núria-Puigmal	
Objectiu	Donar a conèixer els drenatges àcids a la vall de la Coma de l'Embut	
Descripció	La conscienciació sobre els drenatges àcids es podria realitzar a través de xerrades informatives a espais habilitats de la Vall de Núria i també amb la ubicació de cartells informatius propers a les surgències i a zones de precipitació d'hidròxids d'alumini.	
Prioritat Mitjana	Termini d'implantació Mitjà	Període d'execució 1-3 anys
Agents implicats	Ajuntament de Queralbs, Agència Catalana de l'Aigua, Vall de Núria	
Cost econòmic A definir segons els materials emprats	Fonts de finançament Ajuntament de Queralbs, Agència Catalana de l'Aigua, Vall de Núria.	
Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment	

Taula 16. Fitxa 6 de propostes de millora.

FITXA 6		
Línia estratègica	3. Ambiental	
Programa	3.1 Educació ambiental	
Acció	3.1.2 Conscienciar sobre els efectes del canvi climàtic	
Objectiu	Donar a conèixer els possibles efectes del canvi climàtic a la Vall de Núria i en general, els espais d'alta muntanya del Pirineu	
Descripció	La conscienciació sobre el canvi climàtic a un nivell molt més ampli donant a conèixer altres efectes possibles com són la pèrdua de biodiversitat i l'alteració de la qualitat de l'aigua a través de seminaris a col·legis i instituts, a més a més de ponències a diferents nivells institucionals.	
Prioritat Mitjana	Termini d'implantació Mitjà	Període d'execució 1-3 anys
Agents implicats	Ajuntaments, Departament d'Ensenyament de la Generalitat, Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic	
Cost econòmic A definir segons els materials emprats	Fonts de finançament Ajuntaments, Departament d'Ensenyament de la Generalitat	
Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment	

Taula 17. Fitxa 7 de propostes de millora.

FITXA 7		
Línia estratègica	3. Ambiental	
Programa	3.1 Medi biòtic	
Acció	3.1.1 Estudi de la flora i fauna dels torrents d'alta muntanya	
Objectiu	Identificar bioindicadors als hàbitats de les zones afectades pel fenomen de drenatge àcid que es puguin veure afectats.	
Descripció	L'estudi de bioindicadors és útil per l'avaluació de l'estat del medi ambient. Es realitzarà un recompte d'espècies i es compararà aquest recompte amb altres torrents d'alta muntanya on no s'observi cap problemàtica.	
Prioritat Mitjana	Termini d'implantació Mitjà	Període d'execució 1-3 anys
Agents implicats	Ajuntaments, Agents rurals, Departament de Medi Ambient, Territori i Sostenibilitat de la Generalitat, Universitats de Catalunya	
Cost econòmic A definir segons els materials emprats	Fonts de finançament Ajuntaments, Departament de Medi Ambient, Territori i Sostenibilitat de la Generalitat, Universitats de Catalunya	
Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment	

9. Programació de treball

La programació del treball es durà a terme a partir del diagrama de Gantt. El diagrama de Gantt és útil per exposar el temps de dedicació prevista per activitats o tasques al llarg d'un temps determinat.

Llistat d'activitats	Calendari del projecte				
	SET	OCT	NOV	DES	GEN
Elecció del projecte	■				
Recerca bibliogràfica	■	■	■	■	■
Lectura i anàlisi de conceptes	■	■	■	■	
Sortida de camp		■			
Redacció dels antecedents	■	■			
Redacció de l'àrea d'estudi		■	■		
Redacció justificació del projecte		■	■		
Redacció dels objectius			■		
Redacció de la metodologia			■		
Redacció dels pressupost			■		
Elaboració primera entrega			■		
Defensa primera entrega			■		
Correcció de la primera entrega			■		
Preparació de mostres			■		
Anàlisi de mostres al laboratori			■	■	
Anàlisi de resultats de camp			■	■	
Anàlisi de resultats de laboratori			■	■	
Redacció dels resultats			■	■	
Interpretació de resultats			■	■	
Redacció de la discussió			■	■	
Redacció de conclusions				■	■
Redacció de propostes de millora				■	■
Redacció bibliografia i annexos				■	■
Elaboració del resum				■	■
Elaboració segona entrega				■	■
Defensa segona entrega				■	■
Correcció segona entrega				■	■
Redacció del document final					■
Revisió del document final					■
Defensa TFG					■
Entrega TFG					■

Taula 18. Diagrama de Gantt.

10. Pressupost

Despeses Directes:						
Bloc	Concepte	Descripció i observacions	justificació			valor total
			unitat	preu unitat	persones	
Recursos humans	Treball de redacció*	Recerca de informació i redacció de la memòria	300 h	20 €/h	3	18.000,00 €
	Treball de camp*	Campanyes a l'àrea d'estudi	60 h	20 €/h	3	3.600,00 €
	Treball de laboratori*	Tractació de les mostres de sòls	12 h	20 €/h	3	1.080,00 €
	Subcontractació d'analítiques	Anàlisi de les mostres d'aigües tan de composició com d'isòtops	30 h	25 €/h	1	750,00 €
	Dietes	Àpats dels dies de treball de camp	10 menús	12 €/menú	3	360,00 €
	Allotjaments	Pernoctació a ribes de freser	1 nit	25 €/nit	3	75,00 €
Total:						23.865,00 €
Desplaçaments	Benzina	Cerdanyola del Vallès-Queralbs. 260km. Preu gasolina 1,35€/L. Consum vehicle 6,5L/100km	4	22,815 €/viatge		91,26 €
	Transport públic	Trajecte en tren residències-UAB (per fer reunions periòdiques)	48	3,10€/viatge	3	446,40 €
Total:						537,66 €
Bloc	Concepte	Descripció i observacions	justificació			valor total
			unitat	preu unitat	amortització	
Material inventariable	Phmetre	Mesurador portàtil (pH/ORP / ISE) impermeable, Hanna	1	595€/180 mesos de vida útil	5 dies	0,55 €
	Conductímetre	Mesurador portàtil (CE/TDS/Resistivitat/Salinitat) impermeable, Hanna	1	640€/180 mesos de vida útil	5 dies	0,59 €
	Ordinador	Treball de gabinet i redacció de la memòria	3	700€/120 mesos de vida útil	6 mesos	105,00 €
	Llicència ArcGis	Llicència gratuïta per estudiants de la UAB	3	0 €		0,00 €
	Cinta mètrica	Mesura de sòls	1	5 €		5,00 €
	Càmera fotogràfica	Realització de fotos durant els diferents processos del estudi	1	500€/120 mesos de vida útil	6 mesos	25,00 €
	Filtre de captura de radi	Mostratge de radi de les aigües insitu	3	50€/60 mesos de vida útil	2 dies	0,17 €
	Sedàs	Pel tractament de les mostres de sòls.	5	10€/120 mesos de vida útil	2 dies	0,03 €
Balança analítica de precisió	Model Mettler AE 260	1	1200€/180 mesos de vida útil	2 dies	0,44 €	
Total:						136,78 €
Material fungible	Impressió a color	Impressió de dues memòries del treball	300	0,40 €		120,00 €
	Encuadernació		2	4 €		8,00 €
	Flascons	Utilitzats per mostreig d'aigua	100	0,50 €		50,00 €
	Llibreta de camp		3	5 €		15,00 €
	Bolígrafs		3	1 €		3,00 €
	Bosses de plàstic	Utilitzades per mostreig de sòls	20	0 €		0,10 €
	CD	Entrega del treball de fi de grau	3	1 €		3,00 €
Total:						199,10 €
Total despeses directes:						24.738,54 €
Despeses indirectes (20% de les despeses directes):						4.947,71 €
Total despeses directes i indirectes:						29.686,25 €
Fons de reserva (10% del cost calculat):						2.968,62 €
IVA (21%):						5.195,09 €
Pressupost final:						37.849,97 €

*El preu per hora ha estat extret del Col·legi d'Ambientòlegs de Catalunya, on es considera que la feina desenvolupada per un tècnic ambientòleg professional pot oscil·lar entre els 20 i els 40 €/hora.

Taula 19. Pressupost del projecte

11. Petjada de carboni

En aquest apartat, es calcula l'impacte en unitats de CO₂ equivalent que s'han generat durant la realització del treball. El CO₂ equivalent és una mesura universal que s'utilitza per a indicar el possible augment de l'escalfament global que comporten tots els gasos d'efecte hivernacle (The World Bank, 2017).

El càlcul es divideix en dos blocs: el primer es basa en la petjada de carboni produïda pels desplaçaments terrestres a la universitat per les sessions destinades a realitzar el treball, per reunions amb els tutors i per realitzar campanyes a l'àrea d'estudi. La distància recorreguda durant els desplaçaments s'ha calculat a través de Google Maps. El càlcul de les emissions generades pels desplaçaments s'ha realitzat a través d'un calculadora de petjada de carboni *online* (CeroCO₂, 2011) (Taula 20). Per altra banda, el segon bloc està destinat a calcular la petjada de carboni produïda per la impressió del treball, per la qual és necessari conèixer el factor d'impressió que equival a 0'003kg CO₂/full segons www.camarazaragoza.com. (Taula 21)

Concepte	Mitjà de transport	Distància recorreguda (anada-tornada en km)	Viatges realitzats	Emissions generades (kg CO ₂ eq.)
Desplaçament a la UAB (Miquel i Oscar)	Cotxe	120	28	1.303,69
Desplaçament a la UAB (Eduard)	Tren	12	28	10,08
Desplaçament a l'àrea d'estudi	Cotxe	246	4	572,68
TOTAL:				1.886,95

Taula 20. Càlcul de la petjada de carboni pels desplaçaments terrestres.

Concepte	Número de fulls	Factor d'impressió (kg CO ₂ /full)	Emissions generades (kg CO ₂ eq.)
Fulls impresos (total)	122 x 2 còpies	0,003	0,366

Taula 21. Càlcul de la petjada de carboni per la impressió del treball.

TOTAL EMISSIONS GENERADES: 1.886,95 kg CO₂ eq. + 0,366 kg CO₂ eq. = 1.887,316 kg CO₂ eq

12. Referències

12.1. Bibliografia

- Abernathy, C.O., Liu, Y.P., Longfellow, D., Aposhian, H.V., Beck, B., Fowler, B., Goyer, R., Menzer, R., Rossman, T., Thompson, C., i Waalkes, M. (1999). Arsenic: Health Effects, Mechanisms of Actions, and Research Issues. *Environmental Health Perspectives* 107 7 (pp. 593-597).
- Agliardi F., Crosta G.B. i Frattini P. (2012) . Slow, deep-seated rock slope deformation (DSGSD). Dins John J. Clague i Douglas Stead (Ed.). *Landslides: Types, Mechanisms and Modeling* (pp. 207-219). New York: Cambridge.
- Akcil, Ata i Koldas, Soner (2006). Acid Mine Drainage, Causes, Treatment and Case of Studies. *Journal of Cleaner Production* Vol 14, (pp. 1139- 1145).
- Anawar, H. Md., (2013). Impact of climate change on acid mine drainage generation and contaminant transport in water ecosystems of semi-arid and arid mining areas. *Physics and Chemistry of the Earth* 58-60 (pp. 13-21).
- Antrop, M. (1997). The concept of traditional landscapes as a base for landscape evaluation and planning. The example of Flanders Region. *Landscape and Urban Planning* 38: 105-117.
- Arribas, O. (1999). Distribución y estatus de *Lacerta agilis* y *Zootoca vivipara* en Cataluña. *Butlletí de la Societat Catalana d'Herpetologia*, 14 (pp. 10-21).
- Aymerich, P., Cambra, J., Carreras, J., Carrillo, E., Guardiola, M., Curcó, A., Ferré, A., Font, X., Masalles, R.M., Mercadé, A., Ninot, J.M., Salvat, A., Vigo, A. (2014). Cartografia dels hàbitats a Catalunya (versió 2). Manual d'interpretació. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Ayora, C., Cardellach, E. i Phillips, R. (1981). Mineralisation from Vall de Ribes Area (Eastern Pyrenees, Spain). *Mineral Deposita* 16 (pp. 195-204).
- Ayora C. i Casas J.M. (1986). Strata-bound As-Au mineralization in pre-Caradocian rocks from the Vall de Ribes. Eastern Pyrenees, Spain. *Mineralium Deposita*, 21 (pp. 278-287)
- Barceló, J., Poschenrieder, Ch. (1992). Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. A *Suelo y planta*. 2. (pp 345-361). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Barnolas, A. i Pujalte, V. (2004). Introducción a la cordillera Pirenaica. Geología de España (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid (pp. 233-241).
- Beltran, O., Maroto, I. (2014). Especies invasoras vs. protegidas. Política de fauna en los Pirineos. *Avá*, nº19 (pp. 49-77).
- Bocanegra, O.C., Bocanegra, E.M. i Alvarez, A.A. (2002). Arsénico en aguas subterráneas: su impacto en la salud. *Groundwater and Human Development* (2002) (pp. 21-27).
- Bordonau, J. (2005). El glaciario cuaternario en los Pirineos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Vol. 13, Núm. 3 (pp. 252-258).

- Cánovas, C.R., Hubbard, C.G., Olías, M., Nieto, J.M., Black, S., Coleman, M.L. (2008). Hydrochemical variations and contaminant load in the Río Tinto (Spain) during flood events. *Journal of Hydrology* 350 (pp. 25-40).
- Carrillo, E. (2006). Ecosistemas d'alta muntanya: Prats alpins i boscos de pi negre. *L'atzavara*, 14 (pp. 5-16).
- Chaparro, L.T. (2015). Drenajes ácidos de mina. Formación y manejo. *Revista ESAICA*, Vol.1 n°1, (pp. 53-57).
- Cirés, J., Casas, J.M., Muñoz, J.A., Fleta, J. i Barbera, M. (1994). Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 218 (Molló). Instituto Geológico y Minero de España.
- Cirés, J., Domingo, F., Roca, E., Escuer, J. i Sanz, J. (1994). Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 217 (Puigcerdà). Instituto Geológico y Minero de España.
- Cuadrat, J.M. et al (2013). Creación de una base de datos homogeneizada de temperaturas para los Pirineos (1950-2010). *Geographicalia* (pp. 63-74).
- Denkhaus, E. i Salnikow, K. (2002). Nickel essentiality, toxicity and carcinogenicity. *Critical Reviews in Oncology/Hematology* 42 (2002) (pp. 35-36).
- EFSA (European Food Safety Authority) (2008). Safety of aluminium from dietary intake, scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and food contact materials (AFC). *EFSA Journal* 2008 (pp. 1-34).
- Enrique, P. (2010). Caracterización geoquímica de los leucogranitos de Núria y los gneises de Querolbs (Pirineos Orientales). *Geogaceta*, 49 (pp. 87-90).
- España. Real Decreto-ley 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. *Boletín oficial del Estado*, 19 de enero de 2011, num. 16.
- España. Real Decreto-ley 140/2003, de 7 de febrero, por el que establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *Boletín Oficial del Estado*, 21 de febrero de 2003, num. 45.
- Giorgi, F. i Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63 (pp. 90-104).
- Gonzalez, F. (1982). L'alta muntanya i la seva fauna. *Annals del Centre d'Estudis Comarcals Ripollesos* (pp. 81-104).
- Gonzalez Prat, F. (2010). La fauna vertebrada de les capçaleres del Ter i Freser. *A XI seminari de gestió ambiental de la ICHN*, Ripoll.
- González-Toril, E., Llobet-Brossa, E., Casamayor, E.O., Amann, R. i Amils, R. (2003). Microbial ecology of an extreme acidic environment, the Tinto River. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69, (pp. 4853-4865).
- Gómez Ortiz, A. (2015). *Avances, métodos y técnicas en el estudio del periglacialismo*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barancok, P., Benito, J.L., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Fernández, M.R., Kazakis, G., Krajci, J., Larsson, P., Mallaun, M.,

- Michelsen, O., Moiseev, D., Moiseev, P., Molau, U., Merzouki, A., Nagy, L., Nakhtrishvili, G., Pedersen, B., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Theurillat, J.P., Tomaselli, M., Villar, L., Vittoz, P., Vogiatzakis, J. i Grabherr, G. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature*, Vol. 2 (pp. 258-265).
- Grande, J.A., Gómez, T., de la Torre, M.L., Valente, T., Barranco, C., Domínguez, V. i Graiño, J. (2010). Drenaje ácido de mina y metales disueltos: del impacto ambiental al patrimonio minero. Aplicación al caso de mina herrerías en la faja pirítica ibérica. Romero, E. (coord), *Patrimonio geológico y minero. Una apuesta por el desarrollo sostenible* (pp. 87-98). Huelva: Universidad de Huelva.
- Heaberli, W. i Beniston, M. (1998). Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio*, Vol. 27, nº4 (pp. 258-265).
- Herrero, J., Lovari, S. i Berducou, C. (2008). Rupicapra pyrenaica. *The IUCN Red List of Threatened Species 2008*: e.T19771A9012711.
- Houle R.V. (2015). Contaminación por Arsénico en Acuíferos de Catalunya (España). Universidad de Barcelona.
- Inan-Eroglu, E. i Avaz, A. (2018). Is aluminum exposure a risk factor for neurological disorders?. *J Res Med Sci* (pp. 23-51).
- IGC (2011). Caracterització hidroquímica de les aigües superficials i caracterització geoquímica regional a la capçalera del riu Noguera de Vallferrera (Circ de Baiau - Pla de Boet. Informe seguiment 1.
- IGC (2012). Caracterització geoquímica dels materials geològics de la zona de capçalera del riu Noguera de Vallferrera (Circ de Baiau-Pla de Boet). Informe tècnic IGC-GAO-001/2012.
- IGC (2012). Les pàtines blanques de la capçalera de la Noguera de Vallferrera. Composicions, processos i efectes associats. Informe tècnic IGC-GAO-003/2012.
- IPCC (2018). Global warming of 1,5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Jarman, D., Calvet, M., Corominas, J., Delmas, M. i Gunnell, Y. (2014) Large-scale rock slope failures in the eastern pyrenees: identifying a sparse but significant population in paraglacial and parafluvial contexts, *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 96:3 (pp. 357-391).
- Klotz, K., Weistenhöfer, W., Neff, F., Hartwig, A., van Thriel, C. i Drexler, H. (2017). The health effects of aluminum exposure,. *Dtsch Arztebl Int* 2017; 114 (pp. 653-659).
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., Ulbrich, U., i Xoplaki, E. (2006) The Mediterranean Climate: An Overview of the Main Characteristics and Issues. A Boscolo. R., Rizzoli, P.M. i Lionello, P., *Mediterranean Climate Variability* (pp. 1-26). Elsevier Science.
- Massip, J.M. i Maroto, J. (2011). Llops i humans a Catalunya. Del passat al present. *Quaderns*, 29, CEGB, Banyoles (pp. 171-191).

- Muñoz Portero, M.J. (2011). Características y usos de los diagramas de Pourbaix. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Takeno, N. (2005). Atlas of Eh-pH diagrams. Intercomparison of thermodynamic databases. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Research Center for Deep Geological Environments.
- Nava-Ruiz, C., Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién*, Vol. 16, nº3 (pp. 140-147).
- Nordstrom, K. (2009). Acid rock drainage and climate change. *Journal of Geochemical Exploration*, 100 (pp. 97-104).
- Nordstrom, K. (2011). Hydrogeochemical processes governin the origin, transport and fate of major and trace elements from mine wastes and mineralized rock to surface waters. *Applied geochemistry*, 26 (pp. 1777-1791).
- Olías, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., i Cánovas, C.R. (2008). La contaminación minera de los Ríos Tinto y Odiel. Olías, M. et al, *Geología de Huelva, lugares de interés geológico* (pp. 62-67). Huelva: Universidad de Huelva.
- O'Neal, S.L. i Zheng, W. (2015). Manganese Toxicity Upon Overexposure: a Decade in Review. *Curr Envir Health Rpt* (2015) 2 (pp. 315-328).
- Ordeix, M., Solà, C., Bardina, M., Casamitjana, A, Munné, A. (editors) (2014). *Els peixos dels rius i les zones humides de Catalunya. Qualitat biològica i connectivitat fluvial*. Agència Catalana de l'Aigua, Museu del Ter, Eumo editorial, Vic, 172 pp.
- OMS (Organització Mundial de la Salut), 2018. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum]. Llicència: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- OPCC-CTP (2018). El cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación. Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos. ISBN: 978-84-09-06268-3.
- Palomo, L. J., Gisbert, J., Blanco, J. C. (2007). *Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España*. Dirección General para la Biodiversidad-SECEM-SECEMU, Madrid, (588 pp.).
- Rodellas, V. (2014). Evaluating Submarine Groundwater discharge to the Mediterranean Sea by using radium isotopes (Tesi doctoral). Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Espanya.
- Roels, H.A., Bowler, R.M., Kim, Y., Claus Henn, B., Mergler, D., Hoet, P., Gocheva, V.V., Bellinger, D.C., Wright, R.O., Harris, M.G., Chang, Y., Bouchard, M.F., Riojas-Rodriguez, H., Menezes-Filho i J.A., Téllez-Rojo, M.M. (2012). Manganese exposure and cognitive deficits: A growing concern for manganese neurotoxicity. *NeuroToxicology* 33 (pp. 872-880).
- Sierra J., Ortiz A., Burkalter J. i García de Miguel J.M. (1973). Mapa Metalogénico de España E. 1:200.000 (Serie Antigua) – Hoja 25 – Figueras. IGME.
- Sun, G. (2004). Arsenic contamination and arsenicosis in China. *Toxicology and Applied Pharmacology* 198 (2004) (pp. 268-271).

Origen i efectes dels drenatges àcids a l'alta muntanya. El cas de la capçalera del riu Freser.

Vergés J. i Martínez A. (1988). Corte compensado del Pirineo oriental: Geometría de las cuencas de antepaís y edades de emplazamiento de los mantos de corrimiento. *Acta Geològica Hispànica* t. 23, núm. 2, (pp. 95-105).

Vidal, A. (2017). Puigmal: Detecció de precipitacions blanques al torrent de la coma de l'Embut. Muntanya, 920 (pp. 58-65). Centre Excursionista de Catalunya.

Vigo, J. (2008). L'alta muntanya catalana: flora i vegetació. Institut d'Estudis Catalans.

Willhelm, M., Jager, D.E., Ohnesorge, F.K. (1990). Aluminum toxicokinetics. *Pharmacol Toxicol* 66 (pp. 4-9).

Xercavins, A. (1985). Els Climes del Pirineu Oriental: des de les terres gironines fins a la Catalunya Nord i Andorra. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 7 (pp. 81-102).

12.2. Webgrafia

- Aigües de Manresa. (<http://aigüesdemanresa.cat>). [Consultat el dia 4 de gener de 2019].
- Centro de descargas. Centro nacional de información geográfica. (<http://centrodedescargas.cnig.es/>) [Consultat durant el període del 18 al 20 d'octubre de 2018].
- Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (<http://agricultura.gencat.cat/>). [Consultat durant el període del 27 al 30 de setembre de 2018].
- Els Parcs de Catalunya. Parcs Naturals. Generalitat de Catalunya (<http://parcsnaturals.gencat.cat/>). [Consultat durant el període del 2 al 5 d'octubre de 2018].
- Government of British Columbia. Approved Water Quality Guidelines, 2018. (<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/water-quality/water-quality-guidelines/approved-water-quality-guidelines/>) [Consultat durant el període del 18 de desembre de 2018 al 14 de gener de 2019].
- Grup de Recerca de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació. Universitat de Barcelona. (<http://www.ub.edu/geoveg/cat/mapes.php>) [Consultat durant el període del 20 al 22 de novembre de 2018].
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (<http://www.icgc.cat/>) [Consultat durant el període del 15 al 16 d'octubre de 2018].
- Institut d'Estadística de Catalunya (<http://www.idescat.cat/>). [Consultat durant el període del 13 al 14 d'octubre de 2018].
- Life LimnoPirineus (<http://www.lifelimnopirineus.eu/>). [Consultat durant el període del 27 al 30 de setembre de 2018].
- Declaració del Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser (2015). Departament de Territori i Sostenibilitat (en línia) (<http://parcsnaturals.gencat.cat/>) [Consultat durant el període del 10 al 14 d'octubre de 2018].
- Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic (<https://www.opcc-ctp.org/>). [Consultat durant el període del 7 al 11 d'octubre de 2018].
- Proyecto Life-etad. Ecological Treatment of Acid Drainage. (<http://www.life-etad.com/>). [Consultat durant el període del 22 al 25 de setembre de 2018].
- Servei Meteorològic de Catalunya (<http://www.meteo.cat/>). [Consultat durant el període del 7 d'octubre de 2018 al 3 de gener de 2019].
- Servidor d'Informació Ornitològica de Catalunya (<http://www.sioc.cat/>). [Consultat durant el període del 27 al 30 de setembre de 2018].
- Universitat d'Alacant (<https://ssti.ua.es/>). [Consultat durant el període del 21 al 23 d'octubre de 2018].
- Universidad de Burgos (<https://www.ubu.es/>). [Consultat durant el període del 21 al 23 d'octubre de 2018].

Origen i efectes dels drenatges àcids a l'alta muntanya. El cas de la capçalera del riu Freser.

Annex

Índex de l'Annex

Figura 1.	1
Figura 2.	7
Figura 3.	8
Figura 4.	11
Figura 5.	13
Figura 6.	14
Figura 7.	14
Figura 8.	14
Figura 9.	15
Figura 10.	15
Figura 11.	15
Figura 12.	16
Figura 13.	16
Figura 14.	16
Figura 15.	17
Figura 16.	17
Figura 17.	17
Figura 18.	18
Figura 19.	18
Figura 20.	18
Figura 21.	19
Figura 22.	19
Figura 23.	19
Figura 24.	20
Figura 25.	21
Figura 26.	21
Figura 27.	22
Figura 28.	22
Figura 29.	22
Figura 30.	23
Figura 31.	23
Figura 32.	24
Figura 33.	24
Taula 1.	2
Taula 2.	5
Taula 3.	6
Taula 4.	9
Taula 5.	25
Taula 6.	25
Taula 7.	26



Figura 1. Localització dels punts de mesura de pH, Ec i T, i punts de mostreig d'aigua, sòls i precipitats blancs. En ocre i groc, les ampliacions que s'observen a les Figures 32 i 33 a l'apartat de resultats. Mapa base ortofotogràfic de l'any 2010, resolució 25cm/píxel. Datum 31N ETRS89. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Taula 1. Resultats de mesures in situ i d'anàlisis hidroquímics.

Punt de mostreig	pH	Ec ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Al ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Cr ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Fe ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Co ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	As ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Hg ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Ti ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	K ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
FRB (10/17)	6,6	156,0	7,8														
FRB (07/18)	7,0	123,0	9,1	12,0	<0,5	0,3	3,8	<0,1	0,26	0,7	<4	61,0	<0,1	<0,1	<0,1		
FRB (10/18)	6,6	124,1	7,5														
FT (10/17)	6,5	86,9	10,6	19,9			0,8					60,9				0,1	636,0
FT (07/18)	7,0	125,0	9,5	11,0	<0,5	0,3	3,4	<0,1	0,23	<0,5	<4	61	<0,05	<0,1	0,1		
FT (10/18)	6,7	122,3	7,6														
NM1Z (07/18)	6,7	180,6	9,9	67,0	<0,5	6,2	12,0	0,3	10,0	<0,5	5,8	4,1	0,1	<0,1	<0,1		
NM1Z (10/18)	6,7	183,9	8,5														
NM1X (07/18)	6,3	253,7	9,3	66,0	<0,5	4,2	15,0	0,2	9,0	0,6	6,6	6,1	0,1	<0,1	0,3		
NM1X (10/18)	6,8	221,2	8,4														
NM1Y (07/18)	6,7	180,5	9,1	83,0	<0,5	7,9	31,0	0,4	12,0	0,8	19,0	4,1	0,2	<0,1	0,2		
NM1Y (10/18)	6,7	170,9	8,5														
NM2 (07/18)	6,0	233,0	5,6	103,0	<0,5	10	23,0	0,5	14,0	1,8	11,0	5,5	0,2	<0,1	0,1		

NM2 <i>(10/18)</i>	7,0	215,0	5,8														
NM3 <i>(10/17)</i>	6,6	141,6	6,5	134,3		20,5	27,0					2,9				0,7	435,0
NM3 <i>(07/18)</i>	6,0	206,4	8,3	326,0	<0,5	38,0	15,0	2,7	31,0	3,0	29	1,5	0,5	<0,1	0,2		
NM3 <i>(10/18)</i>	7,5	214,8	5,6														
NM4 <i>(10/18)</i>	6,5	300,8	4,7														
NM5Z <i>(10/18)</i>	5,6	291,5	3,4														
NM5X <i>(10/18)</i>	5,1	509,0	2,1														
NM5Y <i>(10/18)</i>	6,7	165,8	1,8														
NM6 <i>(07/18)</i>	4,9	372,0	7,0	1529,0	<0,5	117,0	7,7	7,2	97,0	9,4	112,0	1,2	1,8	<0,1	0,3		
NM6 <i>(10/18)</i>	5,0	561,2	2,1														
NM7 <i>(10/17)</i>	6,3	270,0	7,5														
NM7 <i>(07/18)</i>	5,9	242,8	6,9	934,0	<0,5	68,0	13,0	5,3	49,0	2,1	41,0	0,6	0,7	<0,1	0,1		
NM8Z <i>(10/17)</i>	5,7	241,8	4,4														
NM8Z <i>(10/18)</i>	5,9	284,2	5,8														
NM8X <i>(10/17)</i>	5,3	307,6	2,2	1172,0		89,9	0,9					1,7				0,4	457,0

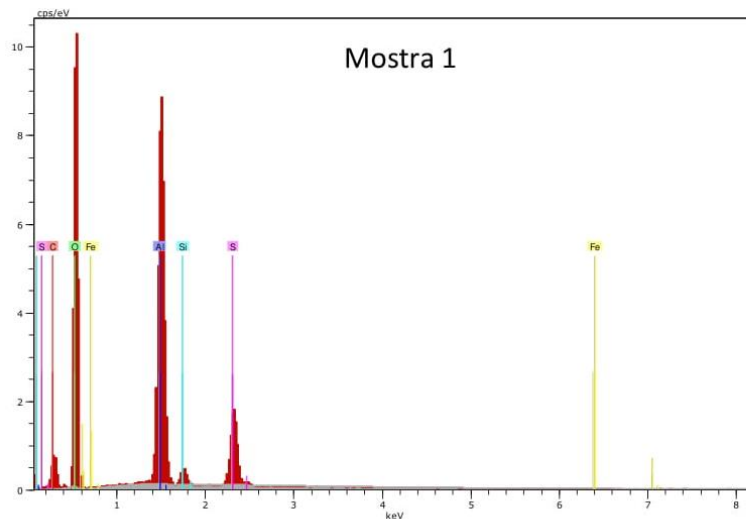
NM8X (07/18)	5,2	335,9	7,0	3005,0	<0,5	175,0	14,0	14,0	93,0	5,9	85,0	1,3	1,3	<0,1	0,2		
NM8X (10/18)	5,2	417,8	2,2														
NM8Y (10/17)	6,3	179,0	3,8	8,5		0,2						0,2				0,4	18096,0
NM8Y (10/18)	6,1	258,5	5,6														
NM9 (10/18)	4,9	564,4	1,6														
NM10 (07/18)	4,8	600,0	3,3	7574,0	0,7	497,0	9,1	42,0	238,0	18,0	274,0	2,3	3,6	<0,1	0,2		
NM10 (10/18)	5,0	514,2	3,1														
NM11 (07/18)	5,0	348,9	2,0	3940,0	<0,5	249,0	34	21,0	117,0	8,9	113,0	1,3	1,8	<0,1	0,4		
NM12 (07/18)	5,7	304,2	1,2	323,0	<0,5	54,0	6,7	3,9	42,0	1,2	23,0	0,4	0,5	<0,1	0,1		
NM13 (07/18)	6,1	55,8	9,0	10,0	<0,5	0,5	5,9	<0,1	0,19	<0,5	<4	2,2	<0,1	<0,1	0,1		
NM13 (10/18)	6,5	66,1	3,5														
NM14 (07/18)	6,2	20,1	18,0	77,0	<0,5	2,5	50,0	<0,1	0,29	<0,5	<4	0,1	<0,1	<0,1	0,2		
NM15 (07/18)	6,2	78,9	7,3	146,0	<0,5	2,8	80,0	0,2	0,94	0,9	5,5	12,0	<0,1	<0,1	1,0		
NM15 (10/18)	6,3	79,8	7,5														

Taula 2. Coordenades UTM dels punts de mostreig amb una breu descripció de la seva localització.

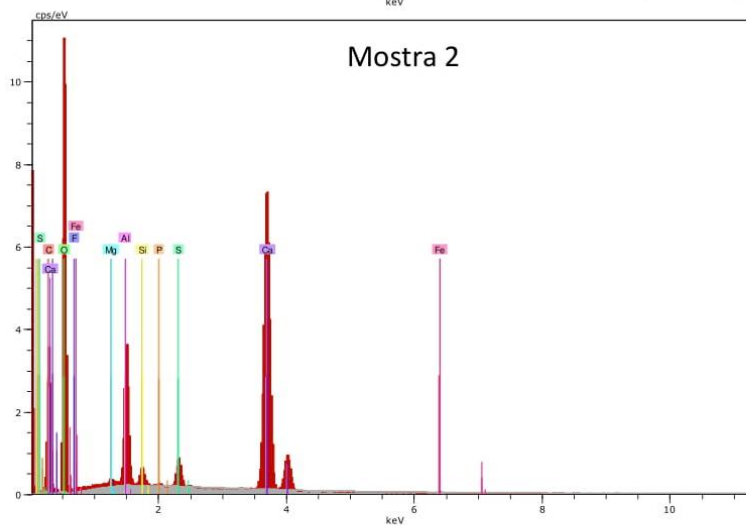
Punt de mostreig	Coordenada X	Coordenada Y	Descripció
FRB	430229,00	4694025,00	Font Ramón Bassols, a la zona del santuari de Núria.
FT	430224,00	4694094,00	Font Doctor Tarrés, a la zona del santuari de Núria
NM1Z	429727,00	4694694,00	Torrent de Finestrelles després de la confluència amb el torrent de la Coma de l'Embut.
NM1X	429605,00	4694695,00	Torrent de la Coma de l'Embut abans de confluir amb el torrent de Finestrelles.
NM1Y	429619,00	4694792,00	Torrent de Finestrelles abans de la confluència amb el torrent de la Coma de l'Embut.
NM2	429301,00	4694530,00	Torrent de la Coma de l'Embut, després del brollador.
NM3	428852,00	4694264,00	Torrent de la Coma de l'Embut abans de l'engolidor "Coma de l'Embut".
NM4	428567,00	4693919,00	Torrent de la Coma de l'Embut més amunt de l'engolidor.
NM5Z	428442,01	4693710,61	Aiguabarreig de NM5X i NM5Y.
NM5X	428430,32	4693707,34	Surgència NM6 després de confluir amb el torrent de la Coma de l'Embut.
NM5Y	428439,50	4693704,95	Surgència del vessant sud d'aigua no àcida.
NM6	428376,00	4693638,00	Surgència del vessant sud.
NM7	428279,73	4693685,23	Torrent de la Coma de l'Embut al tram de capçalera.
NM8Z	428028,03	4693565,58	Aiguabarreig de NM8X i NM8Y.
NM8X	428011,00	4693559,00	Surgència del vessant sud.
NM8Y	427996,99	4693565,95	Aigua provinent de surgències del vessant nord.
NM9	428018,60	4693521,72	Surgència del vessant sud.
NM10	427958,00	4693527,00	Surgència del vessant sud.
NM11	427893,00	4693495,00	Surgència del vessant sud.
NM12	427854,00	4693495,00	Surgència del vessant sud.
NM13	427453,00	4693846,00	L'Estanyet (llac del vessant nord).
NM14	427681,00	4693822,00	Llac al vessant nord.
NM15	427912,00	4693779,00	Surgència al vessant nord.

Taula 3. Resultats de l'anàlisi per ICP-MS després de diluir la mostra de precipitats blancs en 100mL de dissolució àcida.

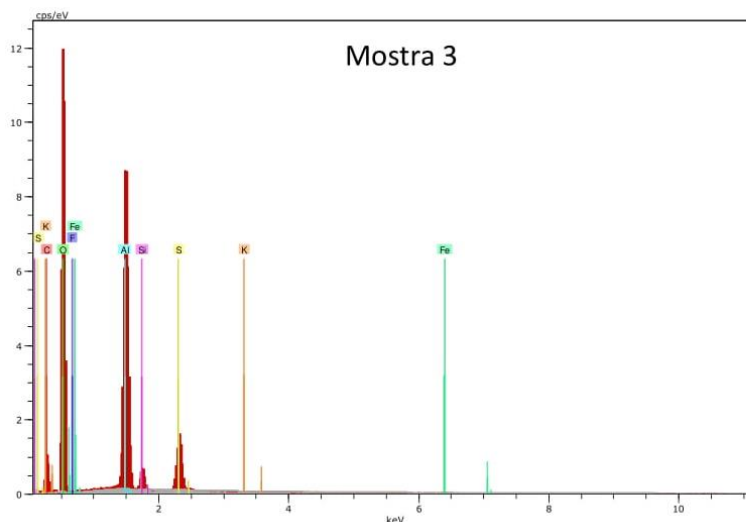
Element	Concentració ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
²³ Na	892
²⁴ Mg	3340
²⁷ Al	417000
²⁹ Si	822800
³¹ P	1665200
³² S	6326
³³ S	6632
³⁹ K	1966
⁴⁷ Ti	53
⁵⁴ Fe	11410
⁵⁵ Mn	8678
⁷⁵ As	220



ELEMENT	UNN. C (WT. %)	NORM. C (WT. %)	ATOM. C (AT. %)
C	19,67	14,89	20,80
O	82,72	62,60	65,68
Al	23,20	17,56	10,92
Si	0,96	0,73	0,44
S	5,18	4,00	2,09
Fe	0,30	0,23	0,07
TOTAL	132,14	100,00	100,00



ELEMENT	UNN. C (WT. %)	NORM. C (WT. %)	ATOM. C (AT. %)
C	34,47	20,00	27,91
O	101,42	58,86	61,66
F	2,13	1,24	1,09
Mg	0,54	0,32	0,22
Al	6,58	3,82	2,37
Si	0,73	0,42	0,25
P	0,12	0,07	0,04
S	1,26	0,73	0,38
Ca	24,88	14,44	6,04
Fe	0,20	0,12	0,02
TOTAL	172,32	100,00	100,00



ELEMENT	UNN. C (WT. %)	NORM. C (WT. %)	ATOM. C (AT. %)
C	21,59	14,39	20,06
O	94,86	63,19	66,14
F	1,78	1,19	1,05
Al	24,88	16,57	10,29
Si	1,66	1,11	0,66
S	5,00	3,33	1,74
K	0,02	0,02	0,01
Fe	0,31	0,21	0,06
TOTAL	150,11	100	100

Figura 2. Difractogrames de raigs X i taules corresponents a les mostres 1, 2 i 3. Font: Carles Roqué.

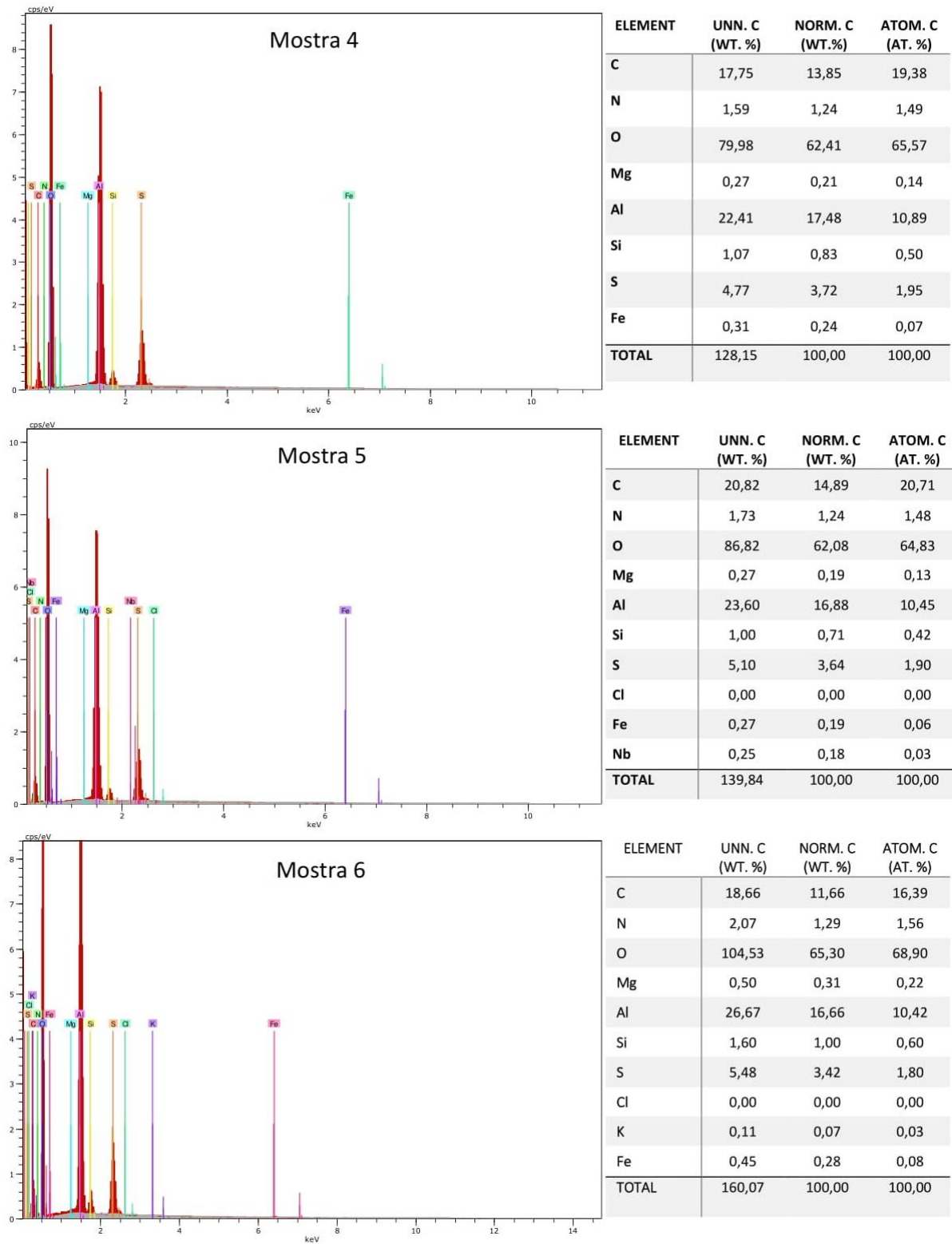


Figura 3. Diffractogrames de raigs X i taules corresponents a les mostres 4, 5 i 6. Font: Carles Roqué.

Taula 4. Resultats de l'anàlisi de sòls.

Mostra de sòl	pH	EC ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)
NM8Z	6,4	52,3
NM8Y	6,7	61,6
NM13	5,4	172,1

ENQUESTA: La percepció dels espais d'alta muntanya

INFORMACIÓ GENERAL

Edat: _____
Gènere: _____
Lloc de residència: _____
Lloc de naixement: _____
Ocupació actual: _____

1. Quina activitat realitza o ha realitzat a l'entorn de la Vall de Núria?

- Turisme Caça
- Esport (senderisme, esquí...) Altres: _____

2. Han augmentat les seves visites als espais d'alta muntanya en els darrers anys?

- SI NO

Per què? _____

3. En quina freqüència visita els espais d'alta muntanya?

- 1-2 visites/any 3-5 visites/any
- 6-10 visites/any >11 visites/any

4. Quin són els valors més importants dels espais d'alta muntanya? (Es pot marcar més d'una resposta)

- Turístic Paisatgístic
- Ecològic Econòmic
- Històric/Cultural Altres: _____

5. Creu que és necessari protegir els espais d'alta muntanya amb mesures de conservació?

- | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| (Cap mesura de conservació) | (Poques mesures de conservació) | (Abundants mesures de conservació) | (Màxim nivell de conservació) |

Per què? _____

6. Creu que els espais d'alta muntanya tenen o poden tenir efectes en la seva salut? Quins?

ENQUESTA: La percepció dels espais d'alta muntanya

8. Com valora la qualitat de l'aigua de les fonts i torrents que pot trobar als espais d'alta muntanya, com per exemple la Vall de Núria?

1	2	3	4
(Molt dolenta: té mal aspecte i conté components que són perjudicials per a la salut)	(Dolenta: té mal aspecte o conté components que són perjudicials per a la salut)	(Bona: l'aspecte és bo i la qualitat de l'aigua és acceptable)	(Excel·lent: tant el aspecte com la qualitat de l'aigua són molt bons)

Per què? _____

9. Creu que en els últims 50 anys el canvi climàtic ha afectat l'entorn de la Vall de Núria?

SI NO

En cas afirmatiu, com creu que ha afectat el canvi climàtic a l'entorn de la Vall de Núria? (Es pot marcar més d'una resposta)

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Increment de la temperatura | <input type="checkbox"/> Menor acumulació de neu |
| <input type="checkbox"/> Sequeres | <input type="checkbox"/> Pèrdua de biodiversitat |
| <input type="checkbox"/> Riudes | <input type="checkbox"/> Alteració de la qualitat de l'aigua |
| <input type="checkbox"/> Altres: _____ | |

MOLTES GRÀCIES PER LA SEVA COL·LABORACIÓ.

Enquesta realitzada per estudiants de doble grau de ciències ambientals i geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona. La informació obtinguda en aquesta enquesta serà usada exclusivament per realitzar el treball de final de grau.

Correu de contacte: edumadula@gmail.com

Figura 4. Enquesta realitzada als visitants.

ENQUESTA: La percepció dels espais d'alta muntanya

INFORMACIÓ GENERAL

Edat: _____
Gènere: _____
Lloc de residència: _____
Lloc de naixement: _____
Ocupació actual: _____

1. Sobre la seva ocupació laboral, treballa o ha treballat a l'entorn de la Vall de Núria i/o del Parc Natural de les Capçaleres del Ter i del Freser? SI NO

En cas afirmatiu, en quin sector?

- Serveis Ramaderia Agricultura
 Minería Altres: _____

2. Quina ha estat l'evolució de les principals activitats econòmiques de la regió en els darrers 50 anys?

- | | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Ramaderia: | <input type="checkbox"/> Augment | <input type="checkbox"/> Disminució | <input type="checkbox"/> No ha variat |
| Serveis i turisme | <input type="checkbox"/> Augment | <input type="checkbox"/> Disminució | <input type="checkbox"/> No ha variat |
| Mineria: | <input type="checkbox"/> Augment | <input type="checkbox"/> Disminució | <input type="checkbox"/> No ha variat |
| Agricultura: | <input type="checkbox"/> Augment | <input type="checkbox"/> Disminució | <input type="checkbox"/> No ha variat |
| Aprofitament forestal: | <input type="checkbox"/> Augment | <input type="checkbox"/> Disminució | <input type="checkbox"/> No ha variat |

4. Quin són els valors més importants dels espais d'alta muntanya? (Es pot marcar més d'una resposta)

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Turístic | <input type="checkbox"/> Paisatgístic |
| <input type="checkbox"/> Ecològic | <input type="checkbox"/> Econòmic |
| <input type="checkbox"/> Històric/Cultural | <input type="checkbox"/> Altres: _____ |

5. Creu que és necessari protegir els espais d'alta muntanya amb mesures de conservació?

- | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| (Cap mesura de conservació) | (Poques mesures de conservació) | (Abundants mesures de conservació) | (Màxim nivell de conservació) |

Perquè? _____

6. Creu que els espais d'alta muntanya tenen o poden tenir efectes en la seva salut? Quins?

ENQUESTA: La percepció dels espais d'alta muntanya

8. Com valora la qualitat de l'aigua de les fonts i torrents que pot trobar als espais d'alta muntanya, com per exemple la Vall de Núria?

1	2	3	4
Volt dolenta: té mal aspecte i conté components que són perjudicials per a la salut)	(Dolenta: té mal aspecte o conté components que són perjudicials per a la salut)	(Bona: l'aspecte és bo i la qualitat de l'aigua és acceptable)	(Excel·lent: tant l'aspecte com la qualitat de l'aigua són molt bons)

Per què? _____

9. Creu que en els últims 50 anys el canvi climàtic ha afectat l'entorn de la Vall de Núria?

SI NO

En cas afirmatiu, com creu que ha afectat el canvi climàtic a l'entorn de la Vall de Núria? *(Es pot marcar més d'una resposta)*

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Increment de la temperatura | <input type="checkbox"/> Menor acumulació de neu |
| <input type="checkbox"/> Sequeres | <input type="checkbox"/> Pèrdua de biodiversitat |
| <input type="checkbox"/> Riuades | <input type="checkbox"/> Alteració de la qualitat de l'aigua |
| <input type="checkbox"/> Altres: _____ | |

MOLTES GRÀCIES PER LA SEVA COL·LABORACIÓ.

Enquesta realitzada per estudiants de doble grau de ciències ambientals i geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona. La informació obtinguda en aquesta enquesta serà usada exclusivament per realitzar el treball de final de grau.

Correu de contacte: edumadaula@gmail.com

Figura 5. Enquesta realitzada a la població local.

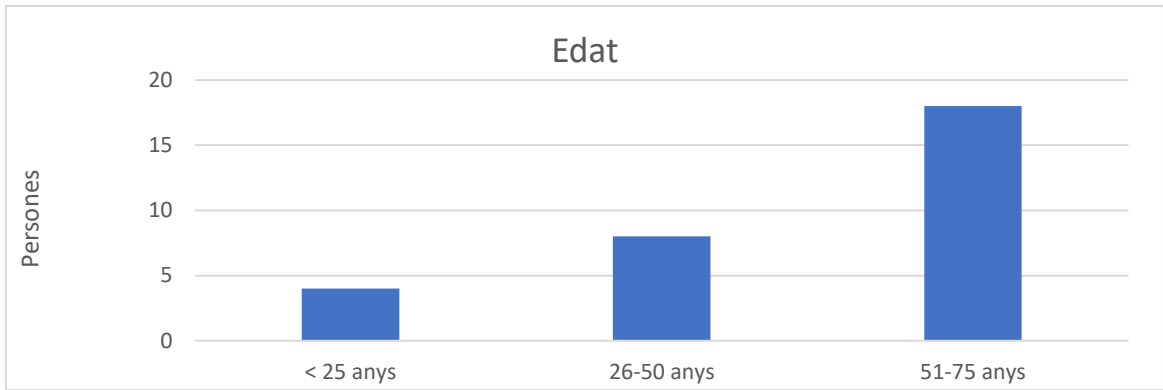


Figura 6. Gràfic que mostra l'edat de les persones dels visitants enquestats.

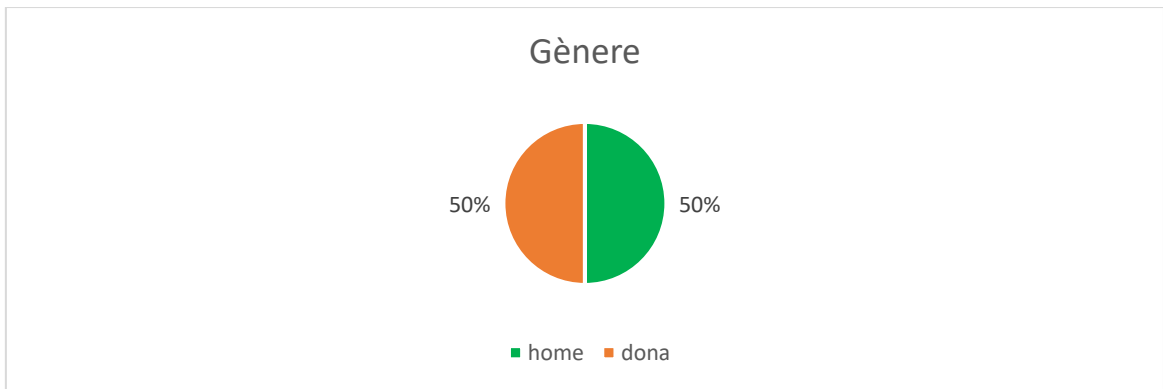


Figura 7. Gràfic que mostra la proporció per gènere dels visitants enquestats

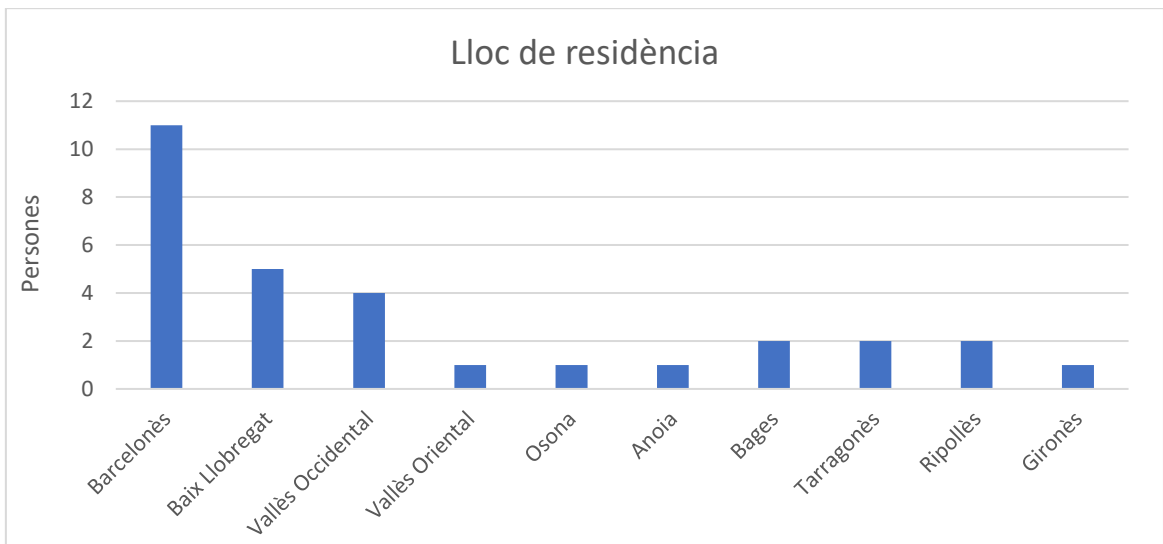


Figura 8. Gràfic que mostra el lloc de residència per comarques dels visitants enquestats.

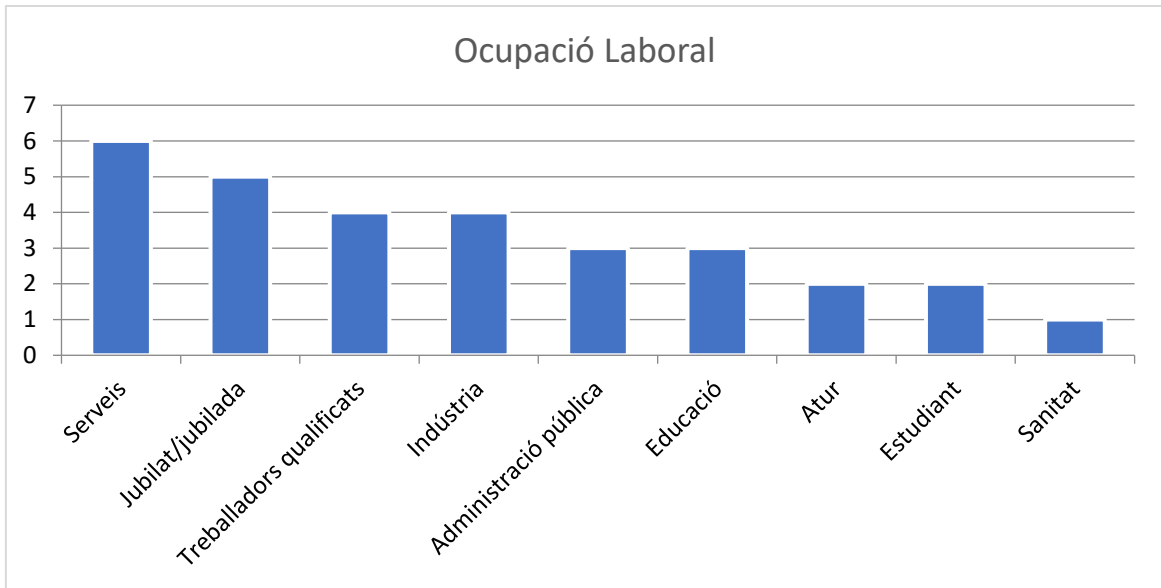


Figura 9. Gràfic que mostra l'ocupació laboral dels visitants enquestats.

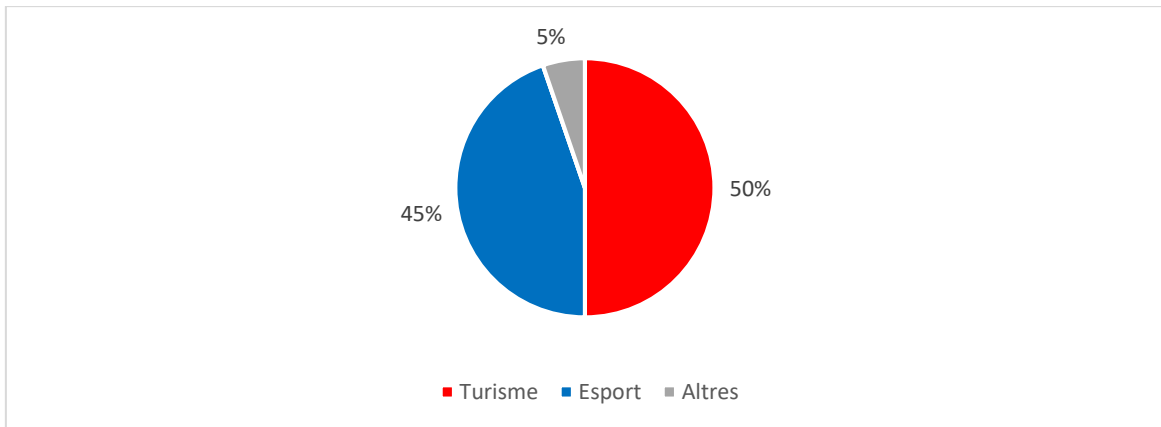


Figura 10. Resposta de la pregunta 1 de l'enquesta de visitants.

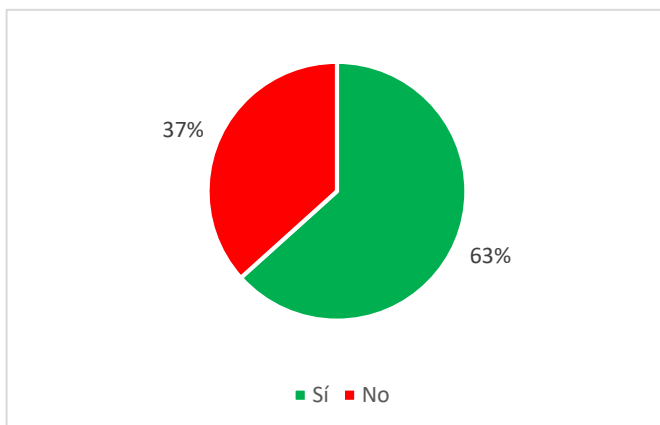


Figura 11. Resposta de la pregunta 2 de l'enquesta de visitants.

Per què? Majoritàriament han augmentat les seves visites als espais d'alta muntanya, perquè els agrada estar en contacte amb la natura, i els permet desconectar de la ciutat.

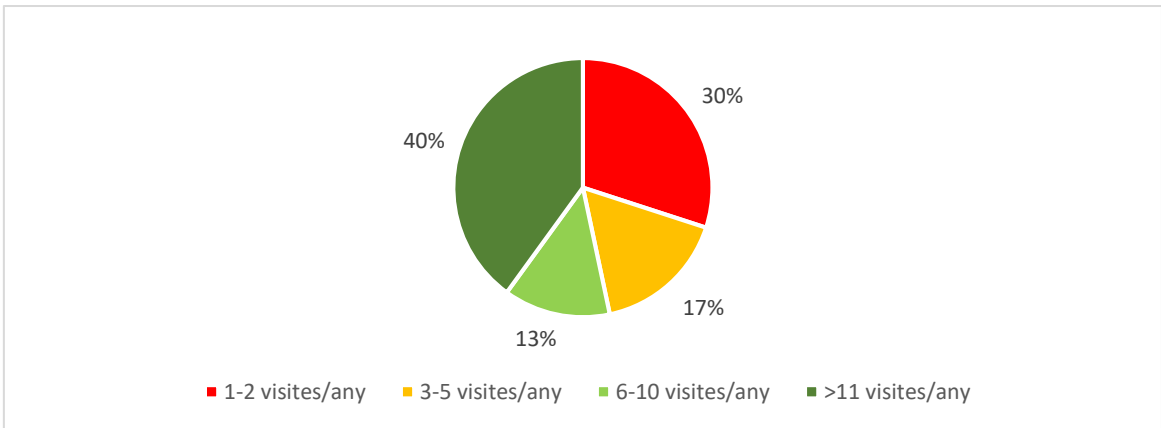


Figura 12. Resposta de la pregunta 3 de l'enquesta de visitants.

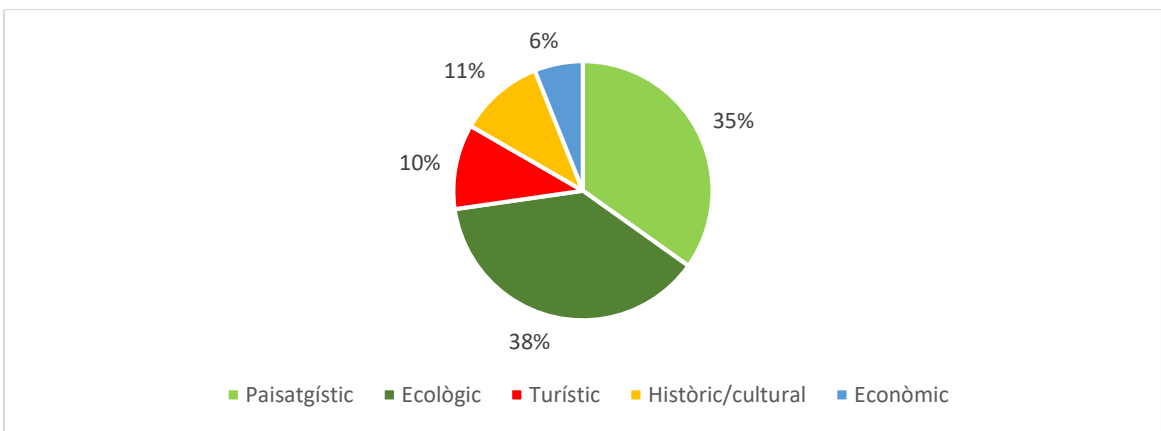


Figura 13. Resposta de la pregunta 4 de l'enquesta de visitants.

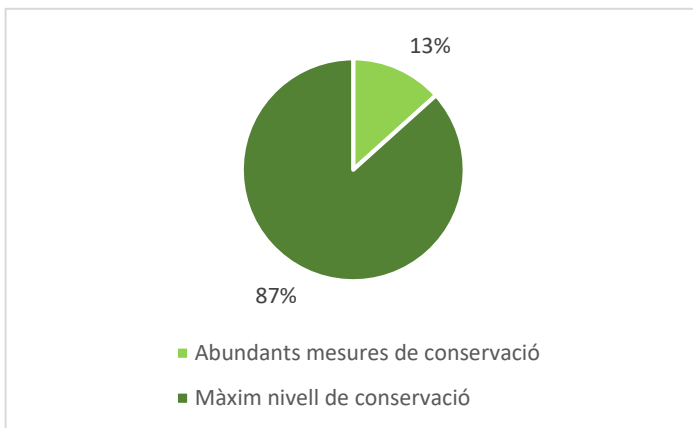
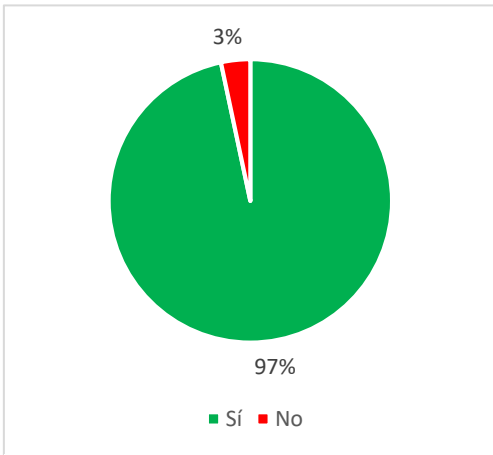


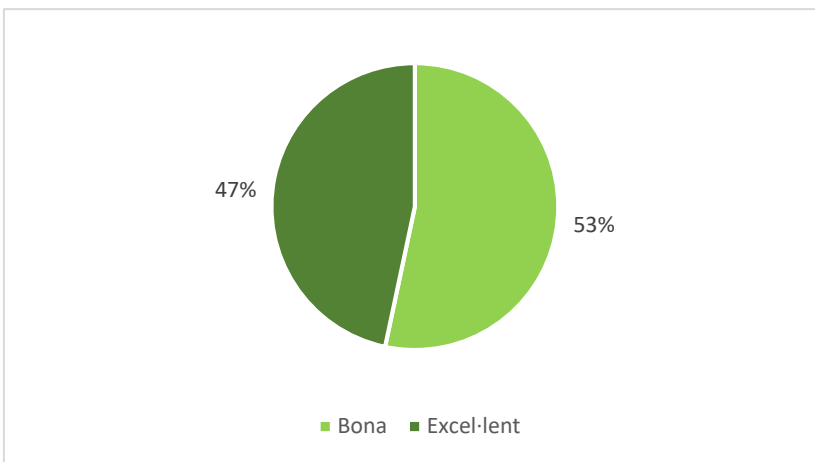
Figura 14. Resposta de la pregunta 5 de l'enquesta de visitants.

Perquè? Generalment consideren que els espais d'alta muntanya s'han de protegir ja que estan en retrocés, i s'estan degradant. Consideren que s'han de conservar perquè es pugui seguir gaudint dels espais naturals.



Quins? Consideren que tenen efectes positius o molt positius en la salut, consideren que és un espai relaxant, on el aire és més saludable.

Figura 15. Resposta de la pregunta 6 de l'enquesta de visitants



Per què? Perquè consideren que és aigua natural i no està contaminada pels humans.

Figura 16. Resposta de la pregunta 7 de l'enquesta de visitants.

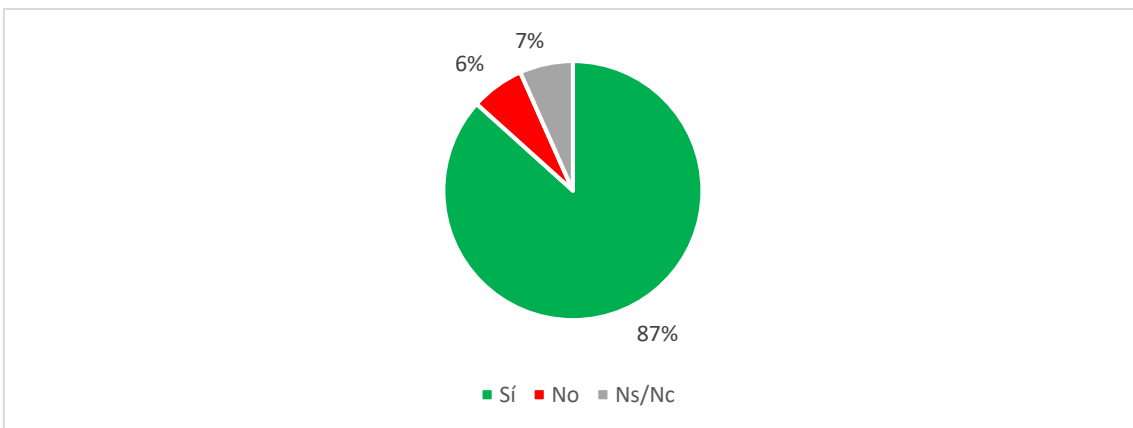


Figura 17. Resposta de la pregunta 9 de l'enquesta de visitants.

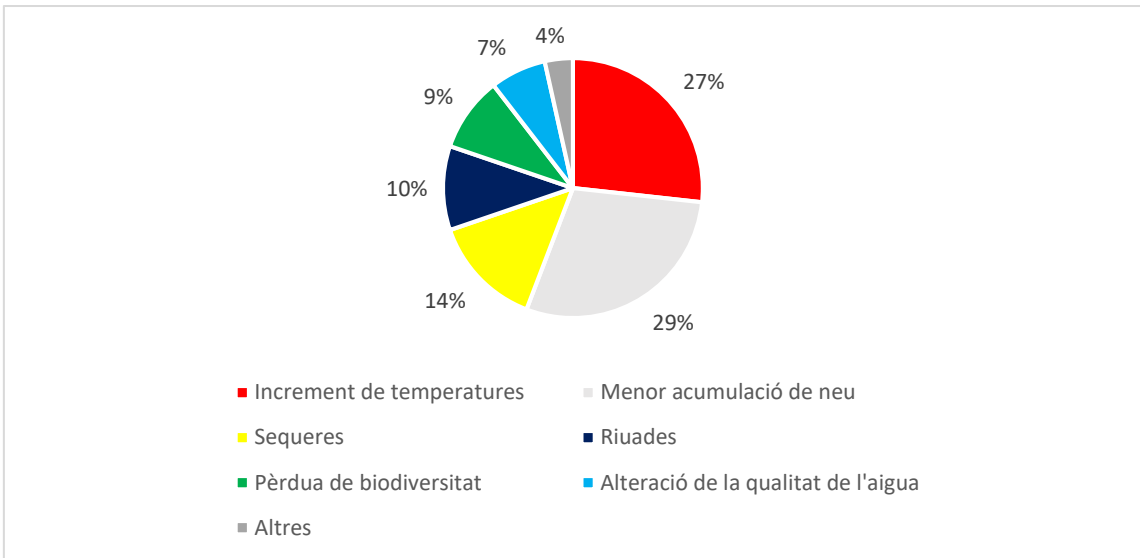


Figura 18. Resposta de la pregunta 9 de l'enquesta de visitants.

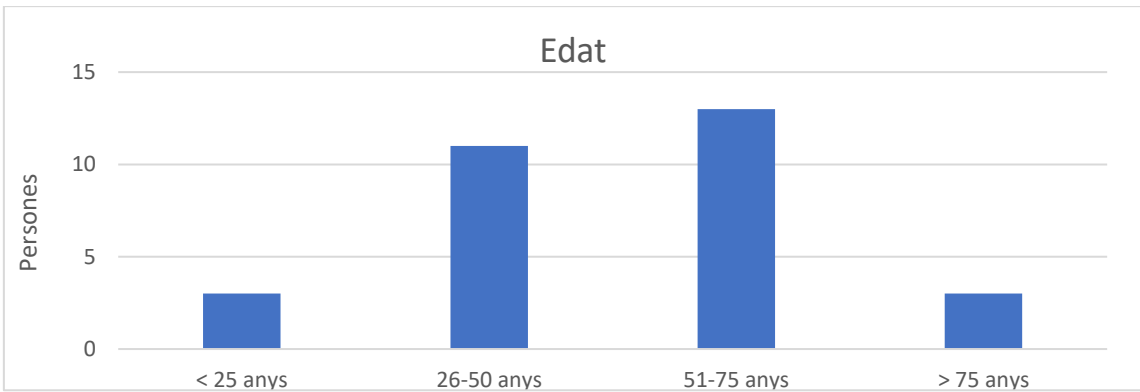


Figura 19. Gràfic que mostra l'edat de les persones de la població local enquestada.

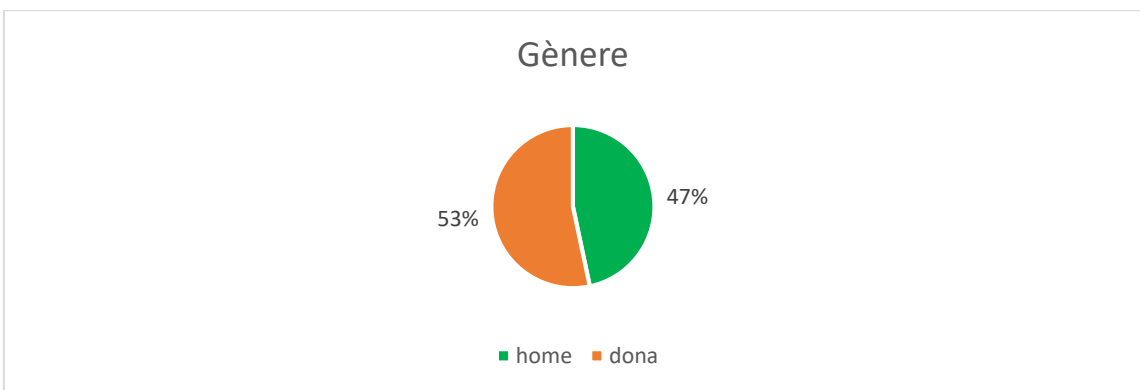


Figura 20. Gràfic que mostra la proporció per gènere dels visitants enquestats.

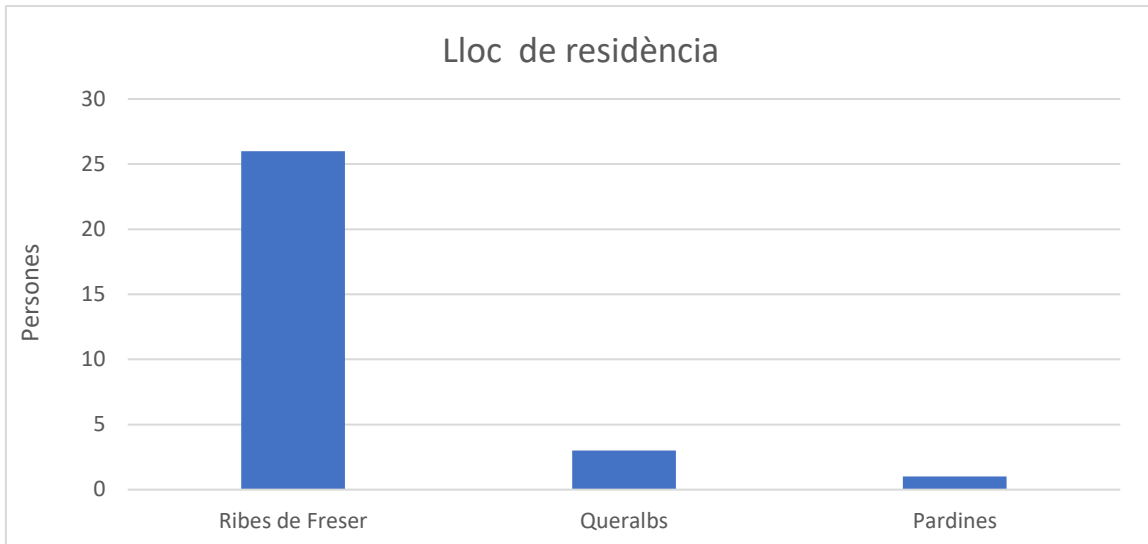


Figura 21. Gràfic que mostra el lloc de residència per municipis de la població local enquestada.

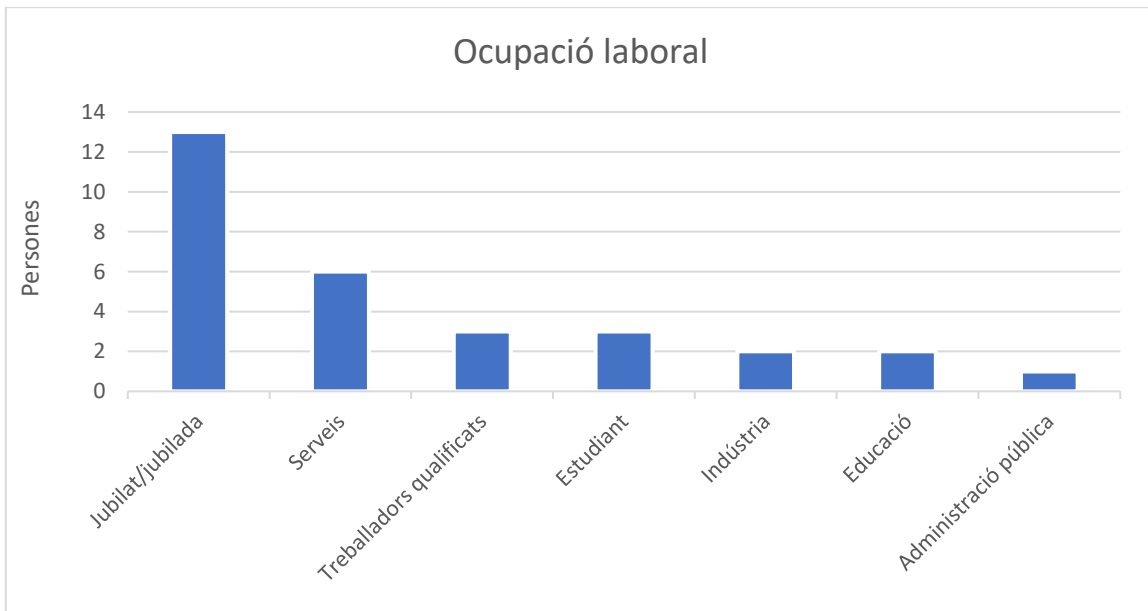


Figura 22. Gràfic que mostra l'ocupació laboral de la població local enquestada.

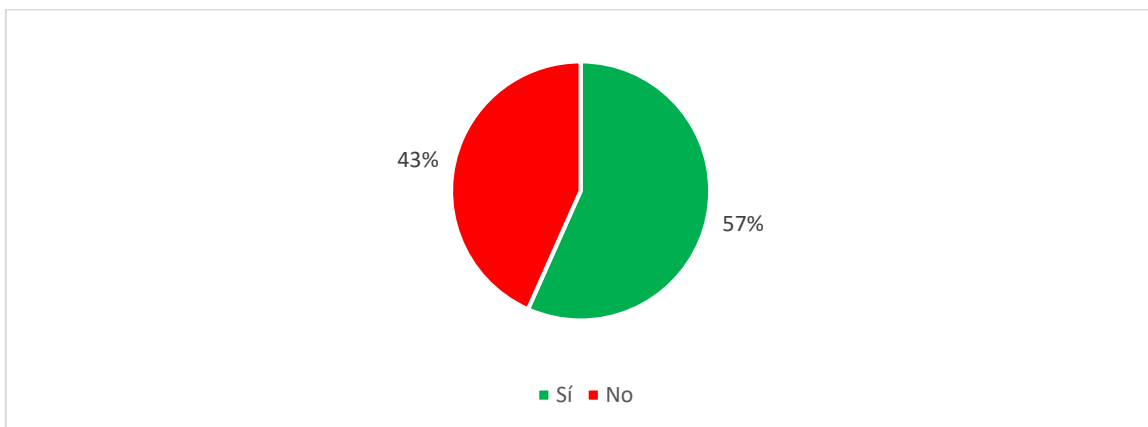


Figura 23. Resposta de la pregunta 1 de l'enquesta de població local.

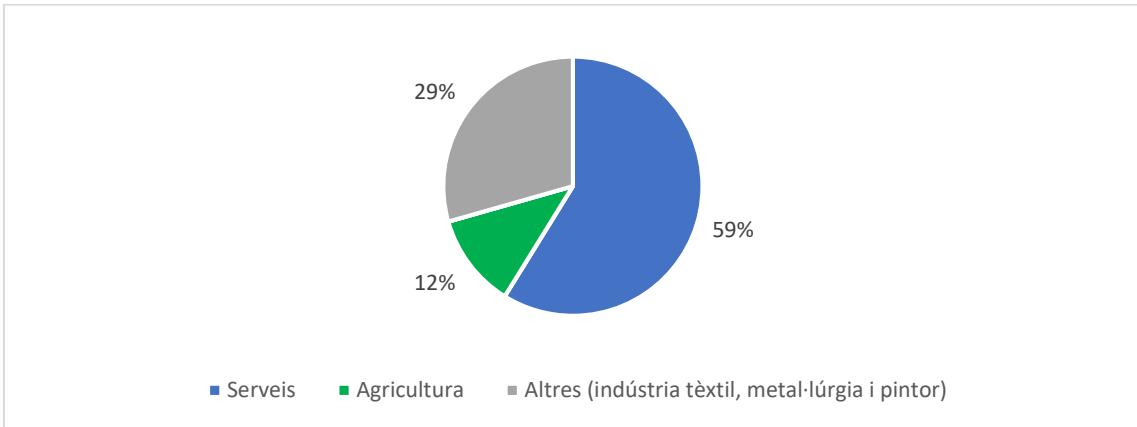
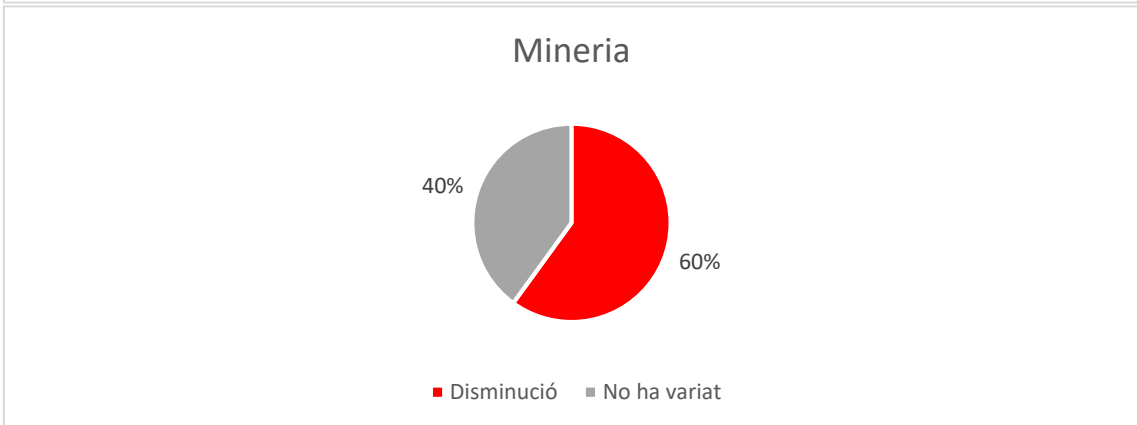
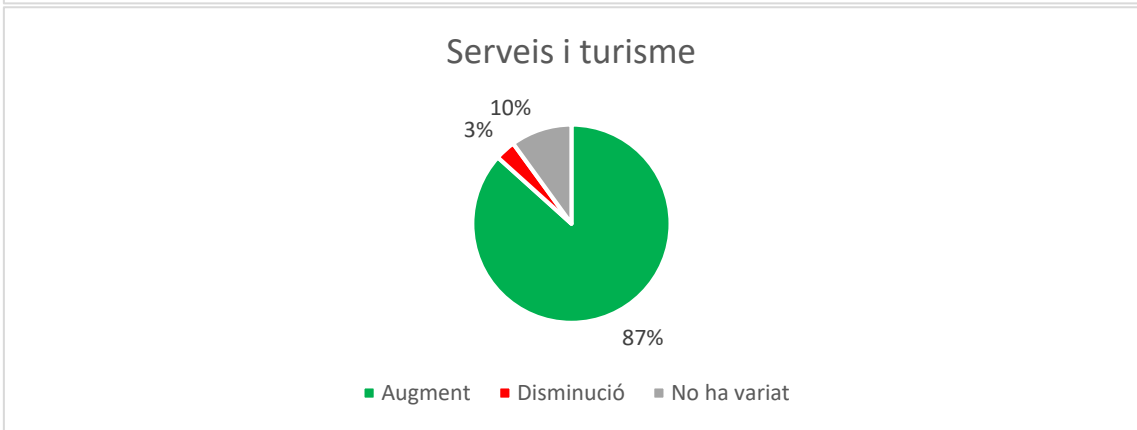
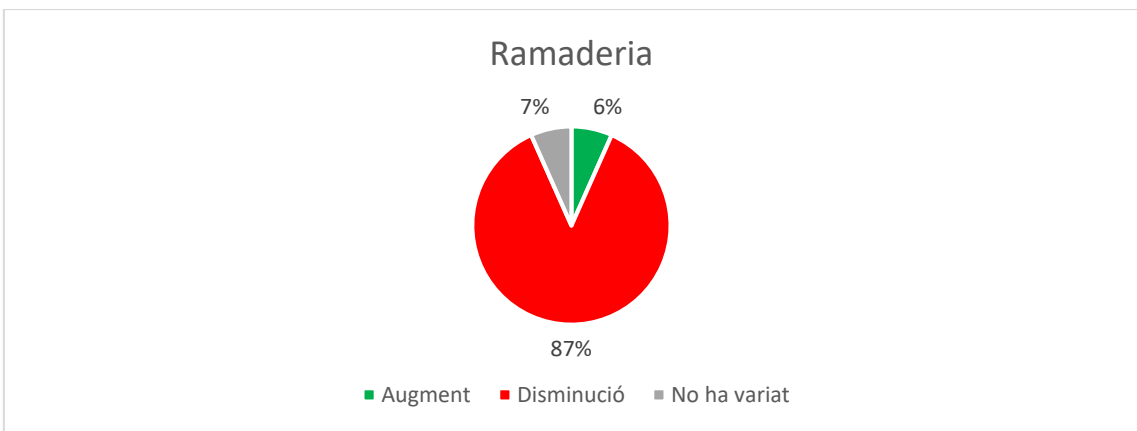


Figura 24. Resposta de la pregunta 1 de l'enquesta de població local.



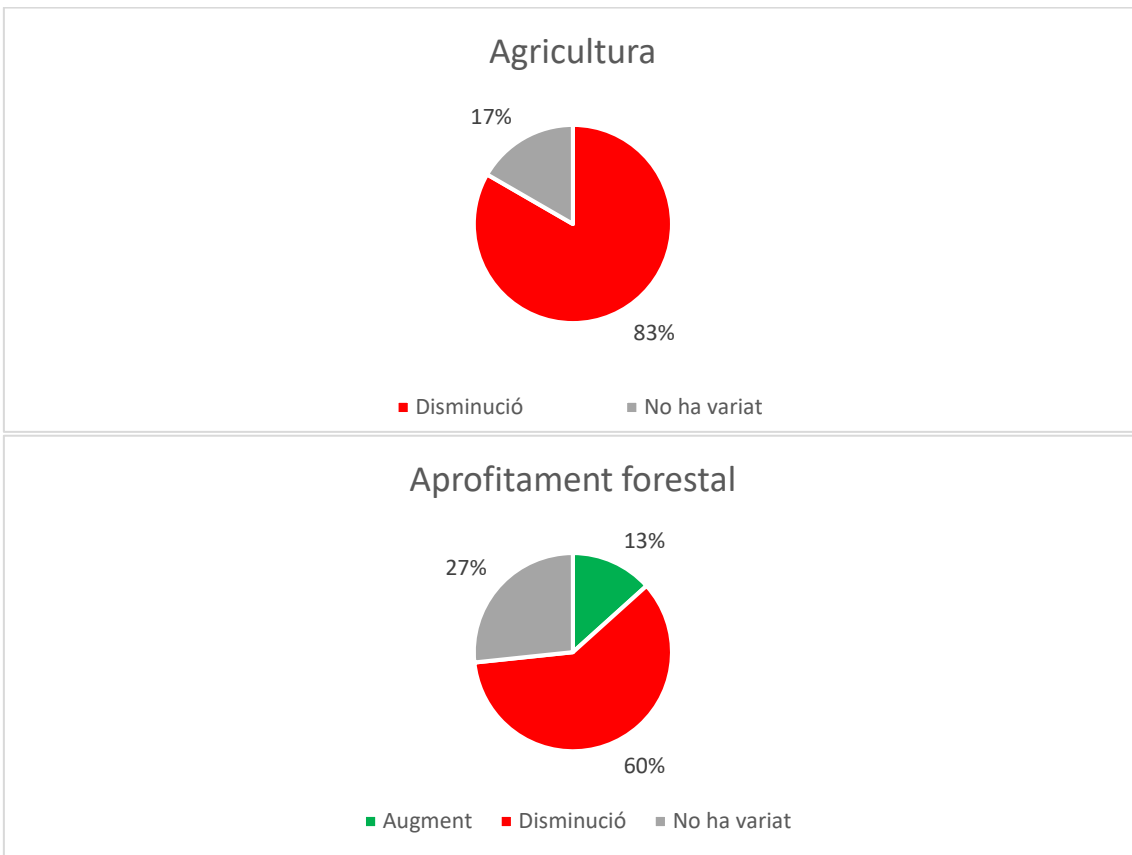


Figura 25. Resposta de la pregunta 3 de la població local.

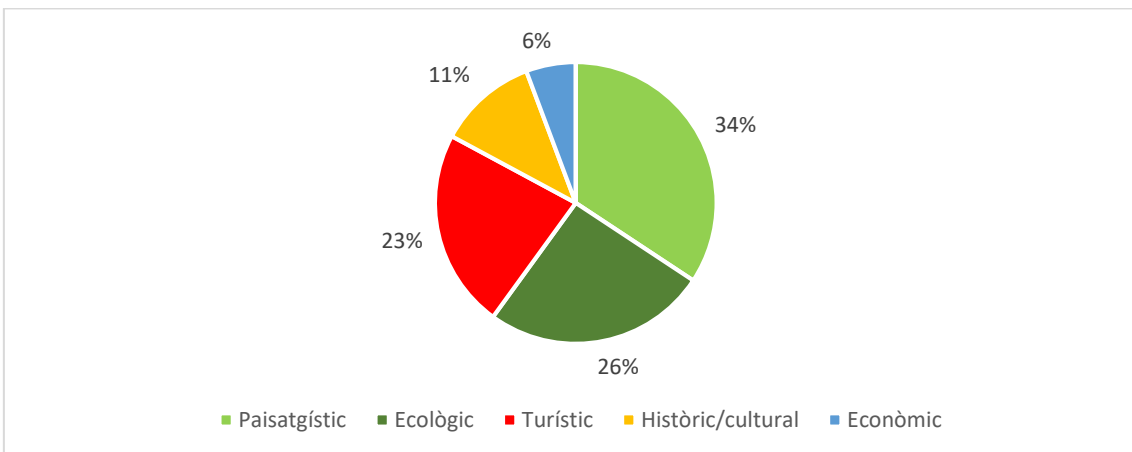


Figura 26. Resposta de la pregunta 4 de l'enquesta de la població local.

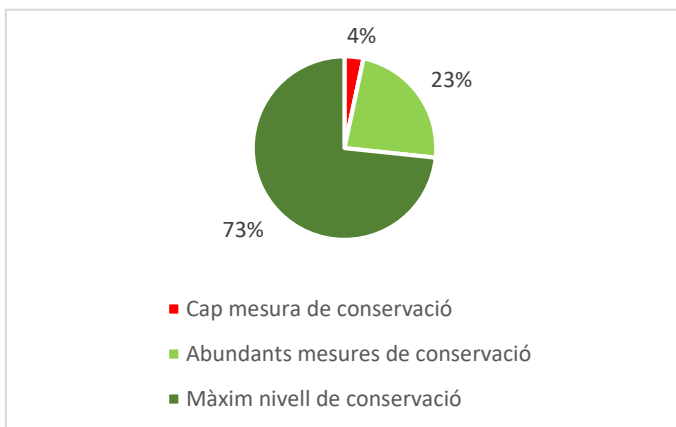


Figura 27. Resposta de la pregunta 5 de l'enquesta de la població local.

Per què? Generalment es creu que cal conservar els espais naturals, ja que són malmesos per les persones. Tot i així també es té la idea que s'ha de conciliar les mesures de protecció amb la vida rural i amb el potencial econòmic de la muntanya. També es creu que els boscos estan descuidats i això fa augmentar el risc d'incendis.

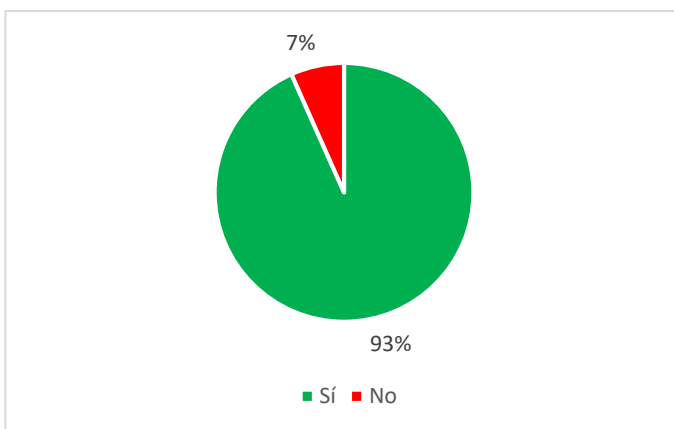


Figura 28. Resposta de la pregunta 6 de l'enquesta de la població local.

Quins? Principalment consideren que poden tenir efectes positius o molt positius per a la salut. Es considera que és un ambient relaxant i l'aire és saludable.

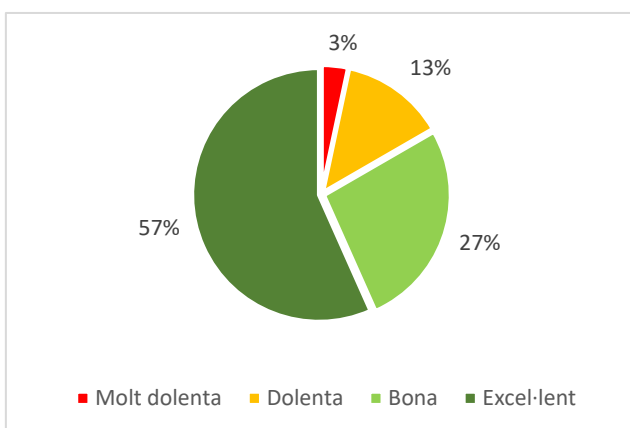


Figura 29. Resposta de la pregunta 7 de l'enquesta de la població local.

Per què? En general tenen la percepció que l'aigua dels espais d'alta muntanya és molt bona ja que és natural i no ha estat contaminada pels humans. En alguns casos pensen que l'aigua pot ser dolenta a causa de la contaminació per la ramaderia, o per la mort i descomposició d'un animal a la llera del riu.

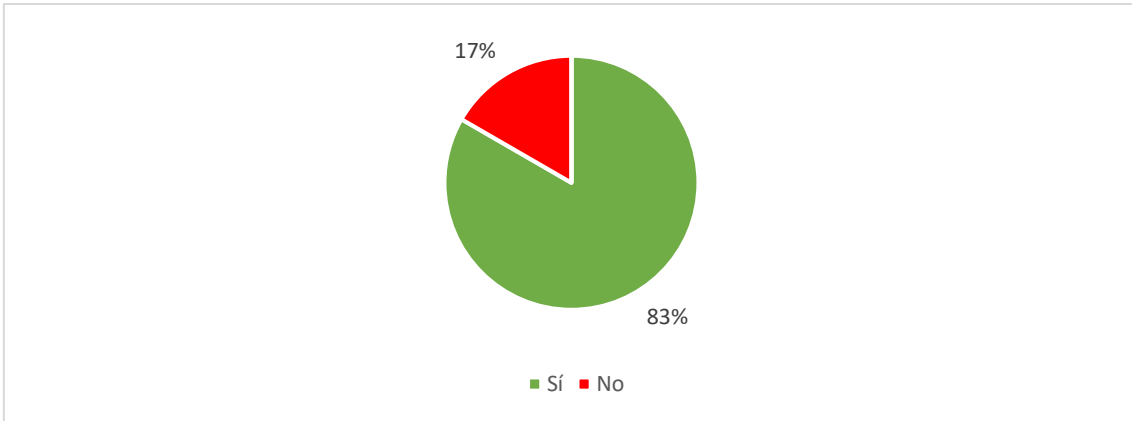


Figura 30. Resposta de la pregunta 8 de l'enquesta de la població local.

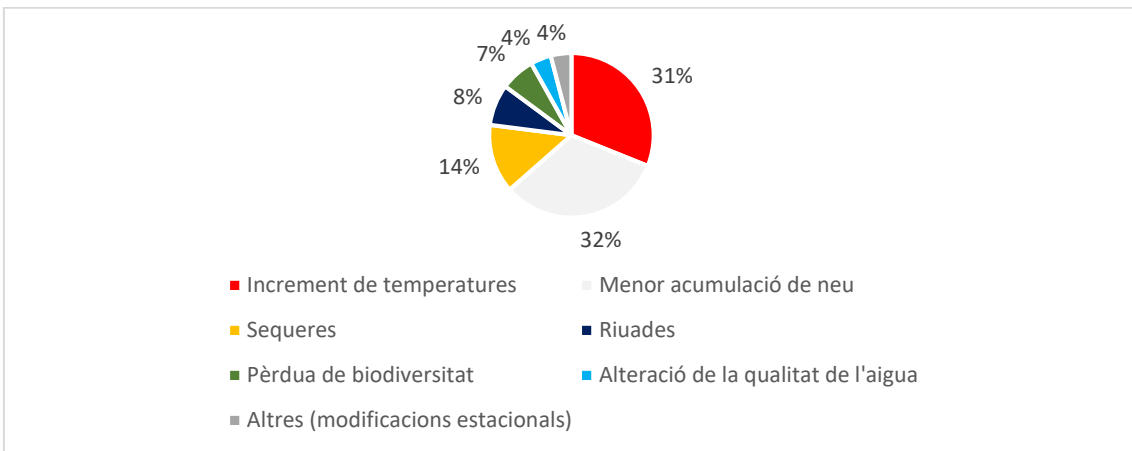


Figura 31. Resposta de la pregunta 8 de l'enquesta de la població local.

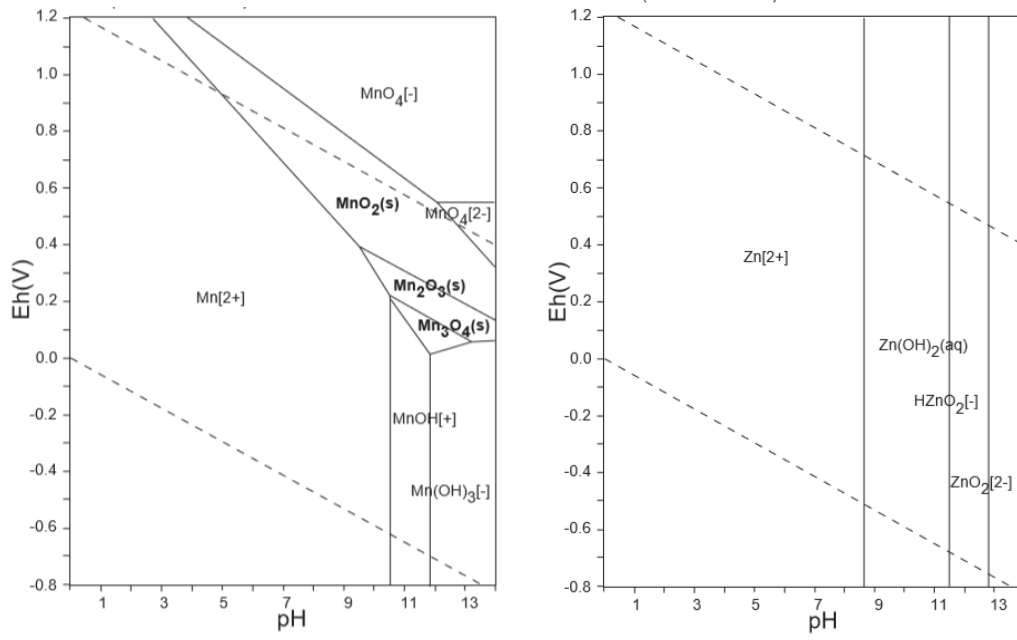


Figura 32. Diagrama de Pourbaix pel manganès i el zinc. Font: Muñoz (2011).

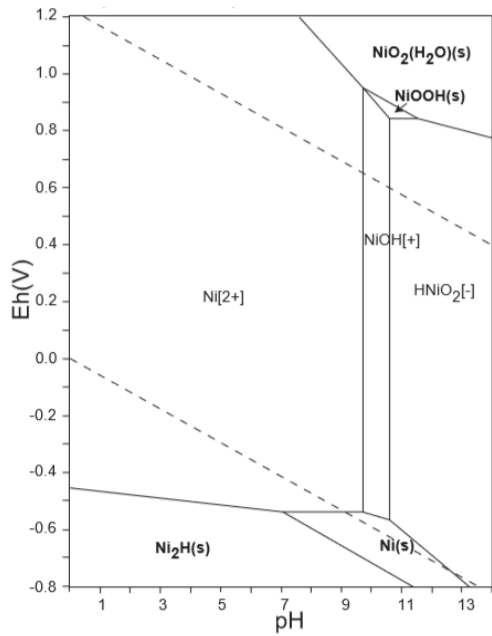


Figura 33. Diagrama de Pourbaix pel níquel. Font: Muñoz (2011).

Taula 5. Valors paramètrics per a l'aigua de consum del Reial Decret Llei 140/2003.

Paràmetre	Valor paramètric
pH	6,5 (mínim) - 9,5 (màxim)
Ec	2500 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ a 20°C
Al	200 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Cr	50 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Mn	50 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Fe	200 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Co	-
Ni	20 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Cu	2000 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Zn	-
As	10 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Cd	5 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Hg	1 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Pb	10 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Ti	-
K	-

Taula 6. Valors de referència per a l'aigua de consum. Font: OMS (2018).

Paràmetre	Valor de referència o valor òptim
pH	-
Ec	-
Al	-
Cr	50 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Mn	-
Fe	-
Co	-
Ni	70 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Cu	2000 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Zn	-
As	10 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Cd	3 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Hg	6 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Pb	10 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
Ti	-
K	-

Taula 7. Model de fitxa d'accions de les línies estratègiques on s'inclou una breu descripció del contingut dels paràmetres fixats.

FITXA X		
Línia estratègica	Número i enunciat de la línia estratègica	
Programa	Número i nom del programa	
Acció	Número i nom de l'acció	
Objectiu	Informa de les conseqüències desitjades que es deriven de la consecució de l'acció. Es redacta de forma molt sintètica i normalment amb una única forma verbal en infinitiu.	
Descripció	Informa, amb la major precisió possible, atenent a la informació disponible, en què consisteix l'acció tractada i com caldria desenvolupar-la. També s'especifiquen prèviament els antecedents que justifiquen l'acció.	
Prioritat Grau d'urgència atorgada a la consecució de l'acció. La prioritat pot ser baixa, mitjana o alta. Quan la prioritat alta va acompanyada d'un asterisc indica que l'acció és especialment preferent.	Termini d'implantació Temps previ necessari que ha de transcórrer per a poder-se iniciar l'execució de l'acció. Ve condicionat per la complexitat de l'acció, per les accions prèvies i indispensables a aquella, o pel nombre d'entitats o administracions involucrades. Es categoritza en termini d'implantació curt (0 a 2 anys), mitjà (3 a 5 anys) i llarg (6 anys i en endavant).	Període d'execució Temps aproximat necessari per executar l'acció un cop superada l'etapa preparatòria d'implantació. Quan l'acció s'executa durant un temps indefinit s'indica que el període d'execució és continuat.
Agents implicats	Llista d'administracions, ens, agents socials i/o particulars implicats directament o indirectament amb l'acció, amb independència de que n'assumeixin o no el finançament. Òbviament, a totes les accions s'inclou l'Ajuntament com una de les parts implicades. Aquest s'anota en primer lloc, mentre que els restants s'ordenen alfabèticament.	
Cost econòmic Avaluació econòmica aproximada de l'acció. Quan l'acció és continuada, s'indica el cost per unitat de temps (ex: per any).	Fonts de finançament Llista d'administracions, ens, agents socials i/o particulars que poden sufragar una part o la totalitat del cost previst per realitzar l'acció. Quan hi apareix l'Ajuntament s'anota en primer lloc, mentre que els restants agents s'ordenen alfabèticament.	
Indicadors de seguiment	Paràmetre que cal consultar per conèixer el grau de realització de l'acció. Les accions poden admetre únicament una resposta binària (realitzada/no realitzada) o poden tenir una resposta gradual quan l'acció també ho és. Quan es dona la primera situació s'ha d'anotar "Sense indicador de seguiment", ja que l'únic seguiment possible és aquell que consigni la pròpia realització de l'acció.	

