



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Facultat de Geografia
i Història

Treball de Final de Grau

La relació entre els fenòmens meteorològics i la xarxa hidrogràfica a les Capçaleres del
Ter i del Freser



Martí Roca Camps

Tutor: Xavier Úbeda

Universitat de Barcelona

Motivació

Des que era petit la meua principal afició ha estat la geografia i la muntanya; així doncs, quan va arribar el moment d'escollir sobre què volia fer el meu Treball de final de Grau no ho vaig dubtar gens: havia de ser un treball enfocat a les àrees de muntanya i tots els seus components. Tenia i tinc moltes ganes de posar en pràctica els coneixements que tinc sobre aquest tema mentre els relaciono amb els conceptes que he après en el Grau de Geografia. Personalment, he vist aquest treball com una oportunitat de fer el que més m'agrada mentre faig recerca.

Una altra de les motivacions que m'han portat a fer aquest treball relacionat amb la Xarxa hidrogràfica de les Capçaleres del Ter i del Freser és el fet de cursar l'assignatura de *Tècniques Quantitatives i Qualitatives* el passat curs 2020 - 2021, ja que, dins del marc de l'assignatura, vam realitzar un treball sobre cursos fluvials, en la qual, dins les diverses tasques que havíem de fer, hi havia l'anàlisi del cabal i les característiques de l'aigua d'un riu en concret. Per mala sort, la pandèmia del Covid-19 va fer que aquest treball quedés totalment inacabat.

Quant a la zona d'estudi, n'hi havia força en què hi havia un fort interès darrera ja que, per sort, tinc el privilegi de viure envoltat de llocs molt interessants a nivell geogràfic (Montseny, Pre-Pirineu, Serralada Pre-Litoral, Serralada Litoral...), entre els quals la zona del Pirineu Oriental és la que em cridava més l'atenció per fer-hi un anàlisi complet. Aquesta zona del Pirineu és a la que conec més: per proximitat, em queda més a prop, però també m'atrau per l'encant paisatgístic i geogràfic que té ja que personalment crec que és una zona amb molt potencial i molt diversa en tots els sentits. Així que considero que soc un privilegiat: puc fer un treball que m'apassiona sobre una zona que m'apassiona! No puc demanar més!

Una altra motivació que ha fet engrescar-me encara més en aquesta línia de recerca sobre el tema i la zona d'estudi ha estat la meua entrada a la *Unitat de Predicció d'Allaus* de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya com a becari. De fet, el treball va començar quan ja havia presentat la meua candidatura per ocupar la plaça de becari, tot i que encara no sabia si finalment obtindria la plaça. El treball va començar el 3 de novembre i la beca va començar l'11 i no us enganyaré: la meua entrada al ICGC va modificar algun dels objectius del treball perquè el fet de treballar cada dia amb professionals de l'àmbit de la muntanya, la meteorologia i la neu, em van donar una motivació extra per fer un treball més extens, ja que principalment només tractava temes hidrològics.

Així doncs, el fet de tenir diversos objectius al cap fa que tingui molt interès en fer un treball complet perquè tinc ganes de veure els resultats finals.

Per acabar, m'agradaria remarcar que considero que tinc molta sort de poder fer aquest treball, ja que tinc moltíssimes ganes de fer tota la recerca que tinc en ment i crec que els resultats poden ser molt satisfactoris!

Agraïments

Aquest treball és fruit del meu gran interès cap al món de la geografia i tot el que l'envolta i aquest interès ha vingut per part familiar, així que m'agradaria agrair als meus pares tot el que m'han ensenyat des que soc petit, ja que sense els seus coneixements el meu interès cap a aquest món ves a saber si hauria arribat a ser el que és; així doncs, Montse i Pere, moltes gràcies per tot el que heu fet per mi durant tot aquest temps. També m'agradaria tenir en compte tota la resta de família, ja que sempre m'han donat suport en totes les aventures que em passaven pel cap, i aquest treball, al cap i a la fi, és una aventura més.

En segon lloc, m'agradaria agrair al Dr. Xavier Úbeda tot el que ha fet per que aquest treball fos possible, a través de tutories, sessions de laboratori, xerrades, classes de cursos anteriors... En fi Xavi, moltes gràcies per tenir la paciència d'aguantar un noi tan inquiet com jo!

També m'agradaria donar les gràcies a tots els membres de la *Unitat de Predicció d'allaus* per tots els moments que hem viscut durant el temps d'elaboració d'aquest treball. Des del primer dia que em vaig sentir un més de l'equip i l'experiència de formar part de la unitat és una cosa que mai oblidaré. He tingut la sort de poder treballar en un sector que m'apassiona i, durant aquest temps, he après moltíssimes coses a nivell professional i personal; així doncs, Carles, Glòria, Guillem, Francesc, Jordi, Santi, moltíssimes gràcies per tot!

També vull agrair tots els professors que he tingut durant el meu trajecte en el grau de Geografia, ja que gràcies a cada un d'ells he pogut ampliar els meus coneixements dins el món geogràfic i tot el que hi ha al voltant d'aquesta meravellosa ciència.

Menció a tota la gent que m'ha ajudat durant el treball de camp, ja sigui ajudant-me a fer els càlculs del cabal, o simplement acompanyant-me a les diverses sortides a l'alta muntanya. Una especial menció a Helena Mañé i Marcos Martínez, ja gràcies a ells vam poder fer treball de camp durant les fortes nevades de març.

Finalment, un gran agraïment a totes les persones que formen o han format part de la meua vida a dia d'avui, perquè gràcies a tots vosaltres estic gaudint d'una de les millors èpoques de la meua vida. Considero que tinc moltíssima sort d'estar envoltat de la gent que tinc dins de la meua vida ja que em fan el dia a dia molt més fàcil: moltíssimes gràcies a tothom per formar part del meu camí.

Resum

Aquest treball té com a principal objectiu fer un seguiment de la temporada meteorològica a les capçaleres del Ter i del Freser per així poder veure la relació dels fenòmens meteorològics amb la xarxa hídrica de la zona. Les Capçaleres del Ter i del Freser es caracteritzen per ser una zona d'alta muntanya, amb pics que van des dels 2.500 als 2.900 m i, com a tota zona d'alta muntanya, té una extensa xarxa hidrogràfica, en la qual destaquen els rius Freser i Ter. Els dos rius neixen molt a prop, a una distància de menys d'un km, però els separa el Coll de la Marrana. Així doncs, a la zona d'estudi hi ha dues conques fluvials principals.

El treball presenta tres parts importants. La primera part és la relacionada amb la recopilació d'informació de l'àrea d'estudi, a través de bibliografia, per tal de poder fer una caracterització i descripció de la zona a tots nivells.

La segona part va enfocada al treball de camp, en què es fa el seguiment meteorològic, el mostreig d'aigües a 6 punts de mostreig i el càlcul del cabal a 5 punts de mostreig.

I la tercera part, tot i que va relacionada amb el treball de camp, és la part on s'exploten totes les dades obtingudes al camp, però també dades obtingudes a través d'altres sectors, com dades meteorològiques d'estacions automàtiques o d'observadors, imatges satèl·lit, bases de dades històriques... aquesta explotació de dades ens permet fer una exhaustiva anàlisi i seguiment de les variables a estudiar.

Els resultats obtinguts ens fan veure com els rius i torrents varien en funció dels fenòmens meteorològics en el període estudiat, tenint el període més cabalós el mes de març a causa d'abundants precipitacions. Així doncs, es confirma el règim nival i nivopluvial de la xarxa hidrogràfica. El desglaç també ha quedat reflectit, tot i que degut a l'absència de precipitacions durant l'hivern meteorològic les crescudes no han estat molt destacables.

Així doncs, l'anàlisi dels fenòmens meteorològics a les capçaleres dels rius d'alta muntanya ens serveixen com a indicador de com serà el cabal dels rius que tenen naixement en aquella zona, i aquest fet ens pot ajudar a planificar de forma òptima, sostenible i coherent un recurs tan important com és l'aigua.

Paraules clau

Alta muntanya, factors geogràfics, meteorologia, cabal

Abstract

This research has as principal aim to do a follow-up of the meteorological season to the headwaters of the Ter and the Freser, for this way to be able to see the relation of the meteorological phenomena with the hydric network of the zone. The headwaters of the Ter and Freser are characterized for being a high mountain area, with peaks ranging from 2500 to 2900m, and like all high mountain areas, it has an extensive hydrographic network, where the rivers Freser and Ter stand out. The two rivers rise very close, at a distance of less than one km, but they are separated by the neck of the sow. Thus, there are two main river basins in the study area.

The work presents three important parts, the first part is the part related to the collection of information of the study area, through bibliography, in order to be able to make a characterization and description of the area at all levels.

The second part is focused on field work, where meteorological monitoring, water sampling at 6 sampling points and calculation of the flow at 5 sampling points are carried out.

And the third part, although it is related to the field work, is the part where all the data obtained in the field is exploited, but also data obtained through other sectors, such as meteorological data from automatic stations or observers, satellite images, historical databases... this data exploitation allows us to make an exhaustive analysis and monitoring of the variables to be studied.

The results obtained show how the rivers and torrents vary according to the meteorological phenomena in the period studied, with the most abundant flow in the month of March due to abundant rainfall. The snow a snow precipitation regime of the hydrographic network is thus confirmed. Snowmelt has also been reflected, although due to the lack of rainfall during the meteorological winter, floods have not been very significant.

Thus, the analysis of meteorological phenomena at the headwaters of high mountain rivers serves as an indicator of what the flow of the rivers that have their source in that area will be like, and this fact can help us to plan in an optimal, sustainable, and coherent way such an important resource as water.

Keywords

High mountain, geographical factors, meteorology, flow.

Index

Motivació	3
Agraïments	4
Resum	5
Abstract	6
Index de figures	9
1. Introducció	13
1.2. Tipus de situacions sinòptiques típiques als Pirineus	16
1.2.1. Situació del nord-est	16
1.2.2. Tàlveg	16
1.2.3. Situació anticiclònica	17
1.2.4. Situació de gota freda	17
1.2.5. Situació del nord-oest i nord	17
1.2.6. Situació de l'oest	17
1.2.7. Situació del sud i sud-oest	18
1.2.8. Situació de l'est	18
1.3. El canvi climàtic a les àrees muntanyoses	18
1.4. La xarxa hidrogràfica a les àrees de muntanya	19
1.5. Els riscos a les àrees d'alta muntanya	20
1.6. Riscos meteorològics	21
2. Objectius	22
2.1. Objectiu principal	22
2.2. Objectius específics	22
3. Àrea d'estudi	23
3.1. Característiques antròpiques	24
3.2. Característiques físiques	25
3.3. Característiques climàtiques	29
3.3.1. Clima de conca del Freser	30
3.3.2. Clima de la conca del Ter	30
3.3.3. Fenòmens de convecció	31
3.3.4. Règim nivològic de les Capçaleres del Ter i del Freser	32
3.3.5. Zones d'acumulació	34

4. Metodologia	35
4.1. Treball de camp	35
4.1.1. Riu Ter (Ulldeter)	36
4.1.2. Riu Ter (Ter Camí Vallter).....	36
4.1.3. Riu Ter (Setcases).....	37
4.1.4. Riu de Núria (Daió, Queralbs)	37
4.1.5. Riu Freser (Daió, Queralbs).....	38
4.1.6. Riu Freser (Fustanyà, Queralbs).....	38
4.2. Treball de laboratori	39
4.3. Elaboració gràfica i cartogràfica i recerca bibliogràfica	41
5. Resultats	42
5.1. Propietats químiques de les aigües de les capçaleres del Ter i del Freser	42
5.2. Evolució de la temporada meteorològica (Novembre 2021 – Maig 2022)	45
5.3. Seguiment al camp de la temporada meteorològica	49
5.4. Evolució del cabal Novembre 2021 – Maig 2022	66
5.5. Evolució de la innivació a les Capçaleres del Ter i del Freser (Novembre 2021 - Maig 2022)	70
5.6. Resum del seguiment de la temporada	78
5.6.1. Innivació.....	78
5.6.2. Comparació temporada 2021-2022 amb la mitjana climàtica	79
5.6.3. Evolució del cabal (Novembre 2021 – Maig 2022)	79
6. Conclusions	80
7. Referències bibliogràfiques	81

Index de figures

Figura 1. Classificació dels principals fenòmens meteorològics a muntanya.....	15
Figura 2. Delimitació de l'àrea d'estudi.....	23
Figura 3. Infraestructures i vies de comunicació als municipis propers a l'àrea d'estudi.....	24
Figura 4. Medi físic de les Capçaleres del Ter i del Freser.....	25
Figura 5. Xarxa hidrogràfica de les Capçaleres del Ter i del Freser.....	26
Figura 6. Estany fonedís amb el Gra de Fajol petit al fons.....	26
Figura 7. Estany fonedís amb el Bastiments de fons.....	27
Figura 8. Vegetació de l'àrea d'estudi.....	28
Figura 9. Mapa geològic del Nord-Est de la Península Ibèrica.....	28
Figura 10. Mapa d'orientacions Nord i Sud a l'àrea d'estudi.....	29
Figura 11. Climograma de Queralbs (1992-2021).....	30
Figura 12. Climograma de Setcases (1992-2021).....	30
Figura 13. Altura dels núvols durant un episodi tempestuós al Pirineu.....	31
Figura 14. Intensitat de la precipitació al Pirineu Oriental.....	31
Figura 15. Gruix de neu a Pastuira (2005-2006).....	32
Figura 16. Gruix de neu a Pastuira (1997-1998).....	32
Figura 17. Gruix de neu a Núria (1995-1996).....	33
Figura 18. Gruix de neu a Núria (1994-1995).....	33
Figura 19. Gruix mitjà a Vall de Núria (1985-2021).....	33
Figura 20. Probabilitat d'acumulació de +90cm a les Capçaleres del Ter i del Freser.....	34
Figura 21. Model d'eines ARCMAP 10.6 per elaborar la xarxa hidrogràfica.....	35
Figura 22. Punts de mostreig.....	35
Figura 23. Riu Ter amb el Bastiments de fons.....	36
Figura 24. Riu Ter al camí de Vallter.....	36
Figura 25. Riu Ter a Setcases.....	37
Figura 26. Riu de Núria a Daió.....	37
Figura 27. Riu Freser a Daió.....	38
Figura 28. Riu Freser a Fustanyà.....	38
Figura 29. Excel amb la fórmula del Cabal i el seu càlcul al punt de mostra de Riu de Núria.....	39
Figura 30. Crisóm pH-meter GLP 22,.....	39
Figura 31. Crisóm EC-Metro Basic 30.....	39
Figura 32. Anàlisi dels sediments en suspensió, filtrats a través de Millipore.....	40
Figura 33. Filtres amb sediments.....	40
Figura 34. Mostres ja filtrades i llestes per enviar al CCiTUB.....	40
Figura 35. Fòrmula pel càlcul del índex NDSI.....	41
Figura 36. pH en els punts de mostra de l'àrea d'estudi.....	42
Figura 37. Conductivitat elèctrica en els punts de mostra de l'àrea d'estudi.....	42
Figura 38. Concentració de dissolts en els punts de mostra de l'àrea d'estudi.....	43
Figura 39. Resultat de l'anàlisi de les aigües dels punts de mostra de l'àrea d'estudi.....	44
Figura 40. Temperatura mitjana diària a Núria des del 1 de novembre al 26 de maig.....	45
Figura 41. Temperatura mitjana diària de Núria des del 1 de novembre al 26 de maig.....	45
Figura 42. Precipitació líquida i en forma de neu en mm a Núria.....	46
Figura 43. Gruix de neu sobre el terra i gruix de neu acumulat a Núria en cm.....	47
Figura 44. Evolució del gruix de neu a Pastuira (2021-2022).....	47
Figura 45. Evolució del gruix de neu a Núria (2021-2022).....	47
Figura 46. Ús del grau de perill d'allaus de la temporada 2021-2021 i comparació amb la mitjana 1993-2021.....	48

Figura 47. Grau de perill d'allaus al Ter – Freser (2021-2022)	48
Figura 48. Distribució del grau de perill d'allaus al Ter – Freser en dies (2021-2022)	48
Figura 49. Vegetació a la tardor a la conca del Freser.....	49
Figura 50. Primera enfarinada a la conca del Ter	49
Figura 51. Riu de Núria a 3 de novembre	49
Figura 52. Sòl completament cobert i torb a Vallter	49
Figura 53. Efecte del torb a Vallter	49
Figura 54. Efecte del Torb al Pic de la Dona	49
Figura 55. Coll de la Marrana cobert de neu	50
Figura 56. Pal enfonsat a causa de la gran quantitat de neu	50
Figura 57. Vall de Tirapits completament nevada.....	50
Figura 58. Carretera a Vallter 2000 completament nevada	51
Figura 59. Perfil estratigràfic a Vallter	51
Figura 60. Vallter i el Pla de Mantet completament nevats.....	51
Figura 61. Gra de Fajol cobert de neu	51
Figura 62. BPA del dia 23 de novembre de 2021.....	51
Figura 63. Vall del Freser després d'una abundant nevada.	52
Figura 64. Efecte del Torb al Torreneules.....	53
Figura 65. Riu de Núria a dia 28 de novembre	53
Figura 66. Riu Freser a Fustanyà a dia 28 de novembre.....	53
Figura 67. Fenòmen del Torb a la vall de Coma de l'orri.....	54
Figura 68. Efecte del vent sobre el mantell nival	54
Figura 69. Allau de neu ventada al Pic de la Dona.....	54
Figura 70. Dia anticiclònic amb vistes als Grans de Fajol	55
Figura 71. Passes sobre neu pols a l'obaga del torrent de Mentet	55
Figura 72. Dia anticiclònic amb vistes al Bastiments i al Pic de la dona	55
Figura 73. Mantell nival regelat i amb afectació pel vent	55
Figura 74. 60 cm de gruix de neu a l'obaga de Pastuira (9 de Gener).....	56
Figura 75. Formacions de Gel causades per les baixes temperatures de principis d'any	56
Figura 76. Roc gelat a causa de les baixes temperatures de principis d'any.....	56
Figura 77. Cara nord-est a la Vall de Núria, amb un mantell irregular	56
Figura 78. Vall de Noufonts amb el Puigmal al fons.....	57
Figura 79. Cim del Puigmal, cara Sud.....	58
Figura 80. Coma de l'embut i l'olla de Núria. Mantell irregular	58
Figura 81. Vessant Sud de l'olla de Núria. Presència de neu molt testimonial	58
Figura 82. Zona nord-est de l'Olla de Núria, amb un mantell irregular.	58
Figura 83. Riu de Núria a 18 de febrer.....	59
Figura 84. Riu de Núria al novembre	59
Figura 85. Gra de Fajol i coll de la marrana a 22 de febrer	59
Figura 86. Torrent de Mentet a 22 de febrer	59
Figura 87. Vall de coma de L'orri a 22 de febrer	59
Figura 88. Cara sud del Torreneules després d'una forta nevada el dia 12 de març	60
Figura 89. Carretera de Vallter2000 a l'alatura de Pastuira després d'una forta nevada el dia 12 de març	60
Figura 90. Neu recent caiguda el 12 de març	60
Figura 91. Riu Ter nevat a cota 1200, al costat del camí de Vallter2000. Dia 12 de març	60
Figura 92. Zona est del camí de Vallter totalment nevada. Día 12 de març	60
Figura 93. Zona sud-oest del torrent de mentet totalment nevada. Dia 12 de març	60
Figura 94. Cara nord del Gra de Fajol i pistes d'esquí de Vallter2000 amb molta presència de neu recent de la nevada del dia 12 de març.....	61

Figura 95. Cara Sud de Núria amb un allau. Força neu recent. Dia 22 de març	62
Figura 96. Cara Nord del Gra de fajol i Coll de la Marrana amb força neu recent. Dia 22 de març	62
Figura 97. Zona est de la Vall de Núria amb força neu recent. Dia 22 de març	62
Figura 98. Zona nord-est de la Vall de Núria amb força neu recent. Dia 22 de març	62
Figura 99. Cara Nord del Gra de Fajol petit a 8 d'abril	63
Figura 100. Cara sud-oest del Pic de la dona a 8 d'abril.....	63
Figura 101. Vall del Freser a 27 d'abril.	63
Figura 102. Vall de Coma de Vaca a 27 d'abril.	63
Figura 103. Pistes d'esquí de Vallter2000 i pla de Mentet a 11 de maig	64
Figura 104. Riu Ter i Gra de Fajol petit a 11 de maig.....	64
Figura 105. Cara nord del Gra de Fajol i l'antic refugi d'ulldeter a 11 de maig.....	64
Figura 106. Pla de mentet a 11 de maig.....	64
Figura 107. Vall de Noucreus a 15 de maig	65
Figura 108. Camí del Puigmal a Fontalba a 15 de maig.....	65
Figura 109. Bosc pròxim a Fontalba amb el Pic de Noufonts al fons a 15 de maig.	65
Figura 110. Alta Vall del Freser a 25 de maig.	65
Figura 111. Evolució del cabal al punt de mostra Ter-Camí (novembre 2021 – maig 2022).....	66
Figura 112. Evolució del cabal al punt de mostra Ter – Setcases (novembre 2021 – maig 2022)	66
Figura 113. Evolució del cabal al punt de mostra Riu de Núria (novembre 2021 – maig 2022)	67
Figura 114. Evolució del cabal al punt de mostra Freser a Daió (novembre 2021 – maig 2022)	68
Figura 115. Evolució del cabal al punt de mostra Freser – Riu de Tosa (novembre 2021 – maig 2022).....	68
Figura 116. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 7/11/2021	70
Figura 117. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 18/11/2021	70
Figura 118. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 23/11/2021	71
Figura 119. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 3/12/2021	71
Figura 120. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 9/12/2021	72
Figura 121. Evolució del Gruix de neu a Núria i a Pastuiria (Novembre 2021 – Maig 2022).....	72
Figura 122. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 16/12/2021	73
Figura 123. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 18/12/2021	73
Figura 124. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 31/12/2021	73
Figura 125. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 7/1/2022	73
Figura 126. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 17/1/2022	73
Figura 127. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 22/1/2022	74
Figura 128 Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 1/2/2022	74
Figura 129. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 6/2/2022	74
Figura 130. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 23/3/2022	75
Figura 131. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 28/03/2022	75
Figura 132. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 5/4/2022	76
Figura 133. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 16/04/2022	76
Figura 134. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 25/4/2022	77
Figura 135. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 11/5/2022	77
Figura 136. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 22/5/2022	77
Figura 137. Innivació a les Capçaleres del Ter i del Freser (Mitjana temporada 2021 – 2022).....	78
Figura 138. Innivació mitjana als entorns i a la pista d'esquí de Vall de Núria.	78
Figura 139. Termopluviograma de Núria (Novembre 2021 – Maig 2022)	79
Figura 140. Evolució del cabal als punts de mostra (Novembre 2021 – Maig 2022)	79

1. Introducció

Històricament Catalunya ha estat una terra amb molta tradició per la meteorologia, ja sigui pels efectes que té sobre diverses activitats econòmiques o bé per l'interès de l'aficionat que busca en la meteorologia una ciència a la qual fer seguiment. Només cal veure a dia d'avui la gran quantitat d'observadors particulars que hi ha repartits per tot el territori, o la gran quantitat d'imatges i vídeos que es publiquen a les xarxes socials com Twitter o Instagram relacionades amb fenòmens meteorològics. Tot i que no tothom té un interès tan específic en la meteorologia, gran part de la societat consulta a diari el temps que farà a curt termini per tal de poder organitzar el seu dia a dia o les activitats que farà en el seu temps lliure.

Un dels sectors que cada vegada es fixa més en la meteorologia és el de l'esport. Tots sabem qui són persómes com Ferran Latorre o Kilian Jornet, ja que gràcies a les seves fites esportives i als diversos documentals que se n'han fet, el seu mètode de vida i les seves proeses han arribat a la pantalla de casa nostra, la qual cosa ha causat un efecte crida cap a les zones d'alta muntanya. El factor xarxes socials també ha influït clarament en l'augment de visitants a aquestes àrees de muntanya: només cal analitzar l'increment que han tingut curses com l'Olla de Núria i d'altres que han fet conèixer, via xarxes socials, zones d'alta muntanya que abans semblaven més llunyanes o desconegudes. Així doncs, tota aquesta generació de nous esportistes de muntanya i tots els que ja hi eren abans que arribés aquesta nova "moda" també necessiten unes mínimes nocions tècniques respecte a la meteorologia i el seu dinamisme, sobretot per poder evitar possibles situacions perilloses derivades dels riscos provocats per fenòmens meteorològics en l'alta muntanya.

Gran part dels alpinistes, escaladors o simples excursionistes són totalment conscients de tots els riscos que poden trobar-se a l'hora de fer muntanya, molts dels quals sempre van amb la sensació de tenir la situació controlada en tot moment, ja que com que mai ha passat res, mai ha de passar res... fins que passa. Malauradament, els rescats a muntanya estan en clar augment; de fet, si comparem l'any 2019 amb l'any 2021 els rescats en alta muntanya s'han triplicat!

Els fenòmens meteorològics en alta muntanya tenen una característica molt perillosa: en molts casos el temps canvia de cop de forma molt brusca, fet que deixa sense marge de maniobra l'excursionista que es troba al bell mig de la muntanya. També és cert que una bona predicció meteorològica i una anàlisi de com està la situació per aquell dia ajuden a prevenir bona part d'aquests problemes, tot i que també hi ha molts casos en què, tot i que la predicció sigui totalment favorable a realitzar activitats a muntanya, finalment el temps s'acaba girant i causant situacions de fort perill.

Persómalment, em considero una persóma que entén de forma correcta el funcionament meteorològic a les àrees de muntanya, ja que des de ben petit que tinc la sort de freqüentar aquest meravellós hàbitat, però també pels diversos coneixements meteorològics que he anat aprenent al llarg de la meua vida; però això no vol dir, ni de bon tros, que no m'hagi trobat en situacions perilloses a causa de fenòmens meteorològics inesperats. Boira, torb, tempestes d'estiu... són fenòmens que en un tres i no res se't presenten al davant sense avís previ i si no es va equipat de forma correcta i no es domina la situació, les conseqüències poden ser tràgiques.

Gràcies a les diverses experiències que he viscut a la muntanya en relació a la seva forma d'expressar la meteorologia, la inquietud de continuar aprenent i formant-me en aquest àmbit ha anat creixent amb el pas del temps.

Una altra de les incidències de la meteorologia respecte a la nostra societat i país és el tema de la disponibilitat d'aigua. En el moment de redacció d'aquest treball, el territori està vivint una escassetat important, degut a la manca de precipitacions generalitzada des de fa força temps, de fet, hi ha zones del principat que ja estan patint restriccions d'aigua i cal posar en perspectiva l'impacte que té la manca d'aigua respecte a la població i el seu dia a dia.

A l'hora de gestionar els recursos hídrics disponibles i fer una previsió per afrontar èpoques com les de l'estiu, és important fer una bona anàlisi dels fenòmens meteorològics viscuts mesos abans. Així doncs, les pluges que tenen lloc a les capçaleres dels rius i també en trams mitjans són d'una importància vital per tal d'omplir les reserves dels aqüífers, embassaments, estanys i pantans. Avui en dia, la demanda d'aigua per part de la societat està arribant a uns límits molt exigents i està costant adaptar les nostres conques a aquesta demanda. Per solucionar aquesta forta demanda, s'han plantejat moltes actuacions, com la construcció de més infraestructures per regular els cursos fluvials i poder emmagatzemar més quantitat d'aigua. Al cap i a la fi, però, sempre es dependrà del factor meteorològic de les precipitacions.

Tenint en compte el context climàtic i ambiental en el qual ens trobem, és de vital importància seguir fent recerca i ampliar el coneixement respecte a com es comporta la precipitació al nostre territori per tal de poder entendre més bé quin règim pluviomètric tenim i adaptar-nos a les condicions que presenta. El cas dels Pirineus, la recerca ha de ser més extensa ja que, degut a les condicions geogràfiques que presenta aquesta zona del nostre país, la meteorologia és força més complexa. La meteorologia de muntanya encara té molts àmbits en els quals s'han d'aplicar noves formes de treball. Cal remarcar que el canvi climàtic altera i modifica completament les recerques fetes de forma prèvia, tot i que aquestes també ens ajuden per poder veure el canvi de característiques climàtiques.

1.1. El clima i la meteorologia a alta muntanya

Els diversos estudis respecte a les característiques climatològiques en zones d'alta muntanya són molt interessants ja que, en funció de l'extensió de l'àrea analitzada, poden ser recerques climatològiques generals (Redmon, 2005) o poden ser recerques que destaquen per detallar de forma molt precisa les característiques climàtiques d'una zona en concret (Super, 1971). Alguns treballs també es centren exclusivament en algun factor intervingut pel clima com, per exemple, les allaus (Garcia, 2017)

S'han dut a terme millores molt importants respecte a anys anteriors respecte a les noves característiques de les xarxes d'observadors meteorològics. Sense anar més lluny, a Catalunya mateix trobem diversos projectes que ajuden molt la monitorització de la meteorologia de forma totalment altruista, complementant així les tasques que duen a terme òrgans com el METEOCAT. En altres zones alpines com els Alps Suïssos, es van proposar millores com la de la implementació d'una xarxa extensa de pluviòmetres. Uns anys després de l'anàlisi de les dades recollides, es va arribar a la conclusió que la climatologia i les seves derivades anàlisis depenen totalment d'una densa i eficient xarxa d'observació (Frei i Schar, 1998). Però aquesta xarxa ha de complir uns requisits mínims per poder considerar vàlides les dades recollides, ja que si es posa en una ubicació que no és del tot correcta o en una zona on els valors són alterats (zona de forta acumulació de neu pel vent, per exemple), les dades no seran vàlides i no ens serviran. Cal remarcar que per poder tenir una sèrie climàtica vàlida s'ha de superar el llindar dels 30 anys (mínim) com dicta el protocol de l'Organització Meteorològica Mundial.

Als Pirineus trobem treballs molt interessants de caràcter regional com, per exemple climatologia sobre el massís de la Maladeta (Lampre, 2001), o una anàlisi climàtica de les valls del Ter i del Freser (Xercavins, 1981). També trobem climatologies d'àmbit territorial més extens com, per exemple, la de "Clima y tiempos de España" (Martin-Vide i Olcina 2001), en què es tracten algunes particularitats del clima en les zones muntanyoses com el cas dels Pirineus, però també tracta altres sistemes muntanyosos com Sierra Nevada o els Picos d'Europa. A nivell català trobem una climatologia també de Martin-Vide publicada l'any 1992. Un altre autor que va contribuir a la recerca climatològica del nostre país va ser Sacasas, gràcies a les dues publicacions climatològiques que va presentar respecte al Pirineu Català, en les quals posava èmfasi regional a les diverses valls de la serralada. Les climatologies en qüestió són Meteorologia del Pirineu Català (Sacacas, 1999) i Meteorologia i Muntanya (Sacacas, 2006)

A l'alta muntanya trobem fenòmens que es pot dir que són propis d'aquesta regió. Aquests fenòmens els trobem descrits en articles i llibres de divulgació com, per exemple, el de *La météo de montagne* publicat per Jean-Jacques Thillet l'any 1997. A casa nostra també trobem exemplars similars com, per exemple, el llibre

publicat el 2006 per Carles Garcia i Francesc Vilar titulat *La Montaña : manual de meteorología : riesgos meteorológicos, tipos de tiempo, nieve, nubes, previsión del tiempo*.

Els fenòmens en qüestió són els següents:

Vent	Efecte Fohn	Temperatura	Pressió	Núvols	Pertorbacions
Brisa de vall	Efecte Fohn	Onada de fred	Dipol Orogràfic	Mar de núvols	Front Càlid
Vent de glacera	Fals efecte Fohn	Onada de calor		Lenticulars	Front Fred
Acceleració, turbulència		Inversió tèrmica		Núvols d'origen turbulent	Front oclús
Ones de relleu				Precipitació orogràfica	
Índex de fredor					
Torb					

Figura 1. Classificació dels principals fenòmens meteorològics a muntanya. Elaboració pròpia

Tots aquests fenòmens han estat analitzats a través de diversos estudis i articles que tracten sempre sobre temàtiques relacionades amb la meteorologia a l'alta muntanya. A casa nostra un dels més típics és l'efecte fogony. És conegut que a la serralada dels Pirineus, la seva orientació d'oest a est, el seu caràcter compacte i absència de valls transversals que la travessin completament exerceixen una funció d'abric aerològic respecte a les masses d'aire fred que segueixen una direcció meridiana i submeridiana septentrional. La presència d'aquest obstacle muntanyós fa que al vessant nord es produeixin processos d'agreujament dinàmic, que es reflecteixen en increments de les precipitacions, i que sobre el vessant sud es produeixi una clara disminució de la humitat i de les pluges (efecte d'ombra pluviomètrica). A més, les masses d'aire que aconsegueixen remuntar els Pirineus, en baixar pel vessant meridional, eleven la temperatura segons l'índex del gradient adiabàtic sec i es precipiten veloços sobre les valls, amb clares característiques de vent Fohn. L'anomenat efecte Fohn es produeix a sotavent de les grans serralades, quan un flux d'aire humit creua una serralada condensant la seva humitat a sobrevent i provocant, a sotavent, un augment anòmal de la temperatura, una disminució de la humitat relativa i un increment considerable de la velocitat del vent. Aquest efecte, que s'associa al vent del mateix nom, es produeix en una bona part dels grans sistemes muntanyosos i rep diferents noms segons el lloc.

La dinàmica del Fohn i el seu comportament ha estat analitzada des de fa molt temps, de fet des de principis del segle passat (Gold, 1913), però recentment també es segueix estudiant (Gómez Martin, 2001; Musso i Cassardo, 2004; Ambrosetti et al, 2005). El nivell de recerca sobre el Fohn és molt elevat, de fet fins i tot trobem estudis i articles que relacionen l'efecte Fohn amb la salut humana (Fletcher, 1987). Un altre tema de recerca té com a objectiu el fogony i la seva incidència sobre l'aigua i el seu moviment (Bornman et al, 1973)

Les precipitacions a les àrees de muntanya són molt importants en diversos àmbits: per exemple, en el de predicció de riscos meteorològics, ja que els riscos més importants estan relacionats amb la precipitació. Normalment la precipitació s'estudia i s'analitza per millorar el pronòstic i la predicció, a través de l'anàlisi de processos i esdeveniments a escala local; tot i això, de moment les conclusions respecte a aquest fenomen en

àmbit local és que és molt difícil de predir a escala extremadament local, ja que s'han d'incorporar nous fenòmens a tenir en compte, com les inversions de subsidència (Esteban, 2006). Una forma més senzilla d'analitzar les precipitacions a muntanya és establir una relació entre les precipitacions i les diverses situacions de circulació sinòptica que ens podem trobar, ja que els patrons de circulacions atmosfèriques estan associats a episodis de grans precipitacions, ja sigui de pluja o neu (Fazzini et al, 2005; Esteban et al 2005).

Un dels fenòmens destacables que poden provocar precipitacions són les tempestes. Catalunya destaca per ser una zona molt tempestuosa, sobretot a la zona del NE i en període estival. A muntanya, l'efecte del relleu topogràfic amplifica i intensifica les tempestes, i aquests fenòmens han de ser estudiats a escala molt local, donat que les seves afectacions són locals (Lin et al, 2001). És important detallar les situacions sinòptiques i mesoscalars que poden produir un episodi de fortes tempestes, ja que comporten riscos diversos, com fortes inundacions al darrera. (Lin et al, 2001).

La precipitació orogràfica també és un fenomen que s'estudia a nivell mesoscalar, ja que és on es troben els resultats més òptims; així doncs, per poder fer anàlisis i estudis respecte a aquest fenomen, la modelització mesoescalar és el principal element que ens ajuda per poder avançar en el coneixement de les precipitacions orogràfiques (Chiao, 2002; Medina 2002). Les tempestes extremes i les precipitacions orogràfiques s'estudien amb detall per poder preveure el seu recorregut i evolució en una situació espaciotemporal molt complexa (Houze, 2002), i gràcies als indicadors com l'ESTOFEX se'n pot calcular l'abast territorial i la seva intensitat.

1.2. Tipus de situacions sinòptiques típiques als Pirineus

Totes les situacions atmosfèriques presenten diferències entre elles, tot i que sí que es poden agrupar i classificar en funció d'unes característiques comunes, parlant així de règims, tipus de temps o situacions sinòptiques. Aquestes classificacions responen a aquelles situacions en les quals hi ha una certa correspondència en el que succeeix a la superfície i les condicions en nivells superiors de la troposfera. Els principals tipus de temps als Pirineus són els següents:

1.2.1. Situació del nord-est

La situació del nord-est, també anomenada advecció continental europea, ve configurada per la presència d'un anticicló sobre l'Europa central o occidental i una depressió en el mediterrani occidental, normalment entre les Illes Balears i la Península Itàlica, fent així que el posicionament d'aquests dos centres d'acció provoquin un flux d'aire polar continental (vents de component nord-est) sobre la serralada dels Pirineus. Aquesta situació es presenta sobretot durant la temporada hivernal, tot i que també la podem trobar fora de temporada de forma excepcional. La massa d'aire polar continental que ve d'Europa és freda o molt freda - fins i tot pot arribar a ser d'origen siberià-, i força seca generalment. Una de les principals característiques de la situació del nord-est és la seva estreta relació amb els episodis d'onades de fred. Pel que fa a les precipitacions, si se'n produeixen, són de caràcter feble en general (depenent de la posició de la baixa mediterrània) i poden produir nevades a cotes molt baixes a causa de la baixa temperatura que hi ha en el moment. El vent a muntanya acostuma a ser moderat o fort. (Garcia et al, 2006)

1.2.2. Tàlveg

El tàlveg és una situació meteorològica definida per un sector de l'atmosfera en què la pressió és baixa i inferior a les zones del seu voltant situades a un mateix nivell. La configuració isobàrica ve establerta per isòbares o isohipses en forma de V, procedents d'una depressió amb la concavitat dirigida cap aquesta. El grau d'activitat del tàlveg quant a inestabilitat ve determinat per la curvatura de les isòbares i isohipses en l'eix del tàlveg, ja que si la curvatura és marcada, el tàlveg és molt profund, en canvi, si la curvatura és més suau, el tàlveg és poc profund. Els tàlvegs van associats a un descens latitudinal d'aire fred a les capes altes troposfèriques, amb reflex

a la superfície. Es tracta d'aire fred vinculat a una depressió situada a les latituds més altes. A nivell de superfície, els fronts són els indicadors de l'arribada d'aquest aire fred. A les nostres latituds els tàlvegs es mouen d'oest a est, i provoquen un flux de vents del sud-oest i posteriorment del nord-est. Quan un tàlveg passa sobre els Pirineus d'oest a est provoca un descens tèrmic i precipitacions. Normalment, afecta primer les zones orientades a sud, i posteriorment les zones orientades a nord. Aquesta situació provoca tempestes a l'estiu i nevades a l'hivern. El vent a muntanya és moderat o fort. (Garcia et al, 2006)

1.2.3. Situació anticiclònica

Les situacions anticiclòniques sobre els Pirineus es caracteritzen per la presència d'altres pressions, superiors a nivells de superfície, nivells mitjans i nivells troposfèrics. Hi ha diversos tipus d'anticicló que tenen incidència als Pirineus. El més freqüent és l'anticicló de les Açores. El desplaçament d'aquest anticicló cap a l'est, la qual cosa provoca el seu estacionament sobre la península, és un fet molt característic de cada temporada hivernal, tot i que es pot observar en qualsevol època de l'any, sent poc freqüent sobretot a la temporada d'estiu. Les característiques principals de l'anticicló són cels clars, vent calmat, humitat baixa, inversió tèrmica amb la corresponent formació de boires a les valls... Hi ha temporades hivernals on la presència de forts anticiclons pot fer que les precipitacions siguin totalment inexistentes. (Garcia et al, 2006)

1.2.4. Situació de gota freda

La situació de gota freda va relacionada amb una depressió en altura que no presenta un reflex en superfície, significat que a la superfície hi pot haver una altra depressió, això sí, de caràcter dèbil, amb pressions pròximes a les normals i fins i tot arribant al nivell d'anticicló. La depressió en altura sempre va associada a una massa d'aire fred clarament freda relacionada amb l'aire del seu voltant. Així doncs, podem definir la gota freda com una àrea d'aire fred en altura procedent d'una massa d'aire fred en latituds superiors, i que ha quedat aïllada a una latitud inferior en separar-se de la massa original. El tipus de temps associat a una gota freda és molt variable. Tot i que generalment s'associa a forts i abundants precipitacions, fins i tot de caràcter torrencial, no totes les gotes fredes han acabat provocant aquest tipus de situació meteorològica. Les gotes fredes que afecten els Pirineus procedeixen generalment de l'oest i tenen una durada mitjana de dos a tres dies. Les precipitacions més abundants dins el marc de les gotes fredes els trobem a la tardor. (Garcia et al, 2006)

1.2.5. Situació del nord-oest i nord

Les situacions de nord-est porten episodis intensos a tots nivells: es destaquen la forta baixada de la temperatura, l'intens vent i les nevades abundants. Aquesta situació es presenta quan l'anticicló de les Açores se situa al nord i les depressions se centren en el Mar del Nord i el seu voltant, la qual cosa genera així un segon nucli al golf de Lleó o Gènova. Entre aquests centres d'acció la direcció del vent oscil·la entre nord i nord-est. En cas de vents procedents del nord-est, la massa d'aire impulsada és polar marítima, molt humida i freda. Quan els vents procedeixen directament del nord arrossegueu una massa d'aire de component àrtic, amb humitat intensa i molt freda. Aquesta situació provoca un descens de les temperatures i un fort increment de la força del vent. És una situació de nevades moderades al Pirineu atlàntic. És una situació que pot durar diversos dies, cosa que fa que la neu acumulada duran un episodi de nord-est/nord pugui arribar a deixar acumulacions molt copioses, en què es poden arribar a valors de 60-80 cm en 72 hores. Si la massa d'aire és d'origen àrtic, la cota de neu pot arribar a nivell de mar. En aquest tipus de situació, les nevades al Pirineu oriental són força dèbils, però cal destacar el vent fort que hi ha durant aquesta situació, ja que apareix la tramuntana. (Garcia et al, 2006)

1.2.6. Situació de l'oest

Aquest tipus de situació la trobem gràcies al pas de borrasques atlàntiques en direcció oest - est, procedents de les costes del continent nord-americà. L'anticicló de les Açores se situa al sud de la Península Ibèrica i les

borrasques atlàntiques es mouen sobre el límit superior d'aquest anticicló, fent així que els centre de les borrasques se situïn al nord de la península. Els vents provenen de l'oest, i les precipitacions són força constants, ja que aquest tipus de situació sol durar diversos dies. En funció de la proximitat del centre de la borrasca a la península Ibèrica, tindrà més o menys incidència al Pirineu. Quan el centre de la borrasca es troba situat a les illes britàniques, l'afectació al Pirineu és molt dèbil, i es destaca a només la part del Pirineu de Navarra. Quan el centre de la borrasca es troba situat al mar cantàbric, els afectes sobre el Pirineu són més destacables. Cal remarcar que l'alternança de fronts freds i càlids dins la mateixa situació fan que el temps sigui força variable: si ens fixem per exemple el la cota de neu, podem trobar una variabilitat molt elevada en funció de poc temps. El vent en aquest tipus de situació és fort i provoca situacions perilloses a alta muntanya. (Garcia et al, 2006)

1.2.7. Situació del sud i sud-oest

Aquesta situació ve provocada per la presència d'una tàlveg en altura a la zona de Portugal, ja que aquesta tàlveg provoca depressions a la zona, cosa que fa que aquestes depressions circulin des del Golf de Cadis fins a les Illes Britàniques, impulsades a través de vent del SW. Així doncs, aquesta situació prové d'origen atlàntic però ràpidament té incidència mediterrània, lloc on guanya força humitat. Gràcies a aquesta humitat i a l'efecte orogràfic, les situacions de sud/sud-oest provoquen abundants precipitacions a la zona del Pirineu, amb un temps molt inestable degut a la presència d'aire fred en altura. Les precipitacions són molt abundants a la zona sud, mentre que als sectors atlàntics, com per exemple la Vall d'Aran, en queden al marge degut al caràcter Fohn que adopta el vent. La cota de neu en aquest tipus d'episodi oscil·la entre els 1800 i els 2400 m.

En el cas que es formi un nucli a la zona nord del continent africà, les precipitacions vindran acompanyades de pols saharià. Aquest fenomen el solem tenir 1-2 cops per temporada, tot i que als últims anys l'hem viscut més vegades. (Garcia et al, 2006)

1.2.8. Situació de l'est

Quant a superfície existeix una depressió en el llevant peninsular o el mar balear, podem parlar d'una situació d'est. Aquesta situació aporta abundants precipitacions al Pirineu més oriental, degut a nuvolositat estratiforme. Si el flux és de sud-est, les abundants precipitacions també poden arribar a zones com la Ribagorça o el Pallars Jussà.

Sota la influència d'una situació d'est, no és estrany trobar registres de més de 100 cm de neu acumulada amb un període de 3 dies. Un dels casos més clars que vam tenir d'una situació d'est i que ens va permetre veure la seva potència va ser l'episodi del Glòria. (Garcia et al, 2006)

1.3. El canvi climàtic a les àrees muntanyoses

El canvi climàtic i l'escalfament global és un fet científicament demostrat i es veu clarament com els canvis ens comencen a afectar a tots nivells. Les zones de muntanya no en queden a part: de fet són una de les zones on els canvis produïts per aquest escalfament global són més evidents (Kohler et al, 2014). Els fets principals i més visibles que ens mostren els efectes de la crisi climàtica en les zones d'alta muntanya són, per exemple, el retrocés de glaceres a zones com el Pirineu o els Alps, l'evolució de la vegetació, que cada cop va guanyant alçada, o la constant tendència de disminució del gruix de neu durant els períodes hivernals (ICGC, 2022)

Per poder entendre el canvi a nivell climàtic que estem vivint avui en dia, cal un anàlisi de com era el clima en temps passats. Per saber com era el clima en temps passats, podem utilitzar indicadors climàtics com els anells dels troncs dels arbres o formacions glacials alpines (Beniston et al, 1997; Carvalho 2021). Les estacions meteorològiques del segle passat també ens ajuden a veure les diferències a 100 anys vista i, tot i que el període és molt curt tenint en compte l'escala temporal del nostre planeta, els canvis es veuen clarament reflectits.

En l'anàlisi de les propietats de les glaceres trobem evidències de canvis climàtics que van tenir lloc fa molts i molts anys, i que ens serveixen per fer una previsió del clima que pot venir en aquestes zones concretes en un futur pròxim (Dyurgerov i Meier, 2000). Com és d'esperar, les previsions respecte al clima del futur no són gaire encoratjadores, ja que tot ens indica que l'escalfament que estem vivint avui en dia va augmentant clarament i és del tot imparable. Les prediccions a través de tècniques de gel són molt més catastrofistes que les prediccions d'estacions a cota baixa, fet que ens indica la clara vulnerabilitat de les zones alpines respecte a l'escalfament global (Meybeck et al, 2001; Diaz et al, 2003)

1.4. La xarxa hidrogràfica a les àrees de muntanya

Els rius i torrents de muntanya són aquells que presenten un pendent mitjà superior o igual al 5% (Jarret, 1992). Aquests rius són els que estableixen les característiques dels rius en les zones més planes i baixes, i també influeixen en el relleu de les zones fluvials. Els rius transporten els sediments derivats de la meteorització i erosió i en alguns casos controlen els pendents.

La comunitat científica internacional està destinant un esforç important en l'estudi dels rius, principalment des de la pròpia conscienciació sobre la crisi ambiental i climàtica que tenim avui en dia. La majoria d'investigacions s'han orientat cap a les zones topogràficament baixes, que és on trobem els cursos fluvials més desenvolupats, i aquests tenen més interès a causa de l'ús antròpic que tenen.

Actualment, la investigació geoquímica dels rius i torrents de muntanya ha rebut un altre cop atenció, sobretot per l'anàlisi i estudi de les propietats de petites conques hídriques (Wohl, 2000), com podria ser el cas de la conca del Freser o el Ter en les seves capçaleres. Els rius de muntanya són proveïdors d'aigua d'elevada qualitat, sobretot per estar lliure de partícules i matèries contaminants, a més de tenir un especial paper dins la biodiversitat i els ecosistemes (Wohl, 2000). Des del punt de vista de l'anàlisi geoquímica, una conca fluvial es pot comportar com un sistema totalment integrat, en el qual cada component (químic, físic, biològic...) interactua i es relaciona amb el comportament dels altres, tant a nivell temporal com espacial (Goldsmith et al., 2010).

Els rius i torrents de muntanya són els grans responsables de la morfologia del paisatge i del transport de sediments i soluts elaborats per l'erosió física i química (Leybourne y Goodfellow, 2010). Aquests cursos fluvials ocupen l'alta zona de generació de sediments d'una conca de drenatge i reflecteixen el control del clima, la geologia i sobretot l'ús i les característiques del sòl (Stallard y Edmond, 1983).

El relleu i les estructures influeixen en el desenvolupament de la xarxa de drenatge a diferents escales, i són 5 vegades més creadores de sediments que les zones on aquest relleu és nul o pràcticament inexistent (Wohl, 2000). Aquesta comparació respecte les zones d'alta muntanya i els seus cursos respecte a les zones planes emfasitza el paper dels rius de muntanya com a importants agents de transports de sediments des de les regions alpines. És important destacar també que la meteorització química de caràcter continental és un procés clau per als cicles geoquímics d'abats planetari (Stallard y Edmond, 1983).

També és interessant analitzar el paper dels rius de muntanya respecte al cicle del CO², ja que es tracta d'un gas d'efecte hivernacle que incideix directament sobre el balanç energètic de la terra i, per tant, en el seu clima. Als rius de muntanya se'ls ha atribuït un rol molt important respecte al control d'aquest cicle, sobretot en el període de les grans glaciacions quaternàries (Raymo y Ruddiman, 1992; Berner et al., 1983).

Una conca hídrica constitueix una unitat bàsica en l'estudi dins de la hidrologia, ja que pot definir-se des d'un punt de vista sistèmic com una àrea de terra on tota l'aigua s'escola per la seva superfície o per sota d'ella, on és drenada pel sistema de corrents i que acaba en el mateix punt (Davie 2008). Tot i així, en un sentit més ampli

i sofisticat, una conca hídrica pot ser considerada com una àrea geogràfica on els processos naturals i les activitats humanes estan directament relacionades, això sí, sempre tenint en compte el factor fluvial (Dasso et al. 2014)

Wiegandt (2008) ha assenyalat la importància que hi ha respecte als estudis dels sistemes hídrics de muntanya, a causa que la gran proporció de l'aigua que disposa la humanitat prové de zones muntanyoses. Wohl (2010) indica que les característiques que defineixen un riu de muntanya és la gran i pronunciada variabilitat que hi ha respecte als factors que el determinen (règim hídric, morfologia del canal...)

L'origen natural dels constituents químics de l'aigua estan determinats per una sèrie de factors com els climàtics o les condicions hidrològiques de les conques de drenatge, la composició química i els diversos processos físics químics i biològics.

1.5. Els riscos a les àrees d'alta muntanya

Les àrees de muntanya són a dia d'avui una zona on la població que hi viu durant tot l'any es troba en clar retrocés, ja que el món rural tal com el coneixíem en aquesta part del territori s'ha acabat gairebé del tot. Per aquest motiu, es podria arribar a la conclusió que augmentaria l'interès cap a les zones de muntanya; en canvi, però, no és així. La implementació de ressorts turístics, urbanitzacions, i estacions d'esquí i altres tipus d'infraestructures han fet que l'estudi sobre la vulnerabilitat davant els riscos naturals de les zones de muntanya sigui un tema a estudiar (Das et al, 2002; Pascual, 2006). Riscos i muntanya són dues paraules que van lligades de la mà, ja que la muntanya presenta molts més riscos que altres biomes, degut a les seves variables característiques geogràfiques en funció de poc espai, tot i que moltes vegades la percepció dels riscos per part de la població, siguin a la muntanya o a un altre enclavament geogràfic, no són del tot correctes, ja que es tendeix a minimitzar el risc i no adoptar les precaucions necessàries (Roca, 2022)

Inundacions, esllavissades, sequeres, allaus... són els principals riscos a gran escala que trobem a les zones de muntanya. Aquests riscos tenen origen meteorològic, però la seva afectació respecte als éssers humans és causada, en molts casos, pels mateixos éssers humans i la seva actuació sobre el territori. Malauradament s'han viscut episodis com el del Càmping de Biescas (Alcoverro et al, 1999), en el qual es va comprovar com una mala planificació urbanística juntament amb una mala anàlisi prèvia de la zona poden causar greus conseqüències. Les zones de muntanya són molt vulnerables als riscos anteriorment comentats i per aquest motiu és necessari una anàlisi rigorosa de les àrees en les quals hi ha prevista una proposta d'ubicar emplaçaments o infraestructures que seran utilitzades per persómes. Les activitats de l'ésser humà han causat sovint l'agreujament del risc natura: per exemple, en el cas d'inundacions, la construcció de preses o el mal manteniment de la xarxa hidrogràfica que en teoria està controlada fa que les conseqüències siguin encara pitjors (riuades a l'Aran del juny del 2013). Les esllavissades també tenen un efecte directament correlacionat amb la prèvia planificació i anàlisi de les característiques de la zona. Són força freqüents i tenen a veure amb l'augment de la temperatura i la humitat del sòl (Corominas et al, 1999; Deline et al, 2006).

La manca de pluja té greus efectes a les zones de muntanya, sobretot respecte a fauna i flora. La sequera meteorològica pot ser temporal per manca de pluges, però si no es repeteix en el temps té fàcil solució, ja que en una conca mediterrània els organismes estan acostumats a viure aquests esdeveniments, però el problema ve quan la sequera és adafològica i hídrica, ja que aquí tot l'ecosistema sí que pateix de veritat (Olcina ,2001; Álvarez et al, 2008.)

Respecte a les inundacions, hi ha una clara relació amb la proximitat a zones muntanyoses i les inundacions (Rotunno i Ferretti, 2011). No cal que sigui alta muntanya: a la zona del Maresme, per exemple, la Serralada litoral canalitza tota l'aigua de forma molt ràpida cap als torrents que es troben a poca distància de mar, cosa que provoca sovint grans desperfectes.

Les allaus i el seu funcionament responen a una dinàmica de fluids, així que van relacionades amb la branca física i geològica. Cal destacar, però, el paper important de la meteorològica respecte a les allaus. Dins el món de les allaus hi ha diverses "problemàtiques" i incidències que les desencadenen: una de les predominants és la de neu ventada. Les allaus de neu ventada es causen com a conseqüència del transport de neu a través del vent i de les posteriors capes de neu que forma aquest transport. Per poder analitzar aquest fenomen, es va realitzar una campanya experimental a la zona pròxima a l'estació d'equí de La Molina, i es va concloure que l'acumulació de neu anava directament relacionada amb la intensitat i direcció del vent (Mases et al, 1998). Posteriorment a aquest estudi s'han dut a terme projectes a nivell europeu per poder fer estudis dels efectes del vent dins el món de la predicció d'allaus (Corripio et al, 2003), i en aquest tipus d'estudi es veu realment que el vent és un dels fenòmens meteorològics més rellevants a les àrees de muntanya. Una altra forma d'analitzar el vent i la seva incidència respecte la neu i les allaus és a través de la modelització o del tractament d'imatges satèl·lit a través de la teledetecció (Durand et al, 2001; Jaedicke, 2011; Lehning et al 2002). Darrera de les allaus hi ha un gran interès a tots nivells; a nivell europeu, per exemple, hi ha molts organismes i grups dedicats a la millora de les prediccions (citar alguns). A casa nostra sempre hi ha hagut molt interès cap a les allaus, ja que formen part de la muntanya hivernal. A causa de tradicional freqüentació per part d'excursionistes i alpinistes a aquest tipus de muntanya, les allaus han estat i són objecte d'estudi per tal de poder prevenir i minimitzar els accidents que se'n poden derivar.

Hi ha hagut temporades on l'activitat allavosa ha estat molt intensa com, per exemple, els anys 2004, 2005 i 2006. En temporades així s'han elaborat estudis i anàlisis des del punt de vista meteorològic per arribar a entendre el perquè de tanta activitat d'allaus (Martí et al, 2006). És molt important de cara a l'usuari de la muntanya hivernal el fet de disposar d'informació clara i concisa respecte el món de la neu i les allaus. Per aquest motiu es van realitzant conferències i activitats per posar èmfasi en la prevenció i en la pedagogia respecte al món de la muntanya hivernal (Oller, 2003; Martínez i Oller, 2004). La gestió de la predicció i vigilància de les allaus a Catalunya recau a mans de la *Unitat de predicció d'allaus* de l'Institut cartogràfic i geològic de Catalunya i del *Cos de Lauegi* del Consell general de l'Aran.

1.6. Riscos meteorològics

A la muntanya trobem riscos que són purament d'origen meteorològic (Pascual i Callado, 2007), i aquests riscos venen a través de tempestes, llamps, vents huracanats, nevades intenses i/o abundants, torb, temperatures extremes, mala visibilitat a causa de fenòmens de convecció... És cert que normalment quan hi ha un episodi de complicacions meteorològiques trobem diversos elements dins el mateix fenomen: per exemple, hi ha moltes nevades abundants que venen acompanyades d'una forta presència de vent. Així doncs, podem trobar nevada intensa + torb en un mateix moment, i és en el moment de combinació de diversos elements meteorològics que hi ha el màxim risc. Al la serralada del Pirineu, i en concret la zona del Pirineu Oriental, tenim aquests fenòmens intensos gairebé sempre sota un mateix patró sinòptic, que són les adveccions de component nord (Pascual i Callado, 2007). En el cas de l'Oriental, és cert que les nevades abundants venen de llevant, però els forts episodis de vent/torb els trobem amb entrades de Nord. La conclusió de Pascual i Callado arriba després de seleccionar diversos episodis amb un elevat nombre d'accidents i molts dels quals coincidien amb patrons sinòptics d'adveccions de Nord. Com sempre, cal remarcar que a l' hora de tractar meteorologia i muntanya s'ha d'anar molt en compte amb les característiques mesoscalars, ja que la variabilitat que trobem és molt elevada. Una dels altres aspectes importants que s'ha demostrat és que a nivell dinàmic les depressions i els centres d'altres pressions i les seves anomalies tèrmiques a diverses altures tenen una clara incidència quant a episodis extrems a nivell meteorològic al Pirineu (Koffi et al,1998).

El torb és un dels elements meteorològics més temuts al Pirineu: força difícil de predir, és molt brusc i espontani i se sol produir en dies totalment assolellats, en què les persómes inexpertes pensen que no hi haurà cap mena

de perill possible. El torb es produeix amb entrades de fluxos de component nord sobre els Pirineus, que generen una retenció d'aire fred a sobrevent dels Pirineu (Vessant nord); posteriorment amb el seu trencament es produeix una forta i brusca entrada de vents forts en alçada: la combinació d'aquest vent intens amb la presència de gran quantitat de neu recent amb el pas d'un front fred els dies abans és completament fatal i tràgica per a l'excursionista que es troba atrapat per culpa del fenomen (Pascual, 2001; Pascual 2006). Malauradament, hi ha força accidentalitat mortal entorn a aquest fenomen. Així doncs, a l'hora d'estudiar els riscos meteorològics a muntanya no només ens hem de fixar en la precipitació de neu o pluja.

2. Objectius

Aquest treball es presenta com a base d'estudi per al seguiment nivològic i hidrològic de zones d'alta muntanya, amb la finalitat que estudis posteriors puguin fer servir la mateixa metodologia per tal d'obtenir resultats respecte a les variables analitzades.

Tenint en compte que la zona de les capçaleres del Ter i del Freser presenta unes característiques hidrològiques i meteorològiques d'alta muntanya, els objectius plantejats són:

2.1. Objectiu principal

Fer un seguiment de la temporada meteorològica hivernal i primaveral a les capçaleres del Ter i del Freser per tal d'analitzar la relació que hi ha entre els fenòmens meteorològics i les seves conseqüències amb la xarxa hidrogràfica de la zona.

2.2. Objectius específics

1. Identificar les zones més propícies a l'acumulació de neu i fer un seguiment de l'evolució del mantell nival.
2. Identificar els patrons sinòptics i les característiques climàtiques.
3. Descripció i anàlisi dels fenòmens meteorològics ocorreguts durant el temps d'anàlisi.
4. Càlcul estadístic sobre el comportament del cabal dels rius i torrents de la zona.
5. Càlcul del cabal a diferents punts de la xarxa hidrogràfica durant el temps d'anàlisi.
6. Anàlisi de les propietats químiques de l'aigua.
7. Estudi geogràfic de les característiques de la zona.

del Freser), on les segones residències són molt abundants des de principis del segle XX, a causa que la burgesia catalana va veure la zona com un molt bon lloc per estiuajar.

3.1. Característiques antròpiques

La zona de les capçaleres del Ter i del Freser destaca per tenir unes característiques poblacionals típiques de les zones d'alta muntanya, amb petits pobles enfillats a les muntanyes (Queralbs, Tregurà) i pobles que exerceixen la funció de capital de la zona (Ribes de Freser, Camprodon). Quant a infraestructures comunicatives cal destacar la N-260 i la C-38 per carretera i la línia R3 de rodalies per via de tren.

Actualment les poblacions més poblades de les rodalies de l'àrea d'estudi són Camprodon amb 2261 habitants (INE,2018) i Ribes de Freser amb 1766 habitants(INE, 2018).

Ambdues poblacions exerceixen de municipi referència per als habitants dels petits pobles de la zona ja que, d'una banda, són on es troben tots els serveis essencials i, de l'altra, la capital de comarca, Ripoll, queda a uns 40 minuts amb cotxe.

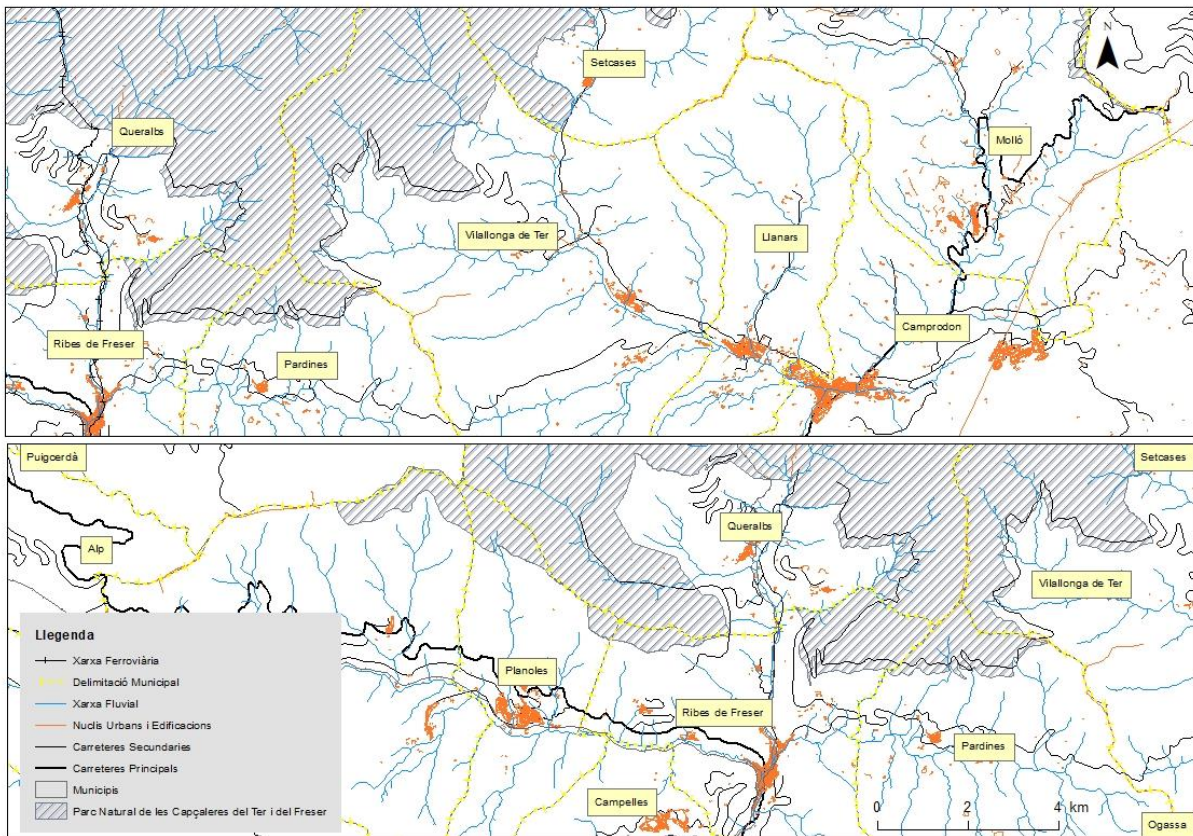


Figura 3. Infraestructures i vies de comunicació als municipis propers a l'àrea d'estudi. Elaboració pròpia

3.2. Característiques físiques

Les valls del Ter i del Freser es troben situades al NE del país, zona molt propera al mar Mediterrani. Tot i així, a les capçaleres de les valls podem trobar cims que ronden els 2800-2900 metres, amb el Puigmal com a muntanya més alta (2913m). La diferència altitudinal en pocs km es força notòria, ja que la zona d'estudi es caracteritza per la presència de congostos força abruptes com, per exemple, el del Freser entre Coma de vaca i Queralbs o el del Riu de Núria en el seu tram final.

Les valls que trobem a les capçaleres del Ter i del Freser presenten diverses particularitats, que fan que cap d'elles tingui el mateix patró geogràfic. L'alta vall del Ter està formada principalment per la Vall de Setcases, tot i que també hi trobem la Vall de Molló. L'alta Vall del Freser està formada principalment per la Vall de Ribes, que baixa des del Bastiments fins a Queralbs, però també hi trobem la Vall de Núria, que engloba el sector del Puigmal – NouCreus. A la zona del Freser és on trobem les formacions més abruptes, que serien la Cara Sud del Torreneules, amb el seu corresponent torrent, la Cara Nord del Balandrau, i sobretot cal destacar el tram de Bastiments – Pic del Freser – Pic de l'infern, ja que és on trobem la formació més escarpada de la conca del Freser. Tot i això, a la zona del Ter també trobem zones abruptes, principalment localitzades en el Gra de Fajol Gran i el Gra de Fajol petit, on hi ha diverses canals i una gran i extensa tartera. A la zona del Roc-Colom també podem localitzar alguna canal, tot i que són anecdòtiques. Les muntanyes del Ter destaquen per la seva forma arrodonida i poc escarpada, per aquest motiu molts excursionistes les cataloguen com a "cims de vaques", que vol dir que són cims que no presenten gaires dificultats tècniques. Alguns "cims de vaques" per excel·lència serien el Balandrau (Ruta de Tegurà, Cara S) el Pic de la Dona des del Pla de Mentet, o el Pic de la Llosa, també des del pla de Mentet.

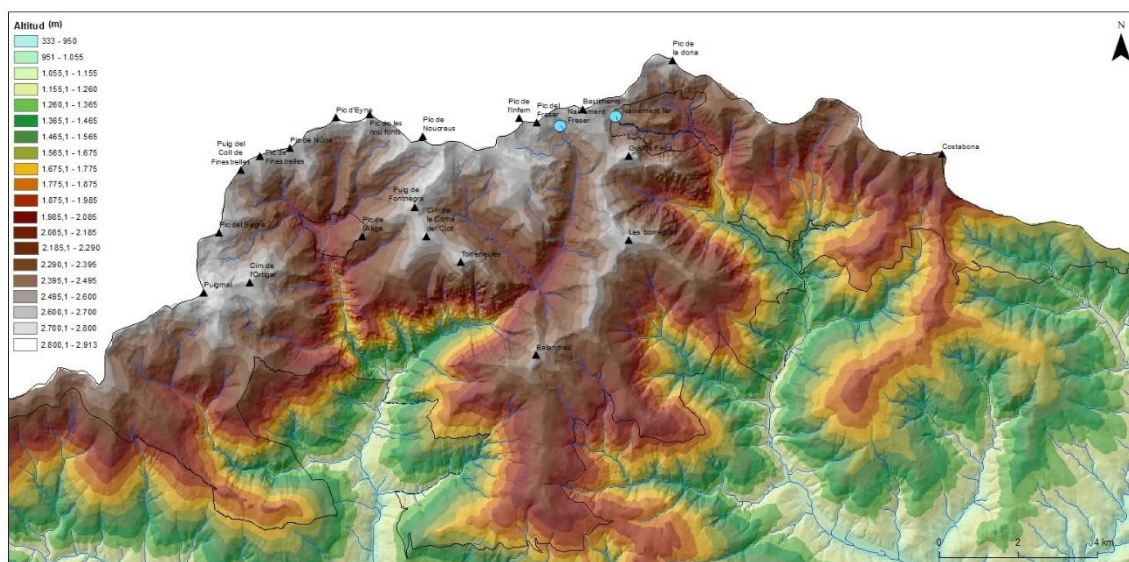


Figura 4. Medi físic de les Capçaleres del Ter i del Freser. Elaboració pròpia

Les Capçaleres del Ter i del Freser destaquen per l'abundant presència de cursos fluvials de tot tipus a causa de les seves característiques geogràfiques.

Els rius principals (Freser i Ter) tenen múltiples alfluents com, per exemple, el riu de Núria, el riu de Tosa, el riu del Catllar, el riu de Vall-llobre...i aquests també estan alimentats per diversos torrents com, per exemple, el torrent de Fontalba, Noucreus o de la Llosa, que depenen del desglaç a la primavera, de les tempestes a l'estiu i de les pluges abundants de la tardor. La zona presenta un règim fluvial de característiques nivals atenuades per sobre dels 1700m, i de tipus nivopluvial de 1700 en avall.

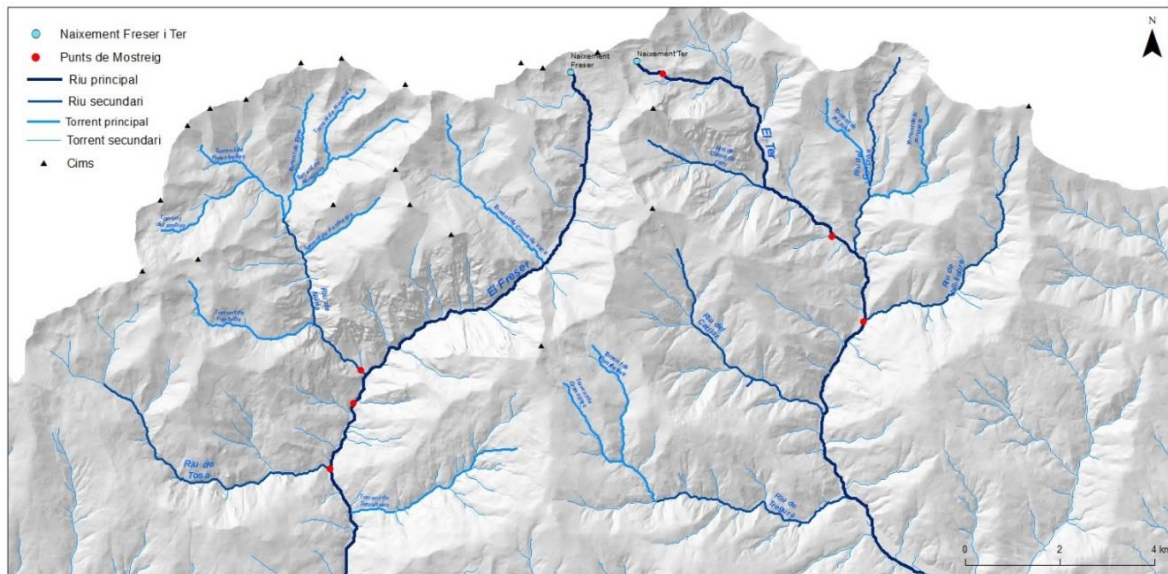


Figura 5. Xarxa hidrogràfica de les Capçaleres del Ter i del Freser. Elaboració pròpia

La presència de llacs o estanys és testimonial, ja que només apareixen en el moment de desglaç, on el més destacable és l'estany fonedís d' Ulldeter.



Figura 6. Estany fonedís amb el Gra de Fajol petit al fons. Font: ICGC

En aquesta imatge del dia 13 de maig del 2020 es pot observar la formació de l'estany fonedís a causa del desglaç. Com és obvi, la seva extensió varia en funció de la quantitat de precipitació i acumulació de neu que hi ha hagut al llarg de la temporada, i la temporada 2019-2020 va ser una temporada molt bona quant a acumulació de neu, ja que els dies de precipitació van ser molt abundants. Tot i que el procés de desglaç just es trobava en el seu inici, ja es va formar l'estany fonedís abans de que la neu es fongués en tota la seva totalitat.

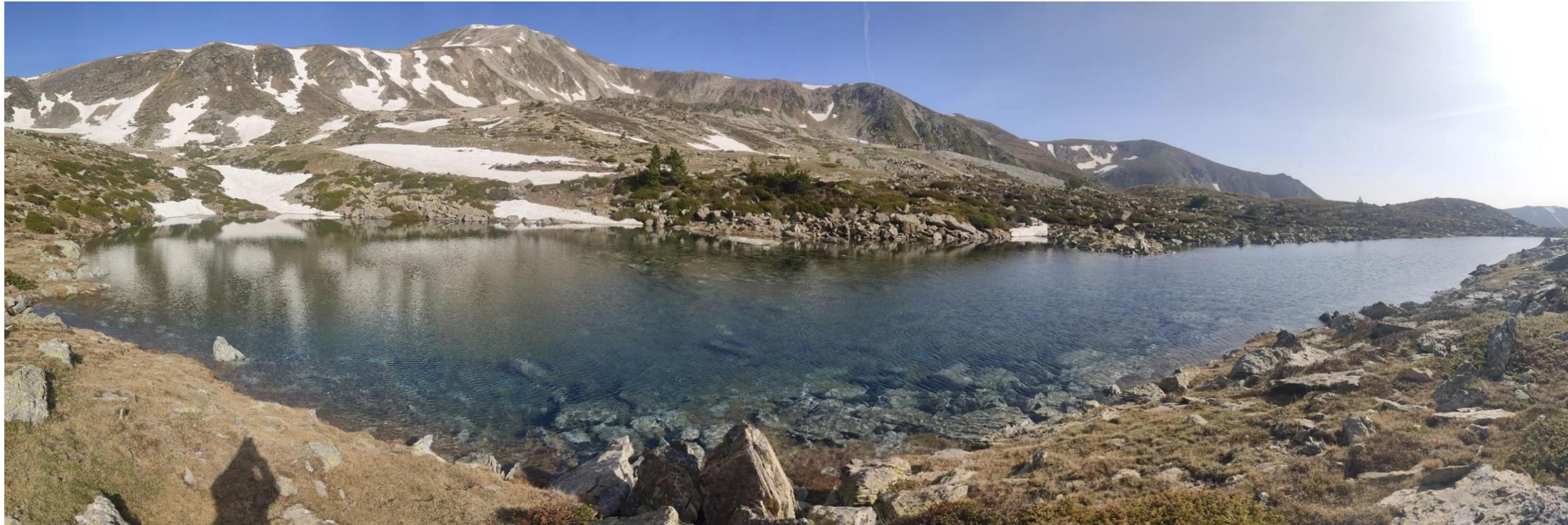


Figura 7. Estany fonedís amb el Bastiments de fons. Elaboració pròpia

Aquest any l'estany fonedís no ha faltat a la seva cita anual coincidint amb el període de desglaç, però cal remarcar que no ha tingut, ni de bon tros, l'extensió que acostuma a tenir, ja que la temporada hivernal en conjunt ha estat força seca.

Així doncs, l'anàlisi de l'extensió de l'estany fonedís i la seva duració ens serveixen com a un molt bon indicador per analitzar com ha estat la temporada d'hivern.

Respecte a la vegetació, predominen les formes boscoses i herbàcies boreoalpines i medioeuropees. Cal destacar l'estatge alpí, que se situa per sobre dels 2300 metres i que té com a principal element el prat alpí, i l'estatge subalpí, que se situa entre els 2300 i els 1600 metres, on el domini clar el trobem amb el pi negre, alguns avets i sotabosc, on trobem neret i ginebró. La vegetació medioeuropea o estatge montà predomina a la muntanya mitjana humida, entre els 1600 i els 900 metres, en els llocs més humits i de sòl poc àcid de la qual, podem arribar a trobar algunes fagedes, tot i que els arbres dominants són el pi roig, el roure, els boixos, els avellaners i bedolls. A la vora dels cursos fluvials trobem pollancre. (BOLOS I CAPDEVILA, 1958 i 1979)

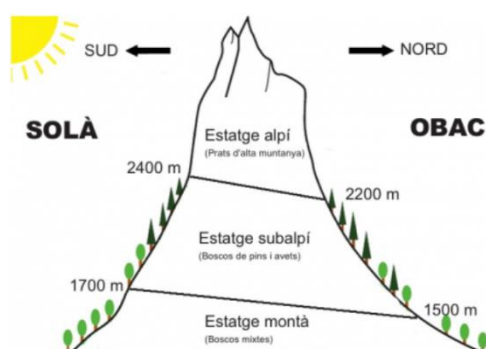


Figura 8. Vegetació de l'àrea d'estudi. Font: Web Vall Madriu - Perafita

Els sòls de la regió estudiada són, tenint en compte les característiques altitudinals i de materials (roques àcides en el sector), de tipus rànker (damunt de roca silícia) o rendzina (sobre roca calcària), a les parts altes (per damunt d'uns 1.600 metres d'altitud); mentre que a la muntanya mitjana humida predomina la terra bruna medioeuropea. Quant a la terra fosca calcària, gràcies a la humitat del clima, acaba per transformar-se també en terra bruna (BOLOS I CAPDEVILA, 1958 i 1979).

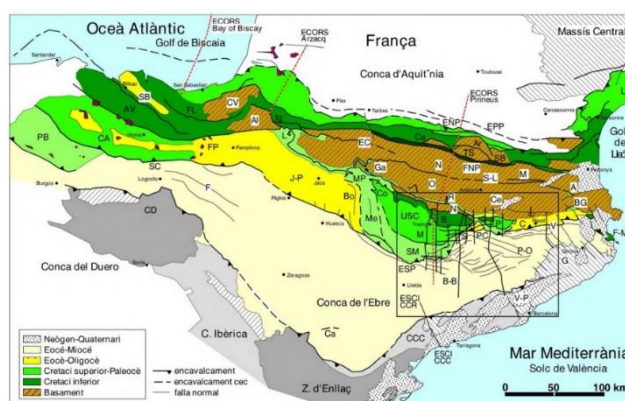


Figura 9. Mapa geològic del Nord-Est de la Península Ibèrica. Font: Jaume Vergés

3.3. Característiques climàtiques

En parlar de característiques climàtiques a les capçaleres de cursos fluvials, cal tenir en compte la recomanació de l'Organització Meteorològica Mundial, que remarca que, per poder fer un estudi eficaç del clima de la zona, és necessari, com a mínim, la presència d'una estació meteorològica a cada conca fluvial. En el cas de la zona del Ter-Freser, hi ha diverses estacions automàtiques i manuals que ajuden a complir amb aquest requisit, tot i que algunes d'elles fa relativament poc que estan operatives com, per exemple, l'estació automàtica d'Ulldeter (meteocat), que porta operativa des del 2011. Així doncs, a dia d'avui la zona compta amb estacions meteorològiques a: Núria, Ulldeter, Vallter2000, Pastuira, Setcases, Queralbs i, finalment, tot i que allunyada de l'àrea d'estudi, la de Molló.

Tot i que gran part de les dades que es poden recollir són gràcies a òrgans governamentals (Meteocat, FGC, ICGC), m'agradaria posar en valor les iniciatives privades de particulars, com els projectes de *Meteoguilleries*, que és el que hi ha darrera l'estació meteorològica de Queralbs, o el projecte de *Projecte4estacions* que, gràcies a l'instal·lació de *webcams* en llocs com el Refugi de Coma de Vaca, ajuden a la divulgació de la meteorologia al Pirineu dins el nostre país. A part de projectes consolidats, també hi ha particulars amb menys xarxa d'estacions, però que igualment aporten el seu gra de sorra. Gràcies a aquests recursos, doncs, es disposa de molta informació climatològica i meteorològica de gran interès, que fan de gran complement a les altres xarxes d'observació. La contribució a la climatologia no només es queda reduïda a la xarxa d'estacions meteorològiques ja que, a nivell històric, la ciència climatològica a Catalunya ha despertat sempre molt interès.

Els factors geogràfics dins de l'anàlisi del clima d'una zona d'alta muntanya són d'importància cabdal perquè les característiques geogràfiques locals de l'àrea considerada modifiquen el tipus de temps en funció d'elements com: el relleu, els sòls, les aigües, la vegetació, l'orientació... però també cal tenir en compte els factors de tipus planetari, és a dir, les situacions sinòptiques, que van relacionades amb la circulació general de caràcter atmosfèric.

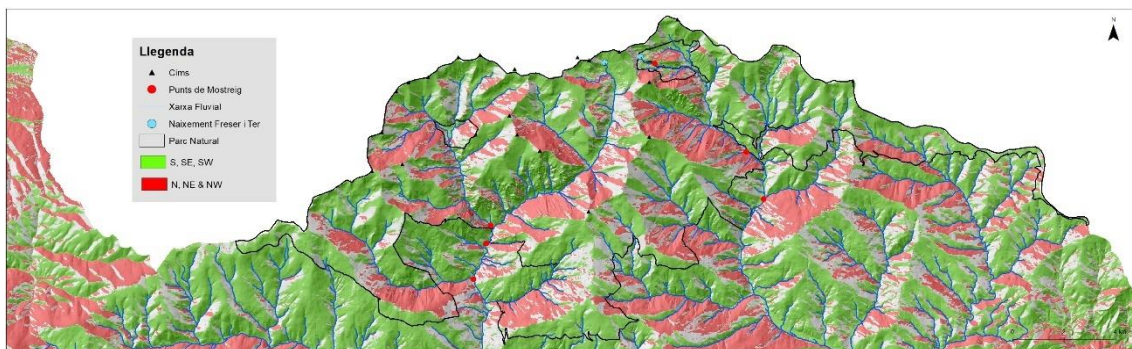


Figura 10. Mapa d'orientacions Nord i Sud a l'àrea d'estudi. Elaboració pròpia

Com podem veure a la figura 10, les orientacions sud ocupen bona part de la zona; en canvi, les orientacions nord representen menys superfície dins el conjunt total.

3.3.1. Clima de conca del Freser

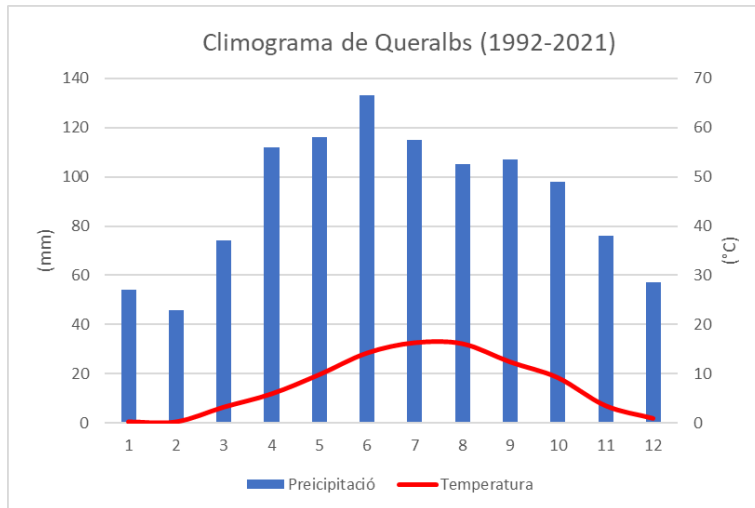


Figura 11. Climograma de Queralbs (1992-2021). Elaboració pròpia a través de dades de meteoblue

El clima de la conca del Freser és un clima alpí dins la conca mediterrània: així doncs, podem dir que és un clima mediterrani d'alta muntanya. Les temperatures mitjanes mensuals no superen els 20 graus, i tenen un màxim durant el mes de juliol i agost amb una temperatura mitjana de 16,4 i 16,2 graus respectivament. Quant a les precipitacions, són força abundants durant tot l'any, ja que no hi ha període de sequera. Normalment, en el clima mediterrani trobem fortes sequeres en el període estival. El cas, però, de les zones de muntanya és diferent: de fet, l'estiu és quan els registres pluviomètrics són més elevats a causa dels fenòmens convectius que tenen lloc a finals de primavera fins a final d'estiu. Així doncs, el mes més plujós és el de juny, amb una precipitació mitjana de 133m. Per altra banda, els mesos amb menys precipitació els trobem durant els mesos hivernals, a causa de les típiques situacions sinòptiques que tenen lloc durant aquest període de temps, ja que les entrades de nord no deixen gaire precipitacions i l'anticicló de les Açores, com és d'esperar, tampoc. Els mesos més secs són gener i febrer.

3.3.2. Clima de la conca del Ter

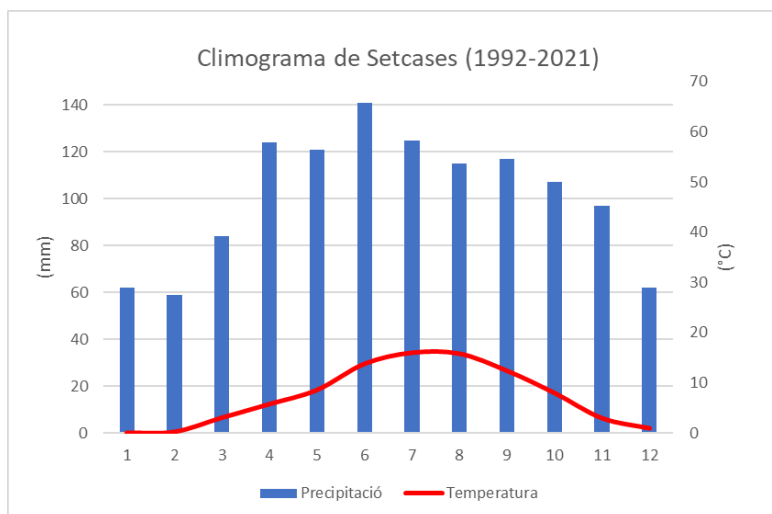


Figura 12. Climograma de Setcases (1992-2021). Elaboració pròpia a través de dades de meteoblue

El clima de la conca del Ter és molt similar al de la conca del Freser, ja que és un clima alpí que es troba dins de la conca mediterrània (clima mediterrani d'alta muntanya). Les temperatures

mitjanes mensuals no superen els 20 graus, tenint el màxim en els mesos d'estiu de juliol i agost, amb una temperatura mitjana de 16 i 15,8 respectivament. Quant a les precipitacions, són força abundants durant tot l'any, de fet no hi ha període de sequera ni a l'època d'estiu, ja que en aquest període és quan tenen lloc els fenòmens convectius més destacats, que deixen registres d'acumulació de precipitació molt destacables. Així doncs, els mesos més plujosos són el juny i el juliol, amb 141 i 125 mm de mitjana respectivament. Per altra banda, els mesos amb uns registres pluviomètrics més modestos els trobem durant els mesos hivernal a causa de les característiques sinòptiques que tenen lloc en aquest període de temps. Els mesos més secs són gener i febrer, amb 62 i 59 mm de mitjana respectivament.

3.3.3. Fenòmens de convecció

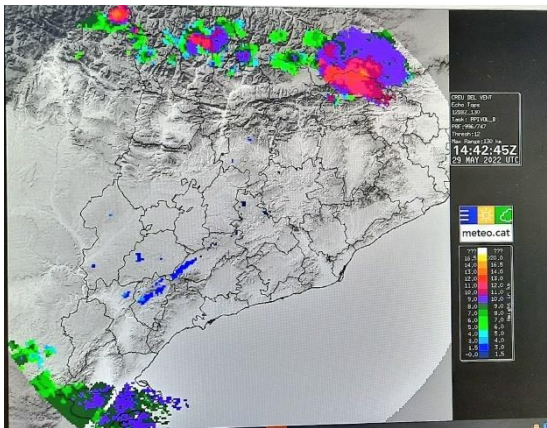


Figura 13. Altura dels núvols durant un episodi tempestuós al Pirineu. Font: meteo.cat

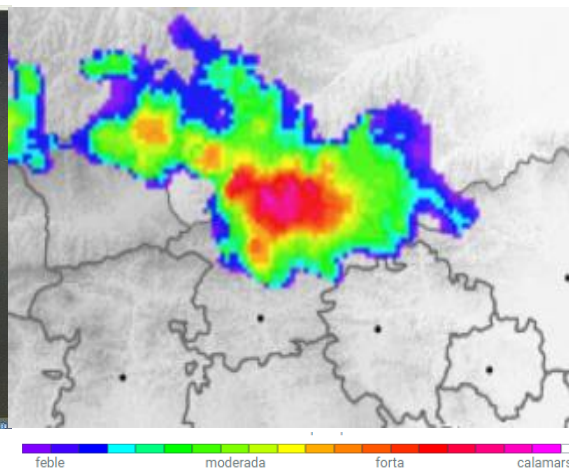


Figura 14. Intensitat de la precipitació al Pirineu Oriental. Font: meteo.cat

Les precipitacions convectives són freqüents a l'àrea d'estudi sobretot durant els mesos estivals. Es formen per ascensos d'aire provocats per la calor de la superfície. Les brises diürnes de muntanya col·laboren en la formació d'aquestes precipitacions convectives. Quan aquest aire calent s'eleva, arriba a un punt que es condensa ja que la temperatura en alçada és més freda i la humitat se satura. Els núvols d'aquestes precipitacions són de tipus cul-loniforme, ja que els moviments verticals d'aire són els predominants i poden arribar fins a la tropopausa. Aquestes precipitacions destaquen per la seva irregularitat, intensitat i van acompanyades de llamps, però també de fenòmens violents com calamarsa, ratxes fortes de vent, esclafits...Les hores en què se sol manifestar aquest tipus de precipitació és entre el migdia i mitja tarda, ja que és quan hi ha més energia.

3.3.4. Règim nivològic de les Capçaleres del Ter i del Freser

La presència de neu a les capçaleres del Ter i del Freser abasta generalment des de principis de tardor fins a finals de primavera, sent el període hivernal el de major rellevància, però no pel fet de produir-se abundants nevades si no per la capacitat més gran de conservació de la neu que hi ha a l'hivern. Les principals nevades a la zona són fruit d'episodis de llevant; d'aquesta manera, les principals nevades les trobem, normalment, en mesos com novembre, desembre o març, ja que al gener i febrer hi predomina l'anticicló.

Cal remarcar que els règims nivològics, com qualsevol fenomen meteorològic, està sotmès a una forta variabilitat quant a freqüència i intensitat i ens podem trobar, doncs, amb anys en què pràcticament no hi nevi i anys on s'acumuli gran quantitat de neu

3.3.4.1. Conca del Ter

Per poder analitzar el règim nivològic de la conca del Ter hi ha disponibles les dades proporcionades per part de l'ICGC de la zona de Pastuira. Com podem observar a la Figura 15 i 16, els gruixos de neu són molt variables en funció de la temporada, ja que hi ha temporades com la 2005-2006 on hi va haver tres episodis destacables, dos d'ells molt forts, i temporades com la 1997-1998, on la presència de neu al sòl va ser inferior a la mitjana bona part de la temporada. Cal destacar les importants nevades que es poden produir en mesos com el novembre i març/abril a causa de configuracions sinòptiques típiques de la primavera o tardor, tot i que episodis com el Glòria o els viscuts al febrer del 2018 també són freqüents a la zona.

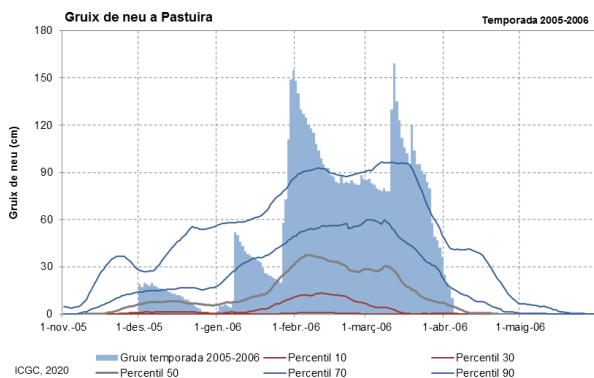


Figura 15. Gruix de neu a Pastuira (2005-2006). Font: ICGC

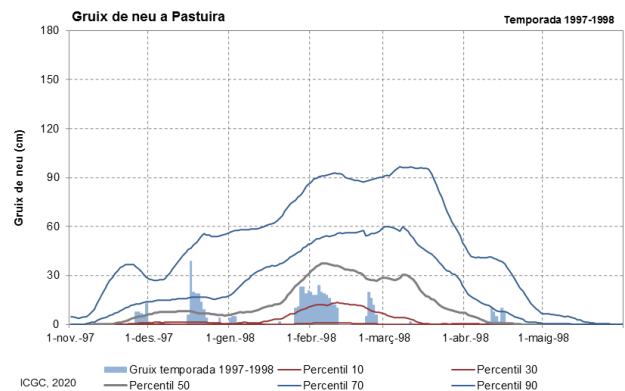


Figura 16. Gruix de neu a Pastuira (1997-1998). Font: ICGC

La conca del Ter, doncs, depèn d'episodis intensos per disposar d'una gran quantitat de neu durant la temporada hivernal i presenta una força variabilitat en funció de la temporada. El màxim de neu acumulada el trobem a mitjans de març.

3.3.4.2. Conca del Freser

Per poder analitzar el règim nivològic de la conca del Freser hi ha disponibles les dades proporcionades per part del'ICGC de la zona de Vall de Núria. Com podem observar a la figura 17 i 18, els gruixos de neu són molt variables en funció de la temporada, ja que hi ha temporades com la 1995-1996 on hi va haver dos episodis molt importants, que van arribar a deixar més d'un metre de neu, i temporades com la 1994-1995, en què la presència de neu al sòl va ser inferior al percentil 10 durant bona part de la temporada. Cal destacar les nevades considerables que es poden produir en mesos com el novembre i març/abril a causa de de configuracions sinòptiques típiques de la primavera o tardor, tot i que també podem trobar grans nevades a mesos hivernals com, per exemple, les recents del temporal Glòria o Filomena (Gener)

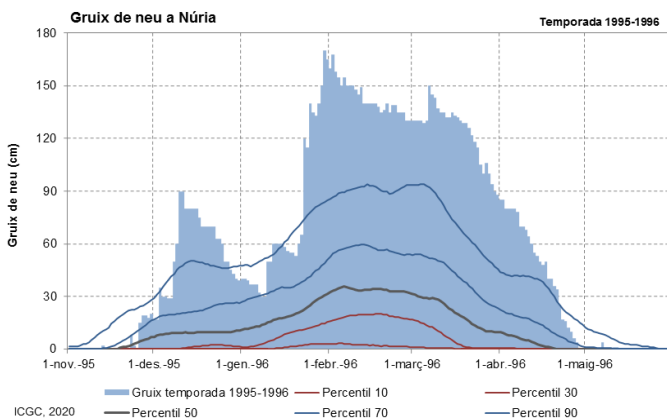


Figura 17. Gruix de neu a Núria (1995-1996). Font: ICGC

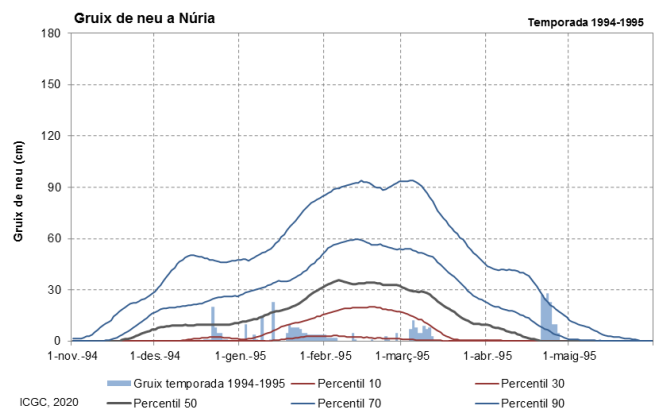


Figura 18. Gruix de neu a Núria (1994-1995). Font: ICGC

La conca del Freser depèn d'importants i abundants episodis per poder disposar d'un mantell nival continu durant tota la temporada hivernal ja que, sense aquests episodis, el mantell nival és força escàs a causa de les condicions meteorològiques que es donen a la zona (anticicló, vent, etc.). La variabilitat de quantitat de neu al sòl en funció de la temporada és molt extrema. Els màxims de neu acumulada al sòl es troben a mitjans de març.

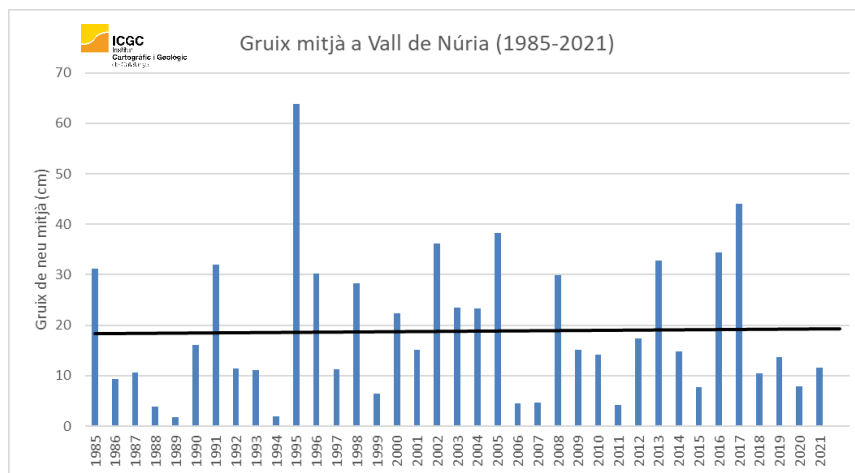


Figura 19. Gruix mitjà a Vall de Núria (1985-2021). Font: ICGC

Tenint en compte les dades disponibles, encara no es pot treure una conclusió climàtica prou sòlida per poder caracteritzar el règim nivològic de la zona. Sí que és cert que queda reflectida

la variabilitat quant al gruix de neu respecte les diferents temporades, però la línia de tendència no és significativa. Com podem observar a la Figura 19, en dos anys consecutius es passa de tenir menys de 5 cm de gruix mitjà (1994-1995) a tenir-ne més de 60 cm (1995-1996).

3.3.5. Zones d'acumulació

Identificar les zones on hi ha grans acumulacions de neu ens serveix per analitzar l'impacte del desglaç en els cabals dels rius i torrents de les zones de muntanya, ja que els rius i torrents que estan ubicats en zones de grans acumulacions tenen un increment del cabal més accentuat que els de les zones que no concentren tanta neu. A la figura 20 podem observar un mapa probabilístic d'acumulació de més de 90 cm a la zona de les Capçaleres del Ter i del Freser. Cal remarcar que al tractar-se d'una zona d'alta muntanya, les variables que propicien l'acumulació de neu, com el vent, l'orografia o l'orientació, fan que la previsió de les zones d'acumulació pugui ser força variable en funció dels episodis meteorològics viscuts durant la temporada, i per aquest motiu s'ha aplicat un mètode d'interpolació a través d'eines d'anàlisi geoestadístic que minimitzen aquesta variabilitat meteorològica, per poder arribar al màxim detall possible.

Tenint en compte les característiques geogràfiques i meteorològiques de la zona, les principals zones d'acumulació són les següents:

Coma de l'Embut

Vall de Coma de Vaca

Vall de Tirapits

Coll de la Marrana – Nord del Gra de Fajol

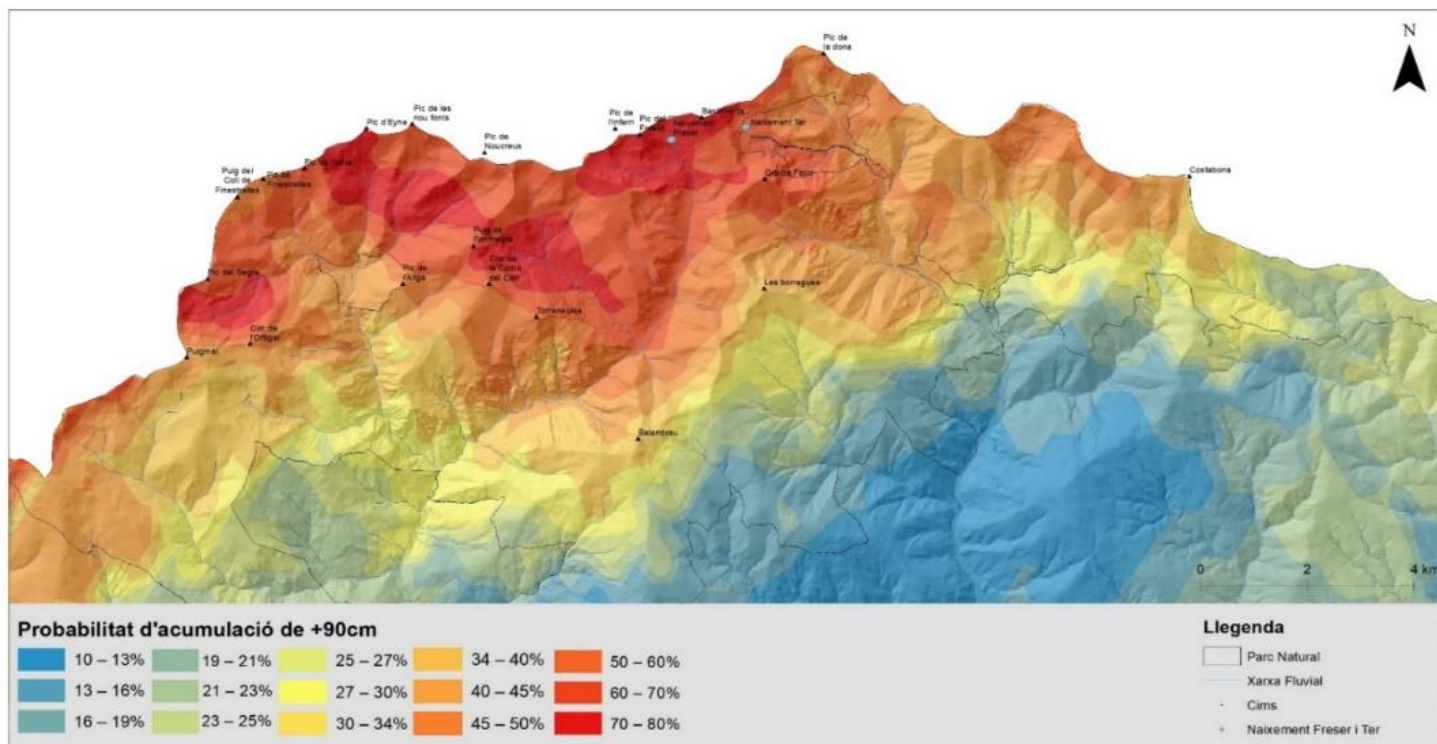


Figura 20. Probabilitat d'acumulació de +90cm a les Capçaleres del Ter i del Freser. Elaboració pròpia

Aquestes zones tenen la capacitat d'emmagatzemar neu durant tot l'hivern, fins i tot si l'hivern és anormalment sec i càlid; això sí, si hi ha hagut un episodi de neu fort abans. Els principals rius de la zona neixen en aquestes zones d'acumulació.

4. Metodologia

Les àrees de muntanya tenen ja de per si més complicacions que la resta de zones. Quan s'ha de fer una recerca és molt important tenir en compte les limitacions que hi ha a l'hora d'analitzar i fer recerca, ja sigui accessibilitat, condicions climatològiques, temes relacionats amb el propi menjar o dormir... Per aquest motiu s'ha de dur una bona planificació per poder assolir els objectius sense posar en risc la salut dels integrants de l'equip de treball. Per tot això, s'han tingut en compte les característiques geogràfiques de les Capçaleres del Ter i del Freser abans de començar la recerca per tal de poder tenir clar quines coses es podrien fer i quines no.

Una vegada analitzat tot l'entorn i veure que era compatible amb el mètode de recerca proposada, es va iniciar el treball de camp.

4.1. Treball de camp

Per poder seleccionar els punts de mostra es va elaborar un document cartogràfic que definís la xarxa fluvial de l'àrea d'estudi. Aquest procediment va ser realitzat a través de ARCMAP 10.6 (Figura 21) i va donar com a resultat el mapa fluvial de la zona (Figura 5).

A la Figura 22 trobem els 6 punts de mostreig dins de l'àrea d'estudi



Figura 21. Model d'eines ARCMAP 10.6 per elaborar la xarxa hidrogràfica. Elaboració pròpia

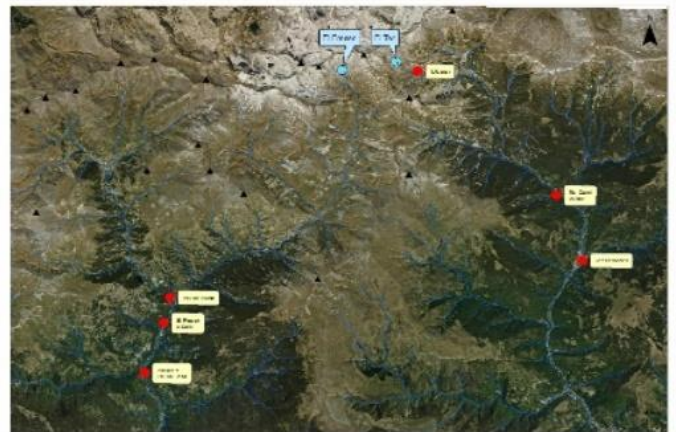


Figura 22. Punts de mostreig. Elaboració pròpia

4.1.1. Riu Ter (Ulldeter)

El primer punt de mostreig forma part de la conca del Ter: de fet, es troba a escassos metres del naixement del riu Ter. Degut a les condicions del mantell nival, el càlcul de cabal durant el període hivernal no va ser possible, tot i que sí que es van poder agafar mostres d'aigües.

És el punt de mostreig que es troba situat a més altura (2.400 m)



Figura 23. Riu Ter amb el Bastiments de fons. Elaboració pròpia

4.1.2. Riu Ter (Ter Camí Vallter)

El segon punt de mostreig forma part de la conca del Ter. Es troba ubicat al fons de Vall, on el Riu Ter ja ha rebut l'aigua d'afluents com el torrent de Coma de l'Orri o

A diferència del punt de mostreig d'*Ulldeter*, aquest punt de mostreig no va tenir cap complicació a l'hora de calcular el cabal ni a l'hora d'obtenir aigües per ser analitzades

El punt de mostreig es troba a una altura de 1.200 m.



Figura 24. Riu Ter al camí de Vallter. Elaboració pròpia

4.1.3. Riu Ter (Setcases)

El tercer punt de mostreig forma part de la conca del Ter. Es troba a relativa poca distància del punt de mostreig de Ter-Camí Vallter, però hi ha força diferència quant a cabal a causa de l'aportació dels afluents que rep el riu Ter en aquest indret, ja que se li sumen les aigües del riu de Vall-llobre o el torrent de Concròs.

En aquest punt de mostreig tampoc hi ha hagut cap complicació a l'hora de calcular el cabal ni a l'hora d'obtenir aigües per a la seva anàlisi.

El punt de mostreig es troba a una altura de 1.100 m

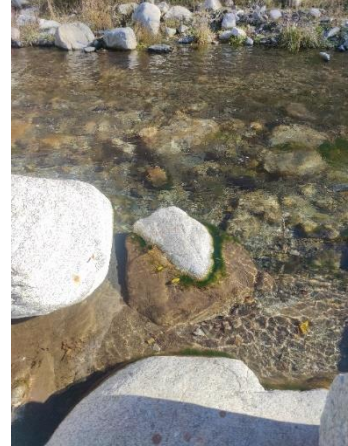


Figura 25. Riu Ter a Setcases. Elaboració pròpia

4.1.4. Riu de Núria (Daió, Queralbs)

El quart punt de mostreig ja forma part de la conca del Freser. El Riu de Núria recull les aigües de les Valls de l'Olla de Núria, com les de Noucreus o Noufonts, però també d'altres zones com, per exemple, les aigües que provenen de la zona sud del Puigmal (Torrent de Fontalba). El Riu de Núria és un dels principals afluents del Freser.

En aquest punt de mostreig no hi ha hagut gaires complicacions a l'hora de calcular el cabal. El dia que hi va haver més dificultats per al càlcul del cabal i el mostreig d'aigües va ser durant el període anticiclònic fred del gener, ja que la pista que dona accés a aquest indret estava completament gelada.

El punt de mostreig es troba a una altura de 1.090 m.

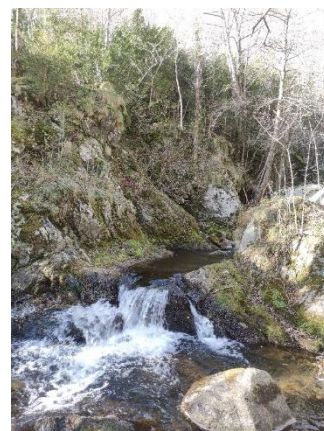


Figura 26. Riu de Núria a Daió.
Elaboració pròpia

4.1.5. Riu Freser (Daió, Queralbs)

El cinquè punt de mostreig forma part de la conca del Freser: de fet, ja és el riu Freser. En aquest punt del seu curs fluvial, el Freser ja ha recollit les aigües procedents de l'Olla de Núria i d'altres valls com la de Coma de Vaca o torrents procedents de la zona Nord del Balandrau. En aquest punt el Freser ja porta un cabal força considerable ($1\text{m}^3/\text{s}$), sobretot a l'època de deglaç.

En aquest punt de mostreig no hi ha hagut gaires complicacions a l'hora de calcular el cabal. El dia que hi va haver més dificultats per al càlcul del cabal i el mostreig d'aigües va ser el mateix que el Riu de Núria, és a dir, durant el període anticiclònic fred del gener.

El punt de mostreig es troba a una altura de 1.050 m.



Figura 27. Riu Freser a Daió. Elaboració pròpia

4.1.6. Riu Freser (Fustanyà, Queralbs)

El sisè punt de mostreig forma part de la conca del Freser. En aquest punt del seu curs fluvial, el Freser recull les aigües de la zona oest de les capçaleres del Freser. Aquestes aigües provenen de la zona del Puig de Dòrria/Puigmal, i baixen al fons de vall a través del Riu de Tosa o de torrents com el torrent de la Fernanda. Aquest punt de mostreig és el que porta un cabal més abundant dintre tots els punts de mostreig.

Juntament amb el de Ter-Camí i Ter-Setcases, aquest punt de mostreig no va presentar cap mena de problema a l'hora de calcular el cabal i agafar mostres d'aigua

El punt de mostreig es troba a una altura de 950 m .



Figura 28. Riu Freser a Fustanyà. Elaboració pròpia

A l' hora de calcular el cabal a tots els punts de mostra es va aplicar la fórmula facilitada pel Dr. Xavi Úbeda a l'assignatura de Tècniques Quantitatives i Qualitatives. La fórmula és el resultat de l'amplada(m) multiplicada per la fondària(m) per la velocitat(m/s).

<u>Riu de Núria</u>	<u>Amplada (m)</u>	<u>Fondària (m)</u>	<u>Velocitat (m/s)</u>	<u>Cabal (m3/s)</u>
03/11/2021	1,5	0,27	0,16	0,0972
14/11/2021	1,55	0,33	0,2	0,15345
18/11/2021	1,65	0,37	0,22	0,201465

Figura 29. Excel amb la fórmula del Cabal i el seu càlcul al punt de mostra de Riu de Núria. Elaboració pròpia

4.2. Treball de laboratori

Per a poder fer l'estudi dels paràmetres fisicoquímics, es van fer servir tota una sèrie de tècniques al laboratori de Geografia Física de la Universitat de Barcelona, a la facultat de Geografia i Història. Aquestes tècniques van ser dictades pel Dr. Xavi Úbeda durant l'assignatura Tècniques Quantitatives i Qualitatives.

En el laboratori es van fer estudis sobre:

- Mesura del pH, amb l'aparell *Crisóm pH-meter GLP 22*, que va estar prèviament calibrat amb les solucions tampó proporcionades al laboratori.
- Mesura de la conductivitat elèctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$, amb un aparell *Crisóm EC-Metro Basic 30*, prèviament calibrat amb les solucions tampó proporcionades al laboratori.
- Mesura de la concentració en mg/l , amb un aparell *Crisóm EC-Metro Basic 30*, prèviament calibrat amb les solucions tampó proporcionades al laboratori.



Figura 30. Crisóm pH-meter GLP 22. Elaboració pròpia



Figura 31. Crisóm EC-Metro Basic 30. Elaboració pròpia

- Anàlisi dels sediments en suspensió a través del filtratge de la mostra amb la bomba de buit Millipore i filtre de 0,45µm.



Figura 32. Anàlisi dels sediments en suspensió, filtrats a través de Millipore. Font: David Calleja

Figura 33. Filtres amb sediments. Elaboració pròpia

Les mostres, un cop filtrades, van ser preparades per a la seva anàlisi als CCiTUB (Centres Científic i Tecnològics de la Universitat de Barcelona).

Els paràmetres analitzats van ser:

1. Zn (Zenc)
2. Fe (Ferro)
3. P (Fòsfor)
4. Mg (Magnesi)
5. Mn (Manganès)
6. Na (Sodi)
7. SiO₂ (Diòxid de silici)
8. Cr (Crom)
9. B (Bor)
10. Al (Alumini)
11. K (Potassi)
12. SO₄ (Sulfat)
13. Ca (Calci)



Figura 34. Mostres ja filtrades i llestes per enviar al CCiTUB. Elaboració pròpia

4.3. Elaboració gràfica i cartogràfica i recerca bibliogràfica

Per elaborar el marc teòric i tota la caracterització de la zona d'estudi, es va dur a terme una recerca bibliogràfica d'articles i llibres relacionats amb temàtiques fluvials i de muntanya. Els documents cartogràfics d'aquesta part del treball han estat elaborats a través d'eines del programa de SIG ARCMAP 10.6.

Quant als gràfics d'evolució del cabal amb els percentils de cada punt de mostreig, es va aplicar la fórmula de percentil 10, 30, 50 i 70, amb la posterior mitjana mòbil de 6 dies per suavitzar els resultats. Les dades obtingudes d'aquests càlculs són fruit de dades històriques proporcionades per l'Agència Catalana de l'Aigua i de la modelització a través de l'eina *topo to raster* del programari SIG ARCMAP 10.6.

Respecte a l'evolució del mantell nival, es va aplicar el càlcul de NDSI, que utilitza les bandes 3 i 6 de les imatges satèl·lit LANDSAT 8 i les bandes 3 i 11 de les imatges satèl·lit SENTINEL 2. Els resultats han estat tractats a través del programari SIG ARCMAP 10.6

Normalized Difference Snow Index (NDSI):

$$\text{NDSI (Landsat 8)} = (B3 - B6) / (B3 + B6)$$

$$\text{NDSI (Sentinel 2)} = (B3 - B11) / (B3 + B11)$$

Figura 35. Fórmula pel càlcul del índex NDSI. Font: earth observin system

El seguiment meteorològic ha sigut elaborat gràcies a les dades proporcionades pel METEOCAT i l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Les dades han estat tractades a través del programari d'*Office Excel*.

5. Resultats

5.1. Propietats químiques de les aigües de les capçaleres del Ter i del Freser

Tenint en compte els estàndars de valors de pH dins la normativa europea, en què trobem un mínim a 6,5 i un màxim de 8,7 (Úbeda et al., 2002), els valors dels punts de mostra de les capçaleres del Ter i del Freser es troben dins els valors acceptables.

El pH més alt el trobem al Riu Ter a l'altura de Setcases, amb un pH de 7,73, seguit del punt de Freser + Riu de Tosa, amb un pH de 7,47. Els pH més baixos els trobem a Riu de Núria i Freser a Daió, amb valors de 7,01 i 6,8 respectivament.

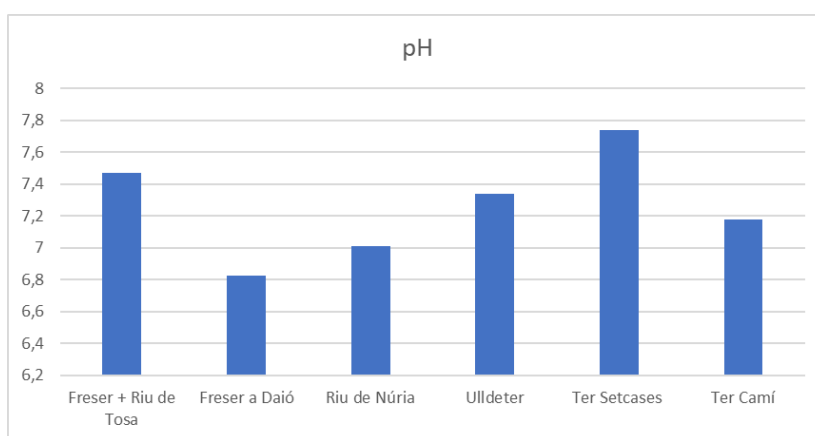


Figura 36. pH en els punts de mostra de l'àrea d'estudi. Elaboració pròpia

La conductivitat elèctrica és una mesura que ens indica la quantitat de dissolts que hi ha en una aigua, tenint com a màxim el valor de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ segons la normativa europea (Úbeda et al., 2002). Com podem veure a la figura 37, els valors dels punts de mostra no arriben a 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Així doncs, la conductivitat elèctrica ens indica que les aigües analitzades tenen una molt baixa concentració en dissolts.

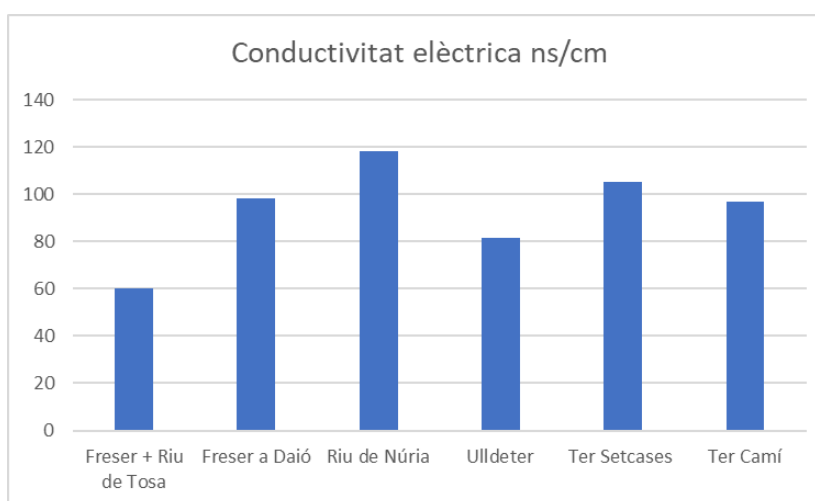


Figura 37. Conductivitat elèctrica en els punts de mostra de l'àrea d'estudi. Elaboració pròpia

La baixa concentració de dissolts és una característica típica de les aigües dels cursos fluvials d'alta muntanya. En el cas dels rius mostrejats de la zona de les capçaleres del Ter i del Freser, no se superen els 60 mg/l (Figura 38)

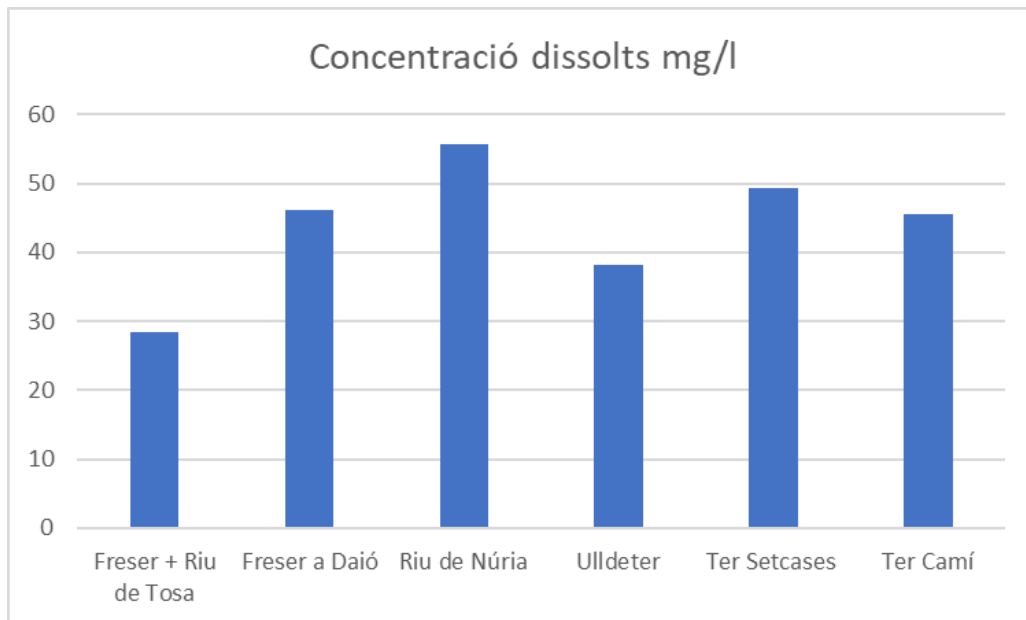


Figura 38. Concentració de dissolts en els punts de mostra de l'àrea d'estudi. Elaboració pròpia

Lloc de mostra	Zn	Fe	P	Mg	Mn	Na	SiO2	Cr	B	Al	K	SO42-	Ca
Freser + Riu de Tosa	0,0055	0,0032	0,0037	4,6361	0,0009	3,9215	3,3150	0,0000	0,0000	0,0101	1,1899	5,2000	29,6321
Freser + Riu de Tosa	0,0072	0,0036	0,0000	5,1690	0,0006	3,4125	3,2533	0,0000	0,0000	0,0113	0,9075	4,8842	32,1207
Freser + Riu de Tosa	0,0085	0,0055	0,0004	4,7249	0,0007	4,4558	3,0329	0,0000	0,0000	0,0000	1,8204	4,8768	29,7485
Freser a Daió	0,0096	0,0061	0,0020	2,5467	0,0011	3,6787	2,8400	0,0000	0,0000	0,0147	1,2586	3,8337	21,7277
Freser a Daió	0,0039	0,0020	0,0000	2,7353	0,0006	3,5559	2,9003	0,0000	0,0000	0,0000	0,8685	4,0068	22,7129
Freser a Daió	0,0023	0,0031	0,0078	2,4239	0,0001	2,6717	2,7285	0,0000	0,0000	0,0034	0,8449	3,6237	22,1628
Riu de Núria	0,0139	0,0043	0,0000	2,5538	0,0017	4,6104	2,6461	0,0000	0,0000	0,0000	1,6510	5,3932	21,1191
Riu de Núria	0,0018	0,0025	0,0069	2,2354	0,0003	1,9171	2,7708	0,0000	0,0000	0,0091	0,3715	4,0418	20,4013
Riu de Núria	0,0016	0,0010	0,0111	2,3420	0,0005	2,6252	2,1723	0,0000	0,0000	0,0000	0,7811	4,6651	21,3876
Ter - Camí	0,0106	0,0035	0,0000	1,9173	0,0007	4,6439	3,3932	0,0000	0,0002	0,0017	0,9880	1,2146	12,2905
Ter - Camí	0,0008	0,0013	0,0030	2,2316	0,0005	6,6789	3,4757	0,0000	0,0000	0,0000	0,7620	1,8293	13,0321
Ter - Camí	0,0010	0,0004	0,0217	1,7743	0,0004	3,7370	3,3467	0,0000	0,0000	0,0115	0,4952	1,2941	11,7292
Ter - Setcases	0,0032	0,0031	0,0033	2,2543	0,0008	4,3031	3,9462	0,0000	0,0000	0,0000	0,6388	1,6570	15,5130
Ter - Setcases	0,0055	0,0038	0,0026	1,9773	0,0011	3,6831	3,7826	0,0000	0,0000	0,0006	0,8072	1,6926	15,0468
Ter - Setcases	0,0015	0,0058	0,0102	1,8722	0,0000	3,9844	3,9016	0,0000	0,0000	0,0000	0,8164	1,6629	14,0332
Ter - Setcases	0,0015	0,0094	0,0153	2,0231	0,0002	3,2424	3,8966	0,0000	0,0000	0,0000	0,4531	1,8861	15,4408
Ulldeter	0,0136	0,0042	0,0000	0,6347	0,0010	3,6033	2,6265	0,0000	0,0000	0,0000	1,0502	0,7267	6,6460
Valors guia (ppm o mg/l)	0 - 0,033	0 - 0,05	0 - 0,4	0 - 30	0 - 0,01	0 - 20	0-5	0	0-1	0 - 0,24	0 - 10	0 - 25	0 - 100
Conc. màx. Admissible (ppm o mg/l)	0,033-5	0,05-0,2	0,4-5	30-50	0,01-0,05	20 -150	5_25	0-0,1	1-1,1	0,24-0,3	10_12	25-250	100-200
Excessiu (ppm o mg/l)	>5	>0,2	>5	>50	>0,05	>150	>25	>0,1	>1,1	>0,3	>12	>250	>200

Figura 39. Resultat de l'anàlisi de les aigües dels punts de mostra de l'àrea d'estudi. Elaboració pròpia

Les aigües recollides als diversos punts de mostra han estat analitzades per poder veure els elements químics dissolts a l'aigua, fixant-nos en els següents elements: Zn (Zenc) Fe (Ferro) P (Fòsfor) Mg (Magnesi) Mn (Manganès) Na (Sodi) SiO₂ (Diòxid de silici) Cr (Crom) B (Bor) Al (Alumini) K (Potassi) SO₄₂ (Sulfat) Ca (Calci).

A la figura 39 podem observar els valors dels diferents elements en comparació amb una sèrie de lliminars que ens serveixen de referència per analitzar la qualitat de l'aigua i les seves característiques.

Al ser aigües procedents de zones muntanyoses, és normal que les aigües estiguin totes dins el lliminar de valors guia, és a dir, valors que indiquen que l'aigua es troba en un molt bon estat ja que no presenten cap excedent d'elements químics dissolts a l'aigua.

Gràcies a la qualitat d'aquestes aigües i les seves característiques, podem considerar els rius de la zona de les Capçaleres del Ter i del Freser com uns rius totalment naturals (Directiva 2000/60/CE: Marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política d'Aigües. DMA)

5.2. Evolució de la temporada meteorològica (Novembre 2021 – Maig 2022)

La temporada meteorològica d'entre novembre 2021 i maig 2022 ha tingut de tot, ja sigui fortes nevades, períodes d'absència de precipitacions molt extensos, temperatures càlides en període plenament hivernal, temperatures molt baixes fora del període hivernal. A la figura 40 i 41 es pot veure la temperatura mitjana diària de l'estació de Núria. L'evolució de la temperatura mostra clarament les diferents situacions que hem tingut al llarg de la temporada.

A nivell tèrmic, el primer episodi destacable el vam tenir durant el mes de novembre, en què la temperatura mitjana diària es va situar per sota dels -5°C , un valor força anòmal per a l'època de l'any. Un mes més tard vam tornar a tenir un episodi destacable respecte a la temperatura, però en aquest cas per una anomalia càlida, provocada per un anticicló càlid que va fer acte de presència a finals d'any en l'àmbit peninsular. Durant l'hivern, la tònica anticiclònica ha estat predominant i, com podem observar a les figures 40 i 41, hi anava havent una successió d'anticiclons càlids i freds. El tercer episodi destacable el vam tenir a principis d'abril, on es va arribar a registrar una temperatura mitjana diària inferior als -10°C , rècord aleshores tenint en compte l'època de l'any. Hi va haver moltes estacions automàtiques del Pirineu que van batre records de temperatura negativa durant aquesta entrada freda de principis d'abril; de fet, a Núria, les temperatures mínimes més baixes durant el període d'anàlisi es van enregistrar durant aquest episodi de l'abril. Posteriorment, les temperatures es van anar recuperant progressivament assolint valors més normals per a l'època de l'any, fins que al maig vam tenir una entrada càlida molt destacable, que també va fer batre records a diverses estacions automàtiques del territori.

Així doncs, la temperatura més baixa enregistrada la trobem al mes d'abril, i la més alta al mes de maig. Cal remarcar que a la tardor també es va enregistrar una temperatura mitjana mínima més baixa que durant tot l'hivern.

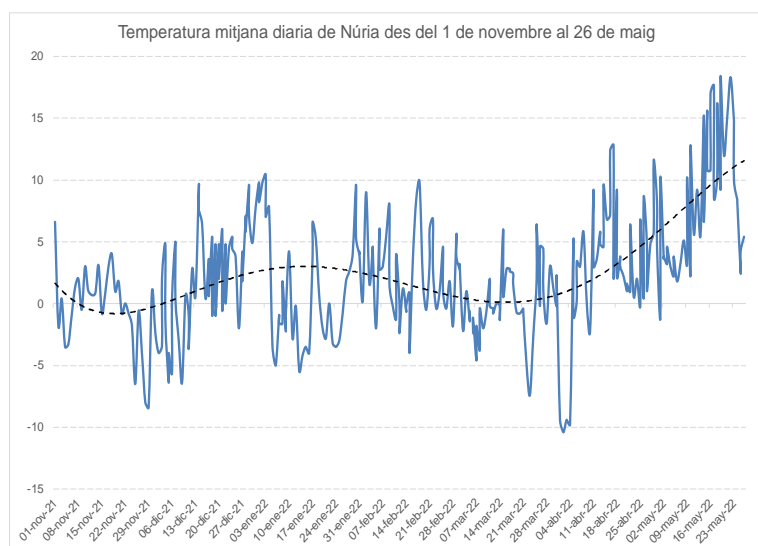


Figura 40. Temperatura mitjana diària a Núria des del 1 de novembre al 26 de maig. Elaboració pròpia a través de les dades del METEOCAT

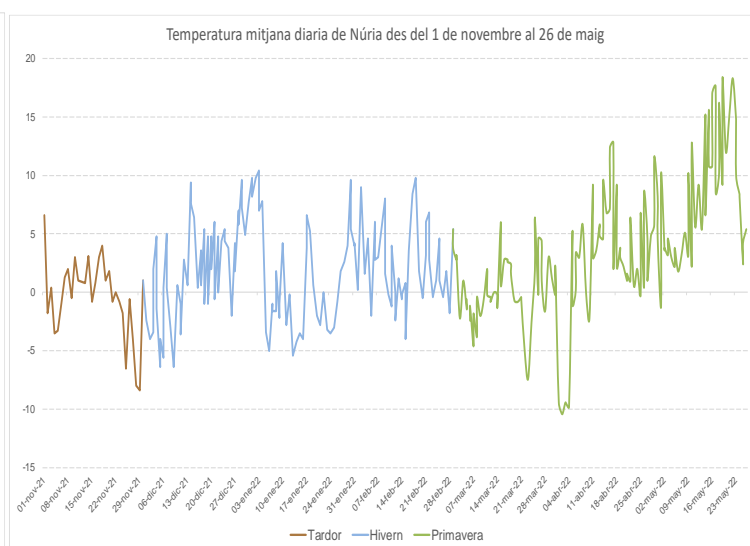


Figura 41. Temperatura mitjana diària de Núria des del 1 de novembre al 26 de maig. Elaboració pròpia a través de les dades del METEOCAT.

Pel que fa al gruix de neu , el màxim de la temporada a Núria el vam trobar durant l'episodi de desembre, amb un màxim de 53 cm acumulats. El total de neu recent de l'estació de Núria ronda els 280 cm.



Figura 43. Gruix de neu sobre el terra i gruix de neu acumulat a Núria en cm. Elaboració pròpia

Si comparem els registres nivològics d'aquesta temporada amb la mitjana climàtica i els diversos percentils, podem veure que ha estat una temporada d'extremes. Durant l'episodi de novembre i desembre, es van superar els percentils 90 en els dos llocs de mesura de gruix de neu de referència, i en el cas de Pastuira, aquest percentil 90 va durar fins a mitjans de gener. En el cas de Núria no va ser tan llarg, i ràpidament va tornar a valors normals de la mitjana; quan a Pastuira encara es trobava en el percentil 90, Núria ja es trobava per sota de la mitjana. Aquest fet és degut a la gran diferència de quantitat de neu que va caure durant els episodis de novembre i desembre als dos llocs. A partir de mitjans de gener ambdues estacions van començar a veure com el gruix de neu anava disminuint progressivament, i en funció de les característiques de l'anticicló, a un ritme o un altre. Finalment, a mitjans de febrer la neu al sòl va desaparèixer per complet a l'observatori de Núria, ja que des de mitjans de gener que no hi nevava, i el gruix de neu des d'aleshores ja es trobava en percentils 30 i fins i tot 10. El cas de Pastuira és calcat al de Núria, tot i que la neu va aguantar uns dies més. Fins l'episodi del 12 de març, la innivació va ser inexistent, però amb les contundents nevades dels dos episodis de març, tots dos llocs van tornar a valors de percentil 70. A Pastuira es va arribar a superar el mig metre de neu, mentre que a Núria es va arribar als 30 cm. Després d'aquesta nevada, les temperatures primaverals i la irradiació solar van fondre ràpidament el mantell nival, aproximadament en 5 dies. L'última nevada també va afectar més al sector de Pastuira, que va tornar a superar el percentil 70, mentre que Núria es va quedar amb poc més de la mitjana.

La temporada doncs ha estat molt bona durant la tardor, molt deficient durant l'hivern i normal durant la primavera, sempre tenint en compte els registres climàtics històrics. El màxim gruix de neu al terra l'hem trobat a principis de desembre.

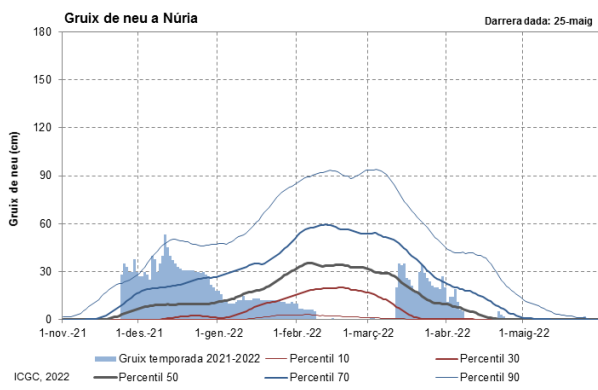


Figura 44. Evolució del gruix de neu a Pastuira (2021-2022). Font: ICGC

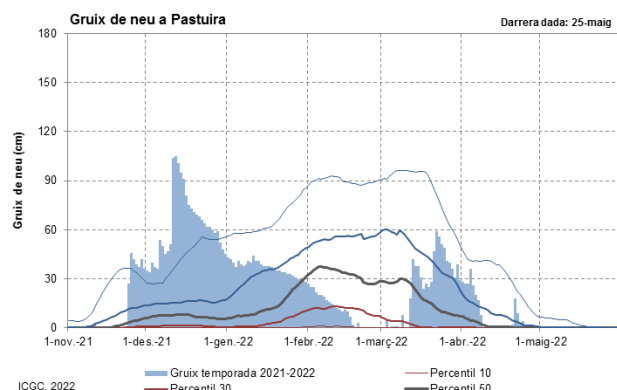


Figura 45. Evolució del gruix de neu a Núria (2021-2022). Font: ICGC

El grau de *Perill d'allaus* és un bon indicador de com ha estat la temporada meteorològica a muntanya, ja que hi ha una forta relació entre els fenòmens meteorològics i el grau de perill. Com més activitat meteorològica, més possibilitats de situacions perilloses pel que fa a les allaus, i com menys activitat, menys possibilitat de situacions perilloses. Per exemple: en una situació anticiclònica de llarga durada, el grau de perill normalment se situa a 1 i, com a molt, 2 en alguna zona en concret a causa de factors previs a aquest anticicló; en canvi, durant episodis d'abundants precipitacions, vent, oscil·lació de temperatura... el grau de perill se sol situar a nivells 2, 3 i com a molt 4, ja que el 5 és dona molt poc sovint, ja que és un nivell molt extrem (aquest any hem tingut un 5 a l'Aran durant l'episodi de desembre).

Aquesta temporada el grau de perill 1 ha estat molt superior a la mitjana (1993-2021), la qual cosa ens indica que el conjunt de la temporada ha estat força tranquil. Un altre indicador de la tranquil·litat meteorològica que hem viscut és el grau de perill 3, que ha estat molt inferior a la mitjana (1993-2021).

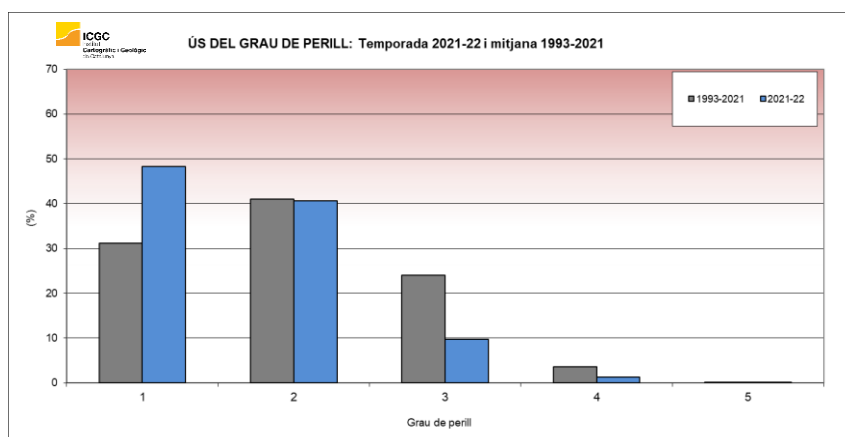


Figura 46. Ús del grau de perill d'allaus de la temporada 2021-2021 i comparació amb la mitjana 1993-2021. Font: ICGC

Pel que fa al Ter-Freser, zona nivoclimàtica de les capçaleres del Ter i del Freser respecte a les allaus, podem observar com la temporada va començar força moguda, amb valors de perill 2-3 durant l'episodi de novembre i de desembre. Després d'aquests episodis, el grau de perill no es va moure de l'1, a causa de l'estabilitat meteorològica existent. El grau de perill va tornar al 3 en dies comptats gràcies als episodis de març i el de finals d'abril, i el grau 2 va substituir el grau 1.

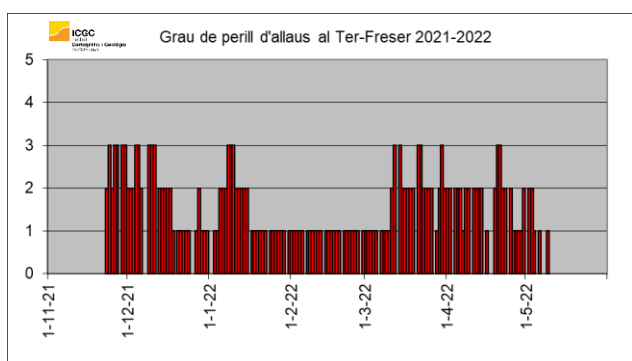


Figura 47. Grau de perill d'allaus al Ter – Freser (2021-2022). Font: ICGC

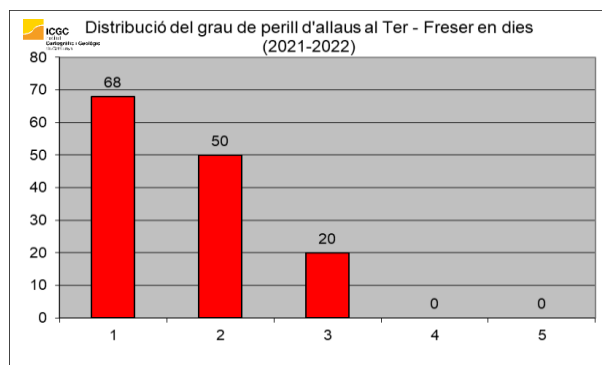


Figura 48. Distribució del grau de perill d'allaus al Ter – Freser en dies (2021-2022). Font: ICGC

5.3. Seguiment al camp de la temporada meteorològica

3 de novembre

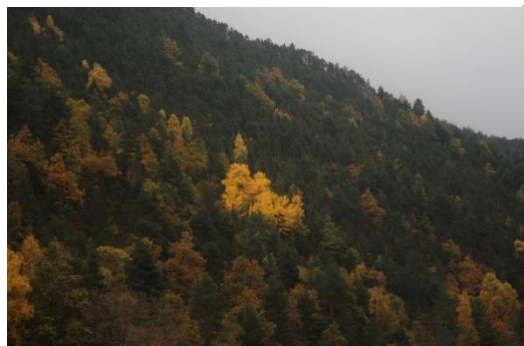


Figura 49. Vegetació a la tardor a la conca del Freser. Elaboració pròpia



Figura 50. Primera enfarinada a la conca del Ter. Elaboració pròpia



Figura 51. Riu de Núria a 3 de novembre. Elaboració pròpia

El primer dia de treball de camp (3 de novembre) va coincidir amb la primera nevada de la temporada, que va ser purament anecdòtica, ja que només va durar unes poques hores i els gruixos acumulats no van superar els 10cm. Va afectar més a la conca del Ter que a la del Freser i al cap de dos dies ja no quedava pràcticament neu al sòl. A la imatge es pot observar un torrent en el moment en el que la neu ja començava a agafar.

En aquell moment de la temporada ens trobàvem al bell mig de la tardor i, com podem observar a la figura 49, els arbres encara es troben en el procés de canvi de fulla.

14 de novembre



Figura 52. Sòl completament cobert i torb a Vallter. Elaboració pròpia



Figura 53. Efecte del torb a Vallter. Elaboració pròpia

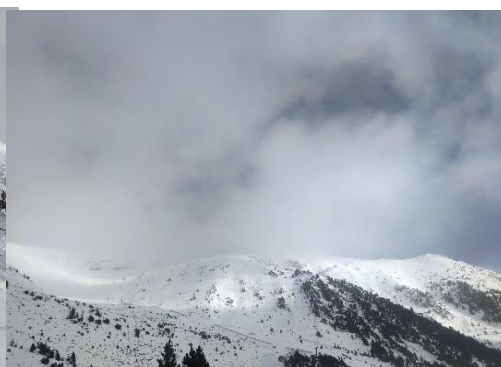


Figura 54. Efecte del Torb al Pic de la Dona. Elaboració pròpia

El segon dia de treball de camp (14 de novembre) ja vam trobar la presència de força neu a cotes altes, degut a la nevada del dia 11 de novembre, que va deixar un màxim de 40cm a cota 2400 (XEMA Marmotes) A la imatge també es pot observar el torb, fenomen meteorològic molt freqüent a la zona d'estudi. Els episodis de fort vent posteriors a grans nevades són molt transcendentals a l'hora de generar sobreacumulacions en indrets concrets.

17 de novembre

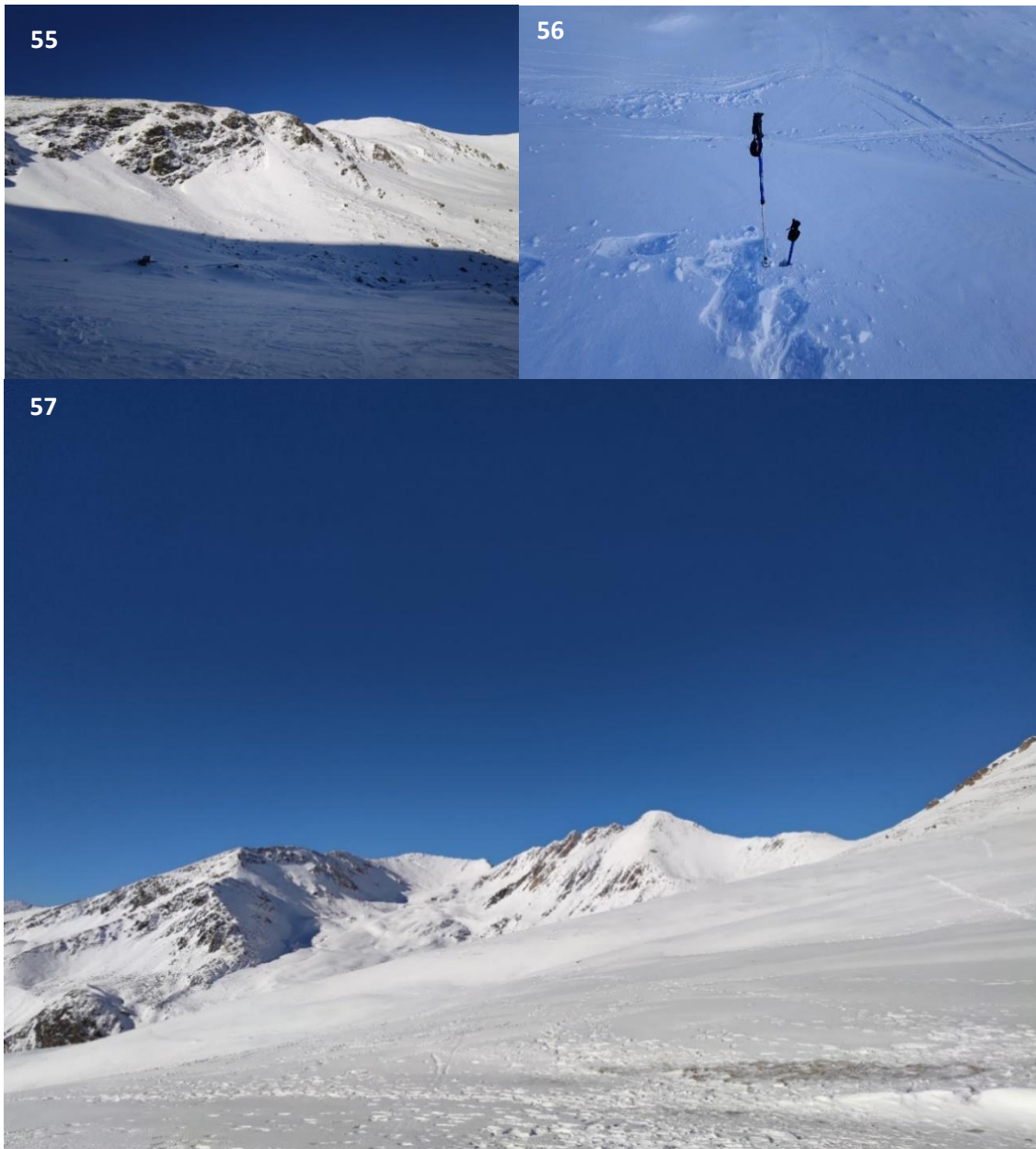


Figura 55. Coll de la Marrana cobert de neu. Elaboració pròpia

Figura 56. Pal enfonsat a causa de la gran quantitat de neu. Elaboració pròpia

Figura 57. Vall de Tirapits completament nevada. Elaboració pròpia

El 17 de novembre podem observar com la innivació a 2.500 m és total, amb uns gruixos de més de 70cm, puntualment superiors en zones d'acumulació (Figura 56). Aquesta nevada ha fet que els punts on els rius estudiats tenen el seu naixement comencin a acumular bones quantitats de neu que serviran de reserva d'aigua de cara a la primavera. A la figura 57 podem observar la vall de Tirapits completament nevada, amb el Pic del Freser destacant al centre de la imatge.

A la figura 55 podem observar el Coll de la Marrana cobert completament de neu gràcies a les nevades dels últims dies. La gran acumulació de neu dona lloc a les primeres purgues de la temporada.

25 de novembre



Figura 58. Carretera a Vallter 2000 completament nevada. Font: ICGC

Figura 59. Perfil estratigràfic a Vallter. Font: ICGC

Figura 60. Vallter i el Pla de Mentet completament nevats. Font: ICGC

Figura 61. Gra de Fajol cobert de neu. Font: ICGC

Aquest era el paisatge hivernal que presentava la zona del Vallter el dia 25 de novembre, on es pot observar la neu recent als arbres (Figura 58) a una cota relativament baixa (1.700-1.800 m) i també la gran quantitat de neu a cota alta, destacant la figura 61, on podem observar la Cara Nord del Gra de Fajol completament nevada

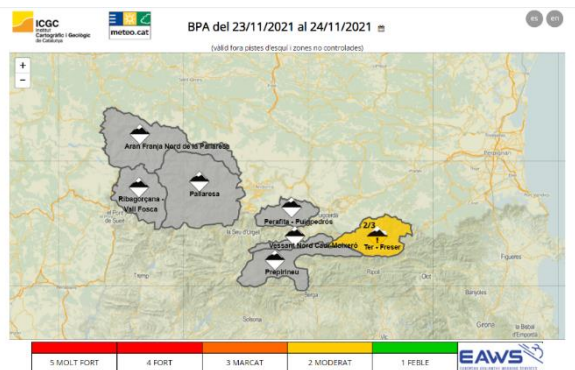


Figura 62. BPA del dia 23 de novembre de 2021. Font: ICGC

A la figura 62 podem veure l'elaboració d'un perfil estratigràfic per part dels companys de la Unitat de Predicció d'allaus de l'institut cartogràfic i geològic de Catalunya, ja que, com a conseqüència d'aquesta nevada, es va començar el seguiment nivològic per analitzar l'estabilitat del mantell. El primer butlletí de la temporada només va tenir com a zona destacada dintre la perillositat i risc d'allaus la zona del Ter-Freser, remarcant així la forta incidència de l'episodi de neu que va viure aquesta zona en concret.

27 de novembre

Aquest era l'aspecte de la Vall del Freser després de la nevada de dies anteriors. La presència de neu és molt superior a l'habitual per l'època de l'any. A partir del dia 27 el vent va fer acte de presència i el fenomen del torb va ser més que present, ja que la quantitat de neu disponible per ser transportada era molt elevada.



Figura 63. Vall del Freser després d'una abundant nevada. Font: ICGC

28 de novembre



Figura 64. Efecte del Torb al Torreneules. Elaboració pròpia

Figura 65. Riu de Núria a dia 28 de novembre. Elaboració pròpia

Figura 66. Riu Freser a Fustanyà a dia 28 de novembre. Elaboració pròpia

El 28 de novembre el dia es presentava assolellat, però amb la presència de fort vent. Com podem observar a la figura 64, la neu caiguda de nou els dies anteriors es veu aixecada per aquest fort vent, fet que causa el transport de neu que a la llarga deixaria descobertes les carenes més afectades. El vent també és un problema a l' hora de calcular el cabal, tot i que no a tots els llocs. En el cas del Riu de Núria (Figura 65), a l' estar ubicat en una zona molt estreta i arrecerada, el vent no va modificar en cap cas el càlcul de la velocitat de l'aigua; en canvi, a l' aiguabarreig del Freser amb el Riu de Tosa (Figura 66), el vent sí que va dificultar moltíssim el càlcul de la velocitat de l'aigua.

9 de desembre



Figura 67. Fenomen del Torb a la vall de Coma de l'orri. Font: ICGC

El 9 de desembre es va viure un intens episodi de torb a la zona, ja que es va produir una forta entrada de nord i hi havia una gran quantitat de neu recent al sòl. En aquesta imatge es pot veure de forma clara l'efecte del torb, en aquest cas a la vall de Coma de l'orri. La quantitat de neu que és capaç de moure el vent en funció de poc temps fa que el paisatge sigui canviant en funció de dies. El torb genera acumulacions a zones d'acumulació i deixa pelades les carenes afectades. Per exemple, en aquest episodi de nord, les cara nord veuen disminuïda la quantitat de neu al sòl, però les cara sud veuen com el mantell queda intacte o fins i tot augmenta.

12 de desembre



Figura 68. Efecte del vent sobre el mantell nival. Font: ICGC



Figura 69. Allau de neu ventada al Pic de la Dona. Font: ICGC

Després de les fortes i intenses nevades viscudes el 10 i 11 de desembre vam tenir un episodi fort de vent. En aquesta imatge del dia 12 de desembre podem observar l'efecte del vent en aquest bloc de neu. El vent, després de grans nevades, afavoreix la sobreacumulació de neu, la qual cosa provoca grans alteracions del mantell nival. Malauradament no va ser possible fer treball de camp durant les nevades degut a les condicions meteorològiques adverses.

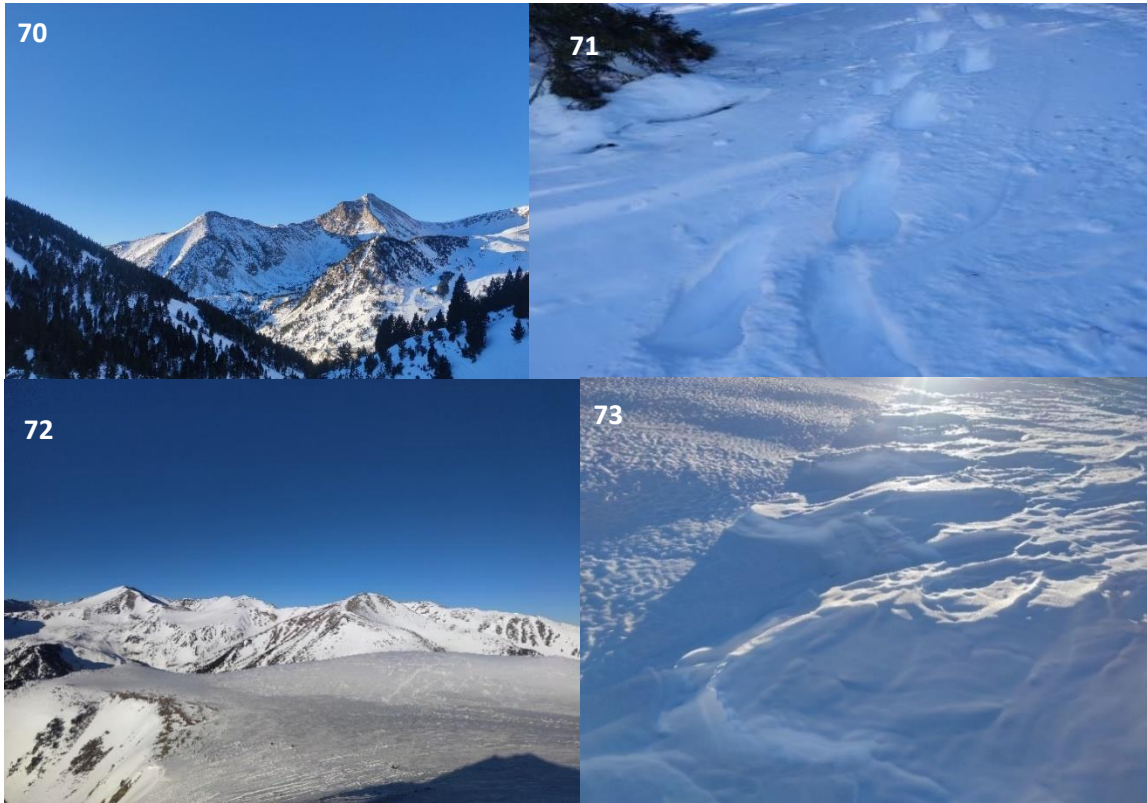


Figura 70. Dia anticiclònic amb vistes als Grans de Fajol. Elaboració pròpia

Figura 71. Passes sobre neu pols a l'obaga del torrent de Mentet. Elaboració pròpia

Figura 72. Dia anticiclònic amb vistes al Bastiments i al Pic de la dona. Elaboració pròpia

Figura 73. Mantell nival regelat i amb afectació pel vent. Elaboració pròpia

Amb el pas dels dies i l'absència de noves precipitacions i la presència de vent intens i temperatures baixes, veiem com el mantell nival varia en funció de l'orientació i cota.

A la figura 70 trobem els dos Grans de Fajols amb la seva tartera i més a la dreta el Coll de la Marrana, i ja podem observar com el mantell nival comença a quedar descobert, ja que es veuen els rocs de la tartera.

Quant a les diferències de la qualitat i quantitat de la neu, hi ha una clara variació entre les solanes i les obagues, ja que mentre a les obagues trobem un mantell força considerable pel que fa referència a gruix i que s'enfonsa (Figura 71) a les solanes trobem un mantell regalat i clarament afectat pel vent. També s'ha de tenir en compte altres factors com l'altitud (Figura 72)

El vent d'aquests dies ha estat clarament de component nord, i això es reflecteix en les carenes muntanyoses, on veiem les del nord més pelades i les del sud amb el mantell completament intacte, o fins i tot amb més neu que els dies anteriors, gràcies a les acumulacions que ha propiciat el vent.

9 de Gener



Figura 74. 60 cm de gruix de neu a l'obaga de Pastuira (9 de Gener). Elaboració pròpia



Figura 75. Formacions de Gel causades per les baixes temperatures de principis d'any. Elaboració pròpia



Figura 76. Roc gelat a causa de les baixes temperatures de principis d'any. Elaboració pròpia

Ja fa força dies que no neva i que les altes pressions són les clares dominadores a nivell sinòptic. En el cas del dia 8 de gener, ens trobàvem dins un període d'anticicló fred, fet que va fer congelar alguns sectors pròxims als rius. A la figura 76 podem observar una pedra d'uns 20x30cm del Riu Ter a l'altura de Setcases, on es veu clarament com l'aigua que li passa per sobre ha quedat completament congelada. A la figura 75 trobem també figures de gel, en aquest cas al Riu de Núria.

Tot i que ja fa 3 setmanes que no neva, les baixes humitats provocades per la inversió tèrmica de l'anticicló fan que el mantell nival aguanti prou bé. A la figura 74 trobem el gruix de neu al bosc de Pastuira (2050m), on en aquell moment hi havia uns 55-60cm.

13 de Gener

L'absència de nevades és ben visible a totes les orientacions de la zona. En aquesta imatge podem observar una orientació Nord-Est pròxima a la Vall de Núria. El mantell nival és molt escàs i discontinu

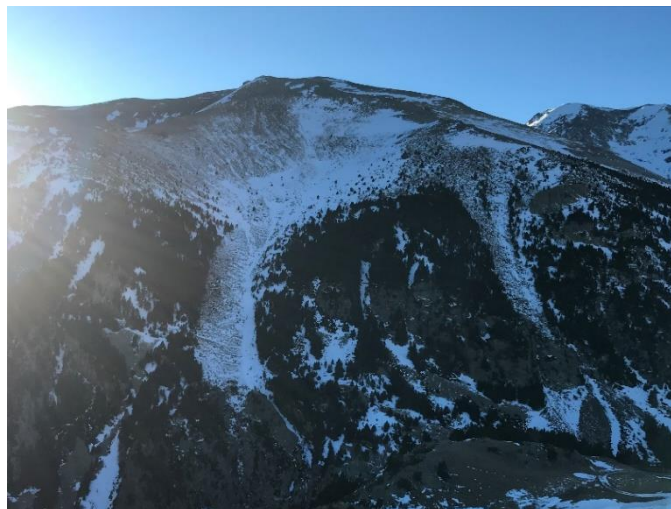


Figura 77. Cara nord-est a la Vall de Núria, amb un mantell irregular. Font: ICGC

28 de Gener



Figura 78. Vall de Noufonts amb el Puigmal al fons. Font: ICGC

En aquesta imatge es veu en primer pla el cim més alt de la zona, el Puigmal (2913m). Com podem observar, el mantell nival té una distribució molt desdibuixada, tot i que hi ha zones on hi ha força continuïtat. Aquestes zones són les que presenten millors característiques per acumular neu degut a la seva condició geogràfica. L'exemple clar de zona d'acumulació pròxima a la Vall de Núria el tenim al sector de la Coma de l'embut, zona que queda entre el Pic del Puigmal i el Pic del Segre. Aquesta zona està totalment nevada, amb uns gruixos que poden arribar fins al metre. La imatge està realitzada des de la Vall de Noucreus, zona on també es produeixen acumulacions a causa de les seves característiques geogràfiques.

La zona de Coma de l'embut és molt interessant a nivell geomorfològic degut a les seves característiques d'origen glacial.

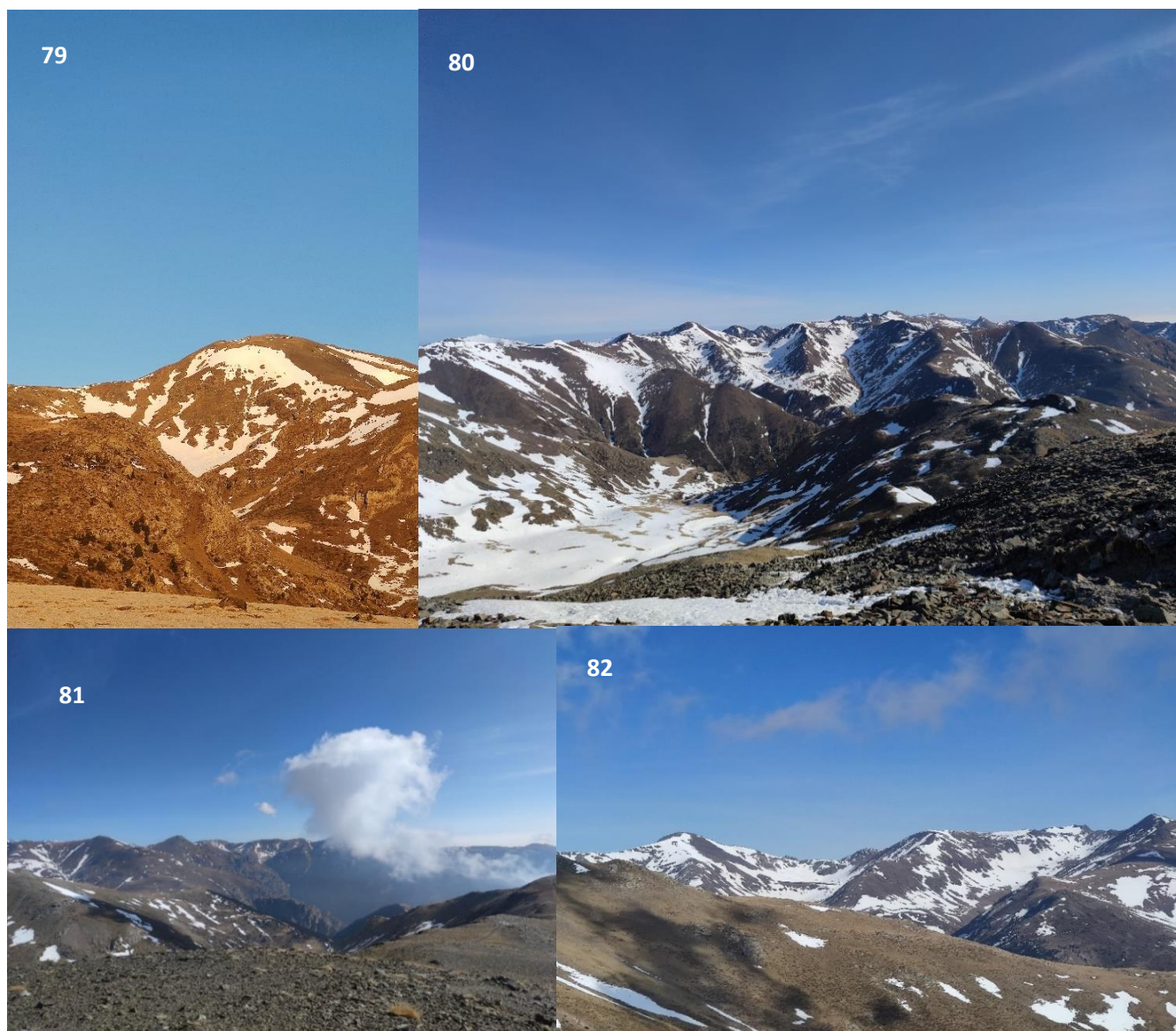


Figura 79. Cim del Puigmal, cara Sud. Elaboració pròpia

Figura 80. Coma de l'embut i l'olla de Núria. Mantell irregular. Elaboració pròpia

Figura 81. Vessant Sud de l'olla de Núria. Presència de neu molt testimonial. Elaboració pròpia

Figura 82. Zona nord-est de l'Olla de Núria, amb un mantell irregular. Elaboració pròpia

Ja fa dos mesos que no hi ha precipitacions significatives a la zona a causa de la presència de forts anticiclons. L'única variable meteorològica que ha variat des del desembre ha estat la temperatura, ja que hi ha hagut força variabilitat tèrmica en funció de la setmana, passant de jornades molt càlides a jornades completament gèlides. La neu segueix fent acte de presència a les zones d'acumulació típiques de la zona i sobretot a les obagues. Com podem veure a les figures 81 i 82 la presència de neu a les orientacions solanes és pràcticament testimonial, ja que trobem un mantell nival molt desdibuixat i irregular.

18 de Febrer



Figura 83. Riu de Núria a 3 de novembre. Elaboració pròpia



Figura 84. Riu de Núria a 18 de febrer. Elaboració pròpia

A la figura 83 podem observar el curs fluvial del Riu de Núria a dia 3 de novembre, i a la figura 84 el mateix curs fluvial però a dia 18 de febrer. Gràcies a la vegetació que hi ha a la llera del riu, es pot observar el clar retrocés de l'aigua en circulació, ja que l'absència de precipitacions està sent molt notòria, fet que provoca un descens del cabal dels rius de la zona.

22 de Febrer



Figura 85. Gra de Fajol i coll de la marrana a 22 de febrer. Font: ICGC

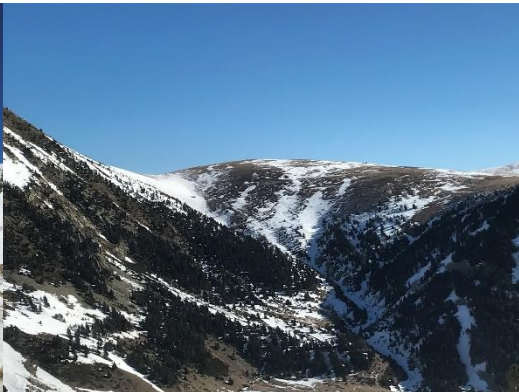


Figura 86. Torrent de Mentet a 22 de febrer. Font: ICGC

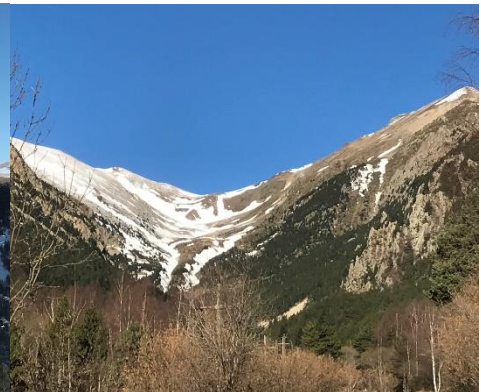


Figura 87. Vall de coma de L'orri a 22 de febrer. Font: ICGC

Els dies avancen i les precipitacions no arriben. Com podem observar a les figures 85, 86 i 87, el mantell nival segueix sent molt irregular i desdibuixat, la qual cosa ve a ser la crònica de l'hivern 2021 -2022. L'únic destacable són les diferències entre les orientacions sud i nord quant a la presència de neu

Episodi de Març (12-13)



Figura 88. Cara sud del Torreneules després d'una forta nevada el dia 12 de març. Elaboració pròpia

Figura 89. Carretera de Vallter2000 a l'altura de Pastuira després d'una forta nevada el dia 12 de març. Elaboració pròpia

Figura 90. Neu recent caiguda el 12 de març. Elaboració pròpia

Figura 91. Riu Ter nevad a cota 1200, al costat del camí de Vallter2000. Dia 12 de març. Elaboració pròpia

Figura 92. Zona est del camí de Vallter totalment nevada. Dia 12 de març. Elaboració pròpia

Figura 93. Zona sud-oest del torrent de mentet totalment nevada. Dia 12 de març. Elaboració pròpia

El març va representar la salvació de la temporada juntament amb el novembre a nivell de precipitació. Per sort, vam poder ser presents al camp per poder analitzar l'impacte dels dos episodis de precipitació abundant que es van produir durant aquest mes.

La primera tongada de precipitacions la vam tenir durant l'11 i 12 de març, en què es van acumular fins a més de 50 cm a cota 2.400 en amunt. La nevada també va ser molt generosa a cota baixa ja que, com podem observar a la figura 91, la neu va arribar a cota 1.100, on tenim diversos punts de mostra com el de Ter-Camí o Freser a Daió. Per poder fer els càlculs del cabal a tots els punts de mostra, vam posar rumb al matí a Vallter i a la tarda a Queralbs.

La nevada va ser impressionant en tots els sentits, ja que va durar pràcticament tot el dia 12, i va tornar l'estampa hivernal a una zona que patia un dèficit hídric important, ja que feia més de 2 mesos que no hi havia un episodi de precipitació superior als 10mm.



Figura 94. Cara nord del Gra de Fajol i pistes d'esquí de Vallter2000 amb molta presència de neu recent de la nevada del dia 12 de març. Font: ICGC

Aquest és l'aspecte que presentava la zona d'Ulldeter i del Nord del Gra de Fajol després de la nevada intensa de tot el cap de setmana. Gràcies a aquest episodi, el paisatge hivernal va tornar a la zona, ja que feia més de 3 mesos que no hi havia precipitacions superiors als 5 mm en 24h.

Episodi de Març (21-22)

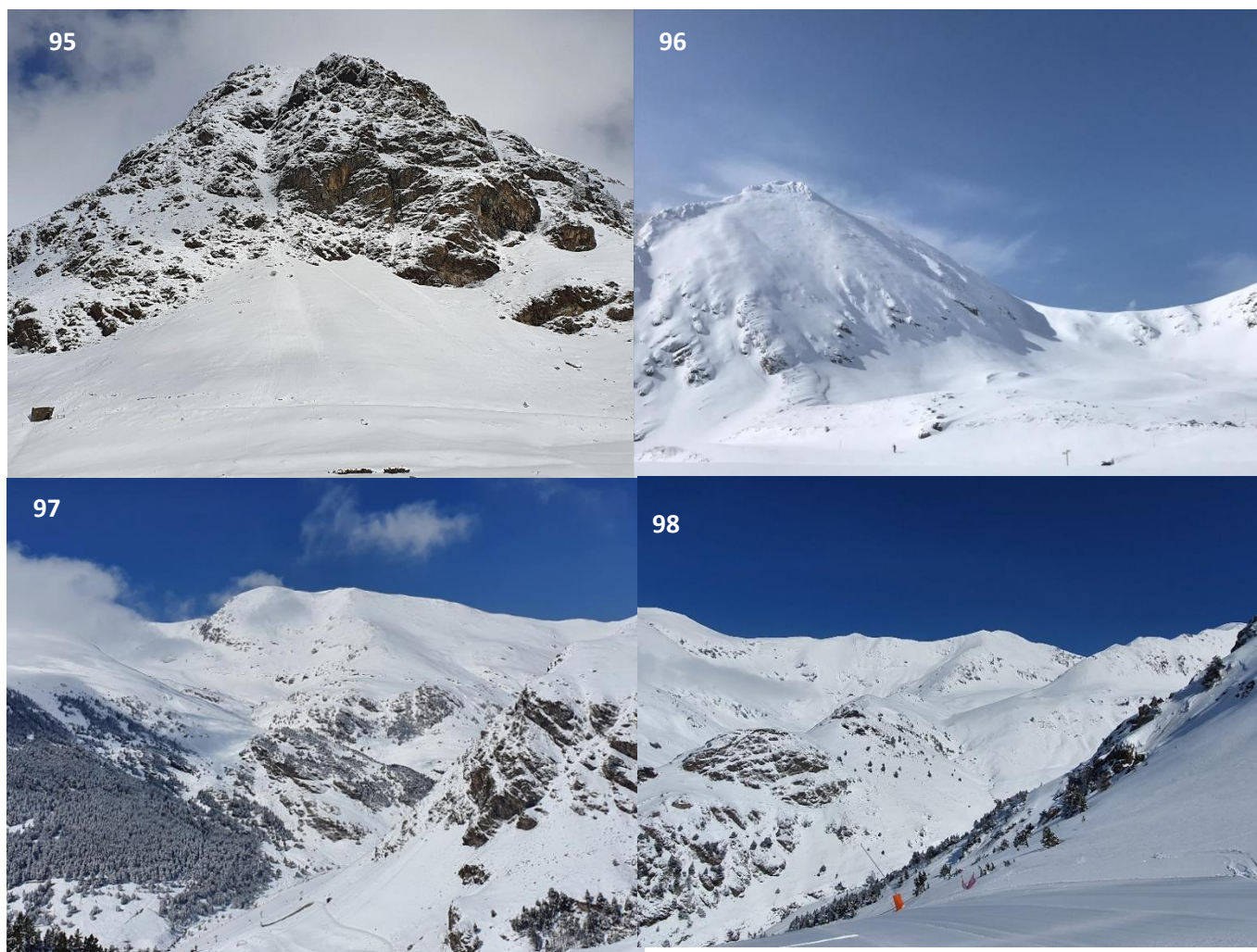


Figura 95. Cara Sud de Núria amb un allau. Força neu recent. Dia 22 de març. Font: ICGC

Figura 96. Cara Nord del Gra de fajol i Coll de la Marrana amb força neu recent. Dia 22 de març. Font: ICGC

Figura 97. Zona est de la Vall de Núria amb força neu recent. Dia 22 de març. Font: ICGC

Figura 98. Zona nord-est de la Vall de Núria amb força neu recent. Dia 22 de març. Font: ICGC

10 dies després vam tenir una segona tongada de precipitacions abundants en forma de neu a la zona. De fet, quant a acumulació van ser superiors, tot i que la cota de neu va ser uns 200 m superior. Com podem veure a les imatges, el paisatge hivernal és total, ja que el mantell nival és abundant en totes les orientacions i en totes les cotes superiors als 1.900 m. A la figura 96 podem veure el Coll de la Marrana amb el Nord del Gra de Fajol, on podem observar que les condicions són similars a les de fa 10 dies enrere. A la figura 97 i 98 podem veure les zones més elevades de la Vall de Núria. A la figura 98, veiem la Zona de Noufonts-Noucreus amb una presència de neu immillorable, i a la figura 97 podem veure com la vegetació de la zona ha quedat completament coberta de neu.

Finalment, a la figura 95 podem veure la característica muntanya de Núria (Roc de la Malè) completament coberta de neu, i també s'observen petites purgues provocades per la gran quantitat de neu acumulada.

8 d'abril



Figura 99. Cara Nord del Gra de Fajol petit a 8 d'abril.
Elaboració pròpia



Figura 100. Cara sud-oest del Pic de la dona a 8 d'abril.
Elaboració pròpia

En aquesta imatge del 8 d'abril podem observar com les nevades de març encara tenen presència a Cota mitjana-alta. El fet de que la neu s'hagi conservat tan bé és degut a l'episodi d'una entrada freda molt poc habitual per l'època de l'any, on es va arribar a temperatures de fins a -15 graus a llocs com Núria o Ulldeter (XEMA).

27 d'abril



Figura 101. Vall del Freser a 27 d'abril. Elaboració pròpia



Figura 102. Vall de Coma de Vaca a 27 d'abril. Elaboració pròpia

En aquestes dues imatges podem observar la vall de Coma de Vaca (Figura 102) i la vall del Freser (Figura 101) després de la nevada del passat 23 d'abril. La nevada va ser força destacable tenint en compte l'època de l'any, deixant una bon gruix de neu a cota alta.

11 de maig

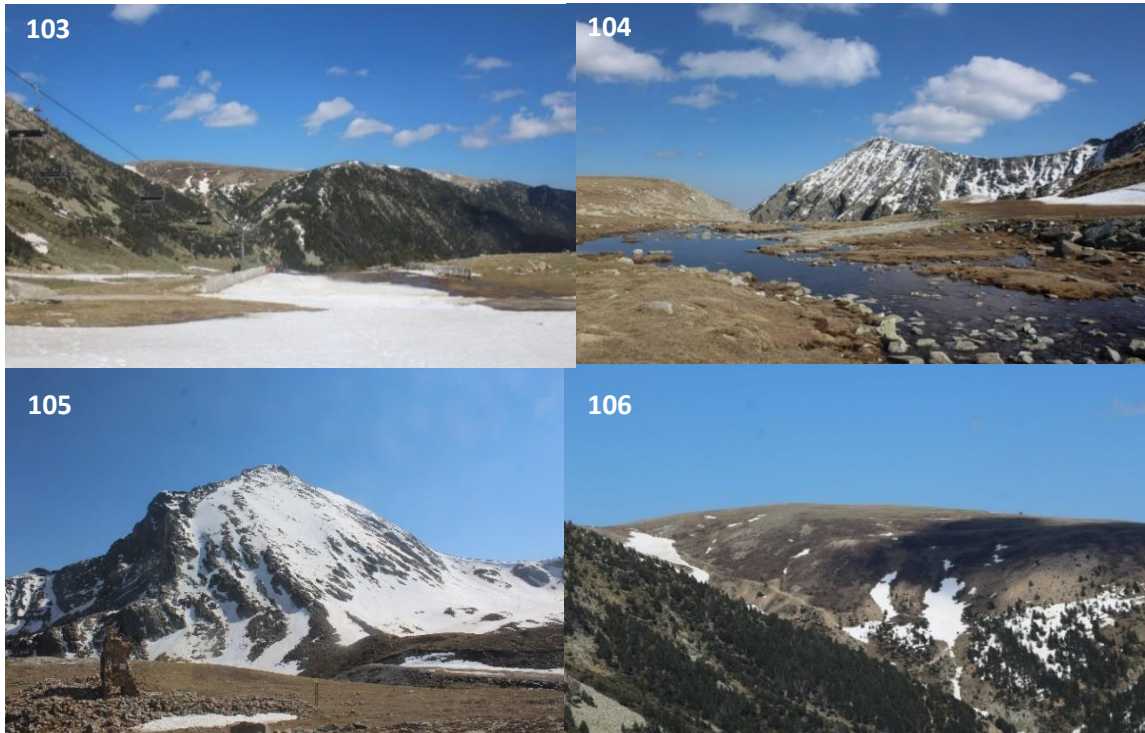


Figura 103. Pistes d'esquí de Vallter2000 i pla de Mentet a 11 de maig. Elaboració pròpia

Figura 104. Riu Ter i Gra de Fajol petit a 11 de maig Elaboració pròpia

Figura 105. Cara nord del Gra de Fajol i l'antic refugi d'ulldeter a 11 de maig. Elaboració pròpia

Figura 106. Pla de mentet a 11 de maig. Elaboració pròpia

Podem observar un gran retrocés del mantell nival, a causa de la forta irradiació solar i a les altes temperatures, que es troben per sobre del que seria normal per l'època de l'any. Així doncs, només trobem neu en les zones obagues a partir d'uns 2400m. Cal destacar la quantitat d'aigua que hi havia a les rodalies del naixement del Ter.

15 de maig

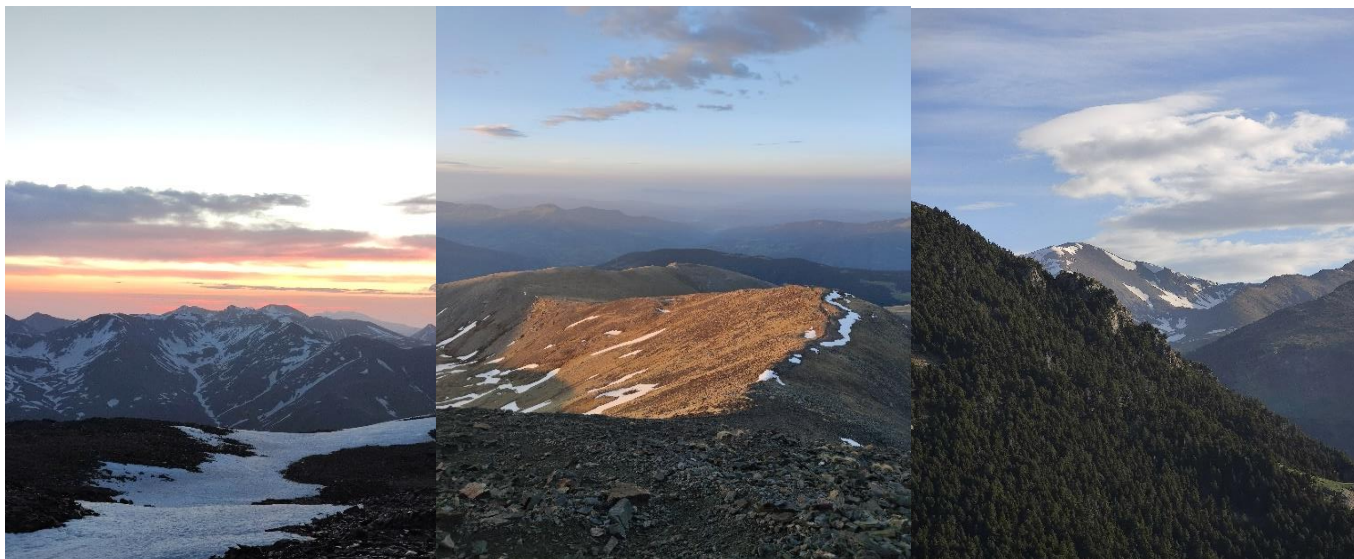


Figura 107. Vall de Noucreus a 15 de maig. Elaboració pròpia

Figura 108. Camí del Puigmal a Fontalba a 15 de maig. Elaboració pròpia

Figura 109. Bosc pròxim a Fontalba amb el Pic de Noufonts al fons a 15 de maig. Elaboració pròpia.

Un dels miradors més privilegiats per poder observar les diferents fondalades de la zona és el cim del Puigmal. La tradició d'uns amics i servidor de pujar el Puigmal per veure la sortida de sol cada mes de maig ens ha servit per seguir fent un anàlisi del retrocés del mantell nival a la zona de les Capçaleres del Ter i del Freser.

Així doncs, a 15 de maig les principals zones on el mantell nival era present eren les fondalades de Coma de l'embut, la de Noucreus, la de Noufonts, Tirapits i el Coll de la Marrana, totes les quals ubicades en zones obagues, ja que en zones solanes la presència de neu és totalment testimonial.

25 de maig



Figura 110. Alta Vall del Freser a 25 de maig. Elaboració pròpia

El dia 25 de maig va ser l'últim dia de càlcul de cabal. Va ser el dia perfecte ja que entre el 24 i 25 es va produir un episodi tempestuós que va aportar uns 30-40mm a la zona. A cota alta la precipitació va ser en forma de neu a partir de la nit, la qual va deixar aquesta meravellosa estampa a cota alta. Així doncs, el treball de camp acaba com va començar, amb una enfarinada.

5.4. Evolució del cabal Novembre 2021 – Maig 2022

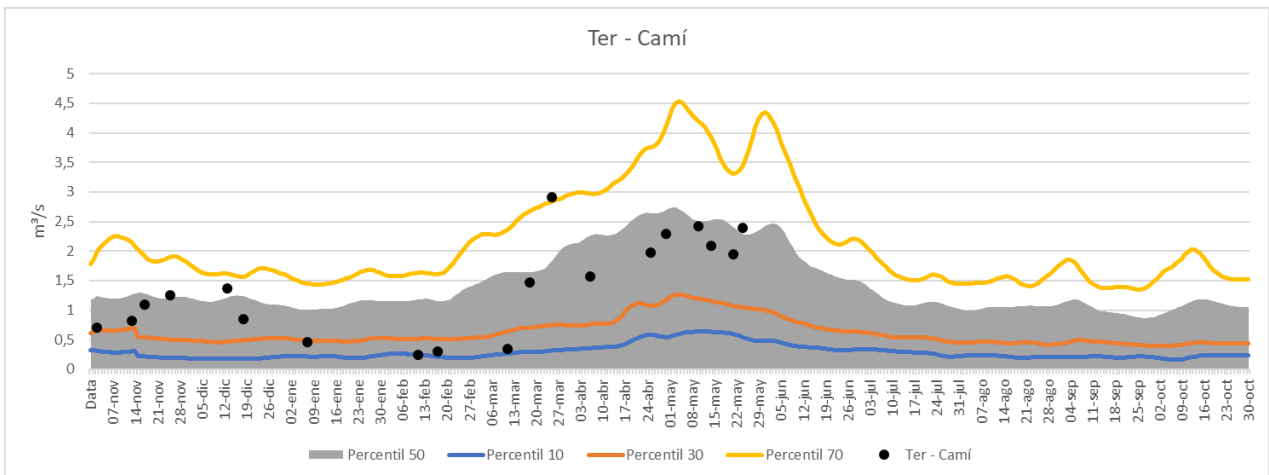


Figura 111. Evolució del cabal al punt de mostra Ter-Camí (novembre 2021 – maig 2022). Elaboració pròpia

A la figura 111 podem observar l'evolució del cabal al punt de Mostra de *Ter-Camí*.

El cabal en aquest punt de mostra ha estat inferior a la mitjana la major part de la temporada, degut a l'absència d'abundants precipitacions, tot i que s'ha viscut un episodi fort durant el mes de març, en què es van ajuntar fortes precipitacions amb l'inici del desglaç, el qual va ser provocat per les mateixes precipitacions.

El període amb menys quantitat d'aigua el trobem entre principis de gener fins a mitjans de març. En aquest període el cabal mitjà va ser de $0,33 m^3/s$, i es van assolir valors del llindar del percentil 10 ($0,24 m^3/s$). El període amb més quantitat d'aigua el trobem a finals de març. En aquest període el cabal mitjà va ser $2,19 m^3/s$, i es van assolir valors del llindar del percentil 70 ($2,83 m^3/s$).

L'efecte del desglaç en aquest punt de mostra ha estat inferior al que hauria de ser, ja que en el període de desglaç els valors han estat inferiors a la mitjana hídrica.

El cabal mitjà de la temporada al punt de mostra *Ter-Camí* ha estat de $1,49 m^3/s$.

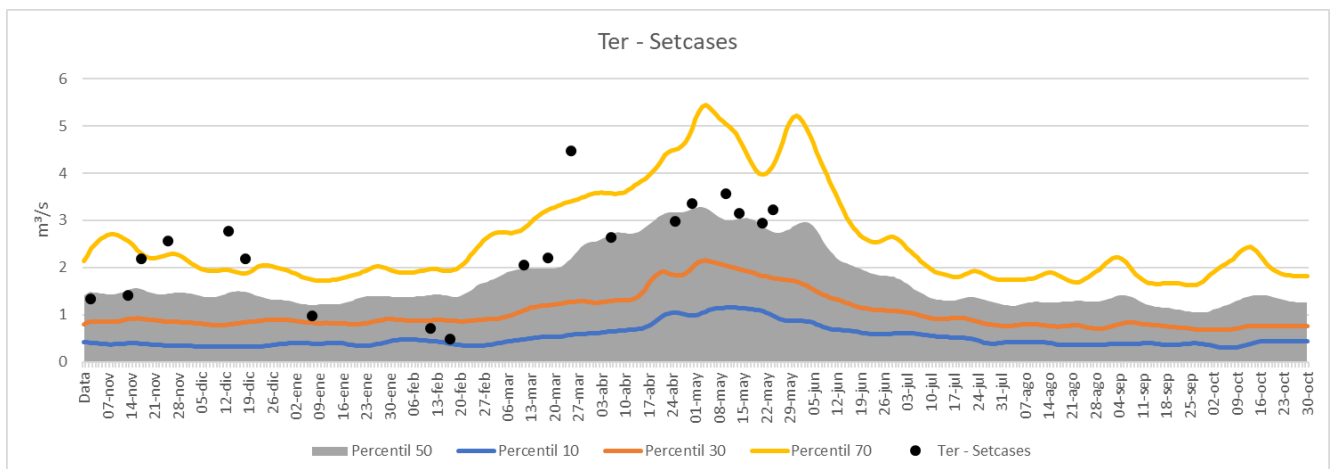


Figura 112. Evolució del cabal al punt de mostra Ter-Setcases (novembre 2021 – maig 2022). Elaboració pròpia

A la figura 112 podem observar l'evolució del cabal al punt de Mostra de *Ter-Setcases*.

El cabal en aquest punt de mostra ha seguit la mitjana hídrica bona part de la temporada, tot i que el cabal s'ha mostrat força irregular. Gràcies als episodis de Novembre/Desembre i Març, es va poder disposar d'un cabal per sobre del percentil 70, amb valors màxims de 2,77 m³/s al desembre i 4,46 al març. A l'episodi de novembre/desembre el cabal mitjà va ser de 2,63 m³/s i al març va ser de 3,10 m³/s.

Tot i així, igual que al punt de mostra Ter- Camí, s'ha enregistrat un període molt sec durant principis de gener fins a mitjans de març, degut a l'absència de precipitacions. En aquest moment de la temporada el cabal mitjà va ser de 0,73 m³/s, sent molt inferior a la mitjana

L'efecte del desglaç en aquest punt de mostra ha estat superior al que hauria de ser, sobretot gràcies a les precipitacions de març, que van afectar molt la zona del riu de Vall-llobre, tot fent així que la diferència respecte al punt de mostra de Ter-Camí sigui considerable.

El cabal mitjà de la temporada al punt de mostra *Ter-Setcases* ha estat de 2,39m³/s.

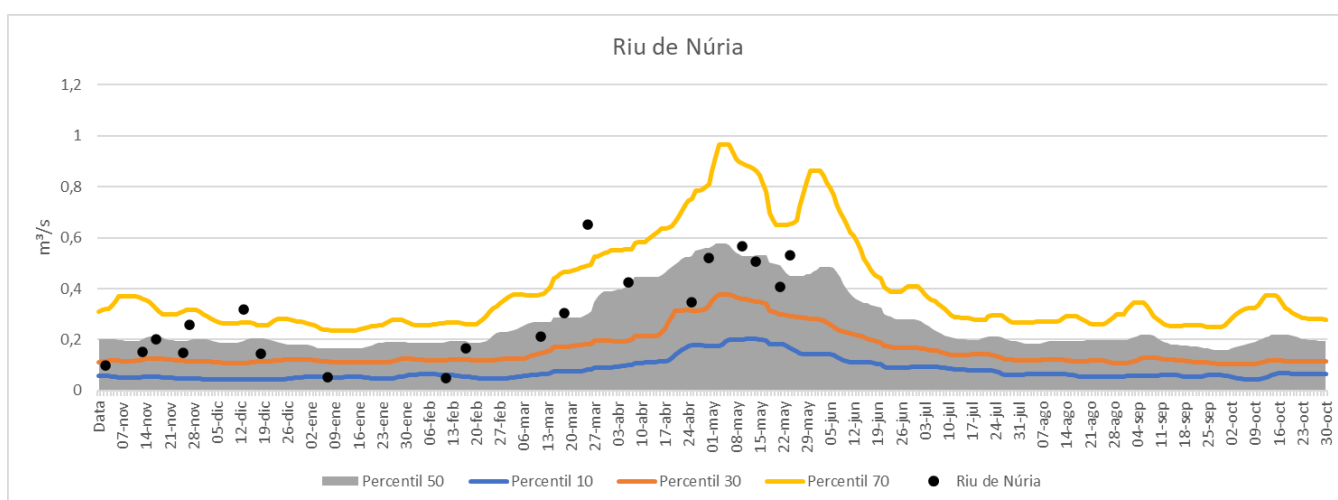


Figura 113. Evolució del cabal al punt de mostra Riu de Núria (novembre 2021 – maig 2022). Elaboració pròpia

A la figura 113 podem observar l'evolució del cabal al punt de Mostra de *Riu de Núria*.

El cabal en aquest punt de mostra ha seguit la mitjana hídrica bona part de la temporada, tot i que el cabal ha estat força irregular.

Gràcies als episodis de Novembre/Desembre i Març es va poder disposar d'un cabal per sobre del percentil 70, amb valors màxims de 0,31 m³/s al novembre/desembre i 0,65 m³/s al març. A l'episodi de novembre/desembre el cabal mitjà va ser de 0,26 m³/s i al març va ser de 0,46 m³/s. Tot i així, s'ha enregistrat un període molt sec durant principis de gener fins a finals de febrer, degut a l'absència de precipitacions. En aquest moment de la temporada el cabal mitjà va ser de 0,09 m³/s, que és molt inferior a la mitjana.

L'efecte del desglaç en aquest punt de mostra ha estat molt irregular; de fet, el desglaç més intens el vam trobar en el segon episodi de març, on l'elevada cota de neu va fondre els 30-40cm que van caure en el primer episodi fins a una cota de 2300 m. Tot i això, el desglaç s'ha vist reflectit en el cabal del riu, tot i que fins a finals de maig (0,53 m³/s) no ha estat per sobre de la mitjana.

El cabal mitjà de la temporada al punt de mostra *Riu de Núria* ha estat de 0,31 m³/s

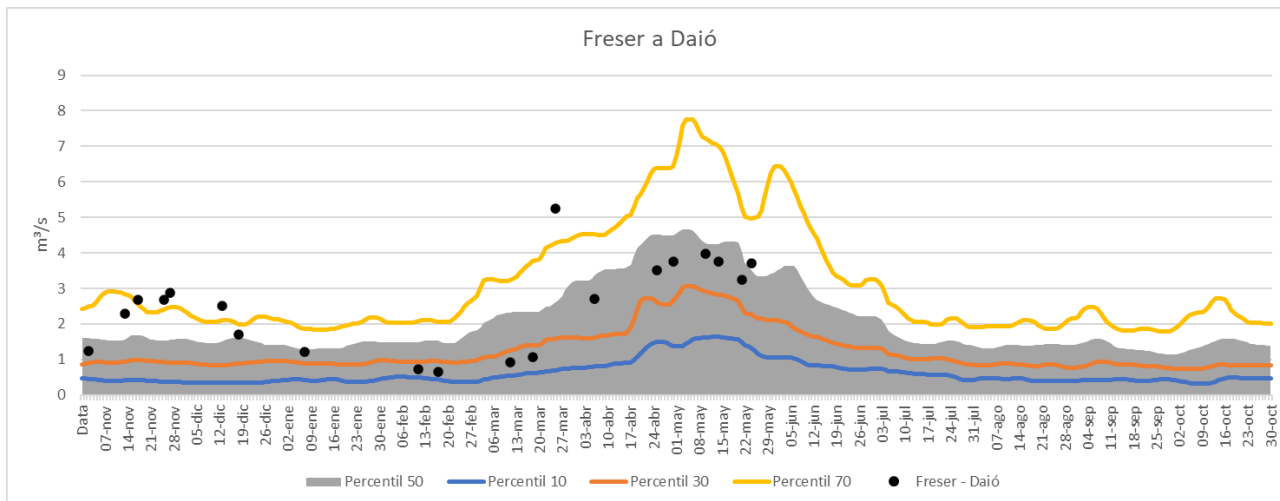


Figura 114. Evolució del cabal al punt de mostra Freser a Daió (novembre 2021 – maig 2022). Elaboració pròpia

A la figura 114 podem observar l'evolució del cabal al punt de Mostra de *Freser a Daió*.

El cabal en aquest punt de mostra ha estat inferior la mitjana hídrica bona part de la temporada. Gràcies als episodis de novembre/desembre i març es va poder disposar d'un cabal per sobre del percentil 70, amb valors màxims de 2,87 m³/s al novembre/desembre i 5,25 m³/s al març. A l'episodi de novembre/desembre el cabal mig va ser de 2,69 m³/s i al març va ser de 3,82 m³/s. Tot i així, s'ha enregistrat un període molt sec durant principis de gener fins a mitjans de març, degut a l'absència de precipitacions, i a diferència del punt de mostra de Riu de Núria, no es va recuperar la mitjana després de l'episodi de març, ja que els valors posteriors a aquest episodi van tornar a caure per sota de la mitjana, amb un cabal mig de 3,68 m³/s, quan la mitjana es troba entre els 4,10 – 4,40 m³/s.

L'efecte del desglaç en aquest punt de mostra ha sigut molt irregular; de fet, el desglaç més intens el vam trobar en el segon episodi de març, quan l'elevada cota de neu va fondre els 50-60 cm que van caure en el primer episodi fins una cota de 2200 m. Tot i això, el desglaç s'ha vist reflectit en el cabal del riu, tot i que fins a finals de maig no ha estat per sobre de la mitjana (3,69 m³/s)

El cabal mitjà de la temporada al punt de mostra *Freser a Daió* ha estat de 2,52 m³/s.

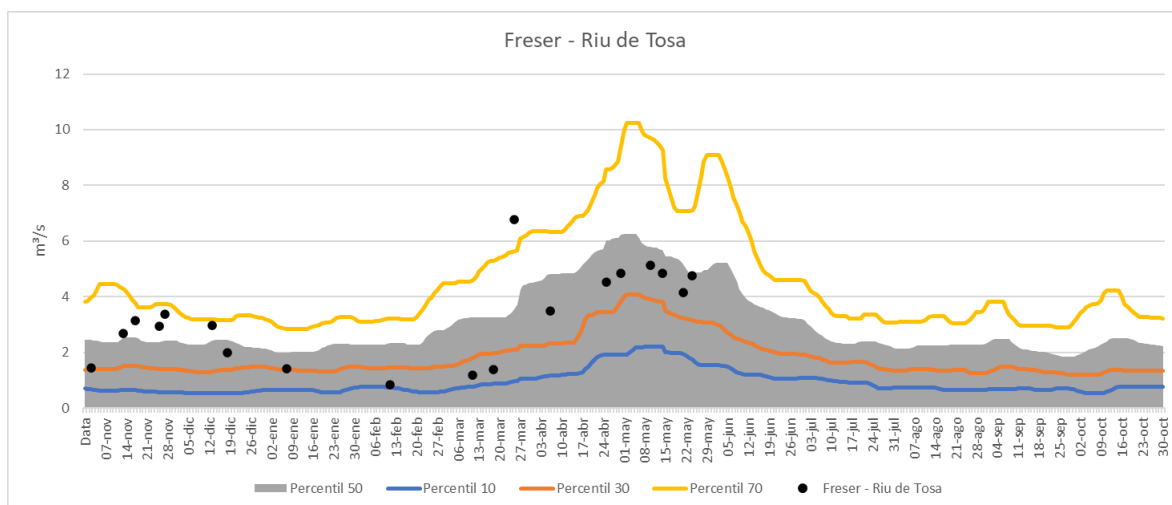


Figura 115. Evolució del cabal al punt de mostra Freser – Riu de Tosa (novembre 2021 – maig 2022). Elaboració pròpia

A la figura 115 podem observar l'evolució del cabal al punt de Mostra de *Freser Riu de Tosa*.

El cabal en aquest punt de mostra s'ha mostrat inferior la mitjana hídrica bona part de la temporada.

A diferència dels punts de mostra anteriors, en el punt de mostra *Freser – Riu de Tosa* només es va superar el percentil 70 en l'episodi de finals de març, ja que tot i que l'episodi de novembre també va afectar de forma positiva en l'augment del cabal, no va ser suficient per superar el llindar del percentil 70. Aquest fet és degut que el riu de Tosa és l'afluent més a l'oest que té el *Freser*, i els episodis de llevant no hi tenen tanta incidència com a les zones situades a l'est. Cal recordar l'augment que va tenir el punt de mostra *Ter – Setcases* gràcies a l'aportació del *Riu de Vall – llobre*, que es troba molt més a l'est, i com a conseqüència de la seva ubicació rep més precipitació en episodis forts de llevant. En àmbits de muntanya una distància de 20-25km significa moltíssim quant a registres de precipitació.

El període sec en aquest punt de mostra ha estat des de mitjans de desembre fins a finals de maig, a excepció de l'episodi de finals de març, quan l'elevada cota de neu va fondre els 10-20 cm que van caure en el primer episodi de març fins a una cota de 2400 m. El moment més crític de la temporada el vam tenir quan el cabal era de 0,84 m³/s, quan el cabal normal per l'època de l'any és de 2,34 m³/s.

L'efecte del desglaç en aquest punt de mostra ha estat pobre, tot i que s'ha vist reflectit quant a la tendència d'evolució del cabal, no ha assolit en cap moment el percentil 50. L'únic moment en què va arribar al percentil 50 en període de desglaç va ser durant un episodi de tempesta de tarda.

El cabal mitjà de la temporada al punt de mostra *Freser – Riu de Tosa* ha estat de 3,13 m³/s.

5.5. Evolució de la innivació a les Capçaleres del Ter i del Freser (Novembre 2021 - Maig 2022)

Juntament amb l'inici de la recollida de mostres i càlcul del cabal, es va iniciar el 3 de novembre el seguiment nivològic a les capçaleres del Ter i del Freser, amb la sort que just aquell dia va fer la primera enfarinada de la temporada, tot i que, com es pot veure a la figura 116, on es mostra un document cartogràfic sobre la presència de neu a la zona d'estudi, la neu va marxar molt ràpidament.

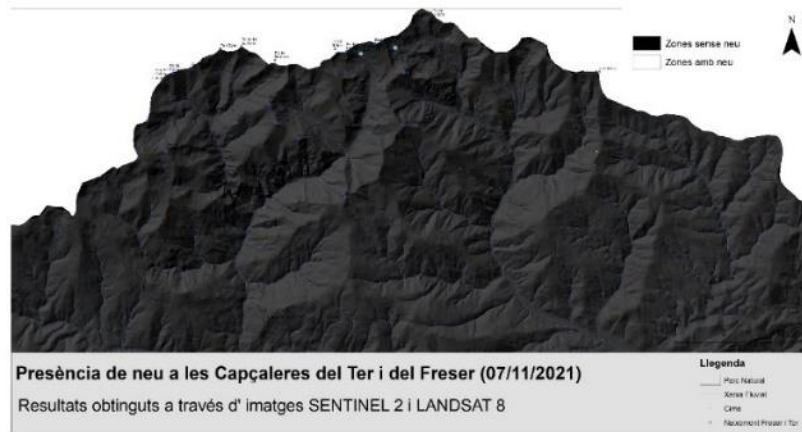


Figura 116. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 7/11/2021. Elaboració pròpia

La primera nevada amb cara i ulls de la temporada va tenir lloc el dia 11, i com podem observar a la figura 117 del dia 18 de novembre de 2021, la neu ja fa acte de presència a partir d'uns 2200 a orientacions obagues i uns 2300 a orientacions solanes. Aquesta primera nevada va deixar uns 35 cm a cota 2.500, gruix força anòmal tenint en compte l'època de l'any en què es produeix.

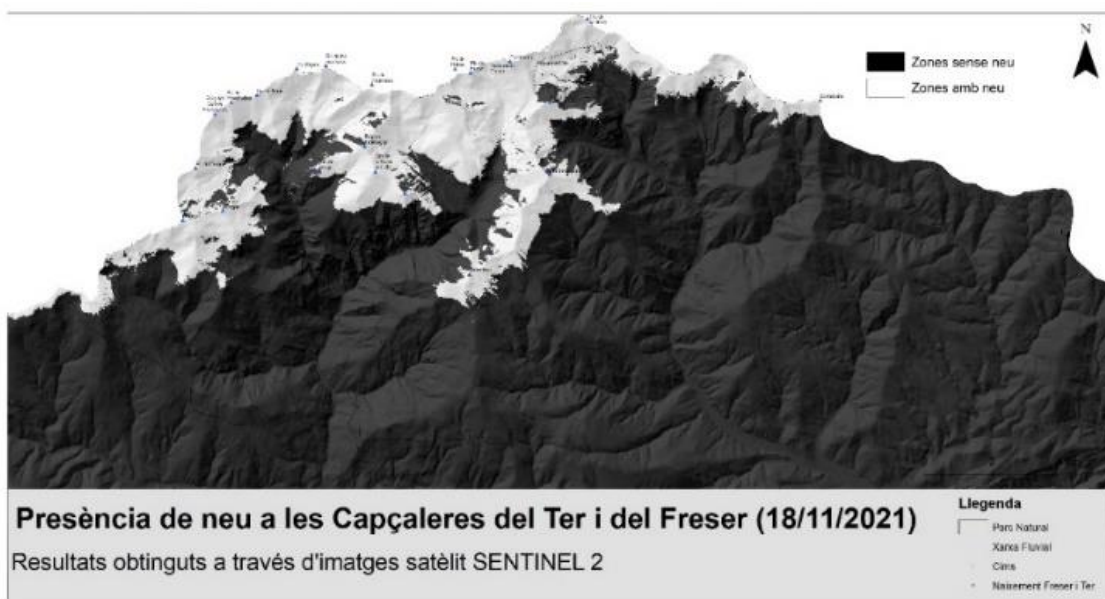


Figura 117. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 18/11/2021. Elaboració pròpia

La temporada doncs va començar molt activa, amb nevades que anaven arribant en cosa de pocs dies. A la Figura 118 on es mostra la presència de neu a dia 23 de novembre de 2021, es pot observar la nevada de dies anteriors, i com el vent dels dies de després va afectar la presència de neu en funció de l'orientació. Les principals discontinuïtats quant a presència de neu les trobem a les orientacions sud de la zona del Balandrau – Les – Borregues, tota l'Olla de Núria i la zona SW sudoest del Pla de Mantet. Les zones on el matell nival s'ha vist més intacte són les Valls del Freser i Coma de Vaca on, com hem vist a la figura 20 (acumulació de neu), són zones que destaquen per la seva capacitat d'acumulació de neu en episodis de vent de component nord.

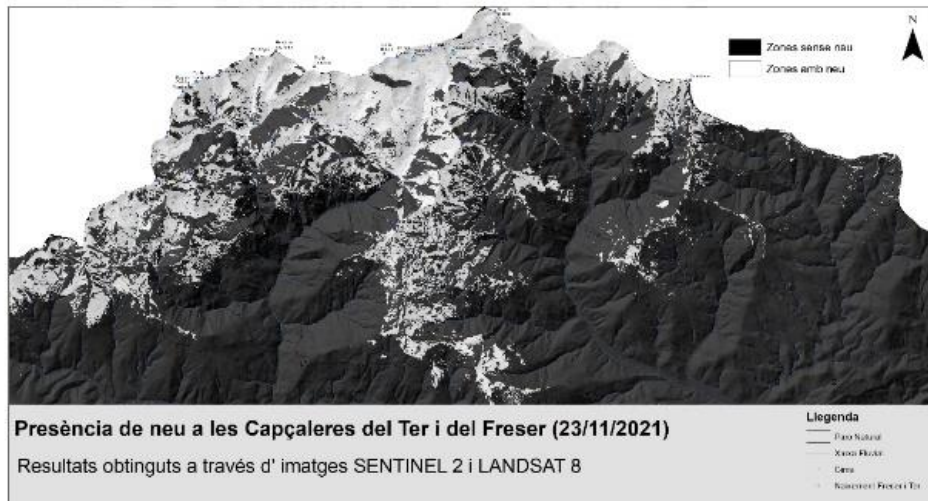


Figura 118. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 23/11/2021. Elaboració pròpia

Seguint la tendència del novembre, el desembre també comença amb nevades força persistents però que no aporten molta quantitat de neu i que sempre venen acompanyades de fort vent. Com podem observar a la figura 119, on es veu la distribució del mantell nival a dia 3 de desembre de 2021, les discontinuïtats les trobem a orientacions nord com, per exemple, a la Coma de l'embut, on la presència de neu és nul·la. Si ens fixem en la zona nord-est del Torreneules i de Les Borregues, també podem observar com el vent s'ha endut la totalitat del mantell nival cap a orientacions Sud/Sud-est/Sud-oest.

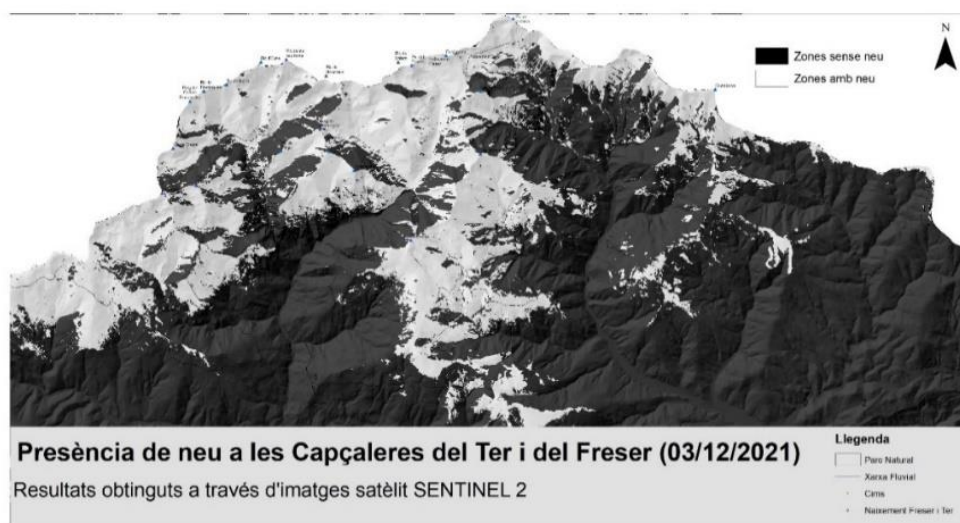


Figura 119. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 3/12/2021. Elaboració pròpia

Avança el desembre i les nevades s'intensifiquen en tots els sentits, ja que tenen més extensió a causa que la cota se situa a uns 1600-1900m i més acumulació ja que cauen uns 50-60mm de forma general, que es tradueixen en uns 60 cm a cota 2500 (XEMA Ulldeter), 47cm a 2000 (Pastuira, ICGC) i uns 35cm a Vall de Núria (XEMA). A la figura 120 s'observa la distribució del mantell nival a dia 9/12/2021, on des del dia 7 s'han acumulat uns 15cm nous a cota 2000, i uns 30-50 a cotes més elevades.

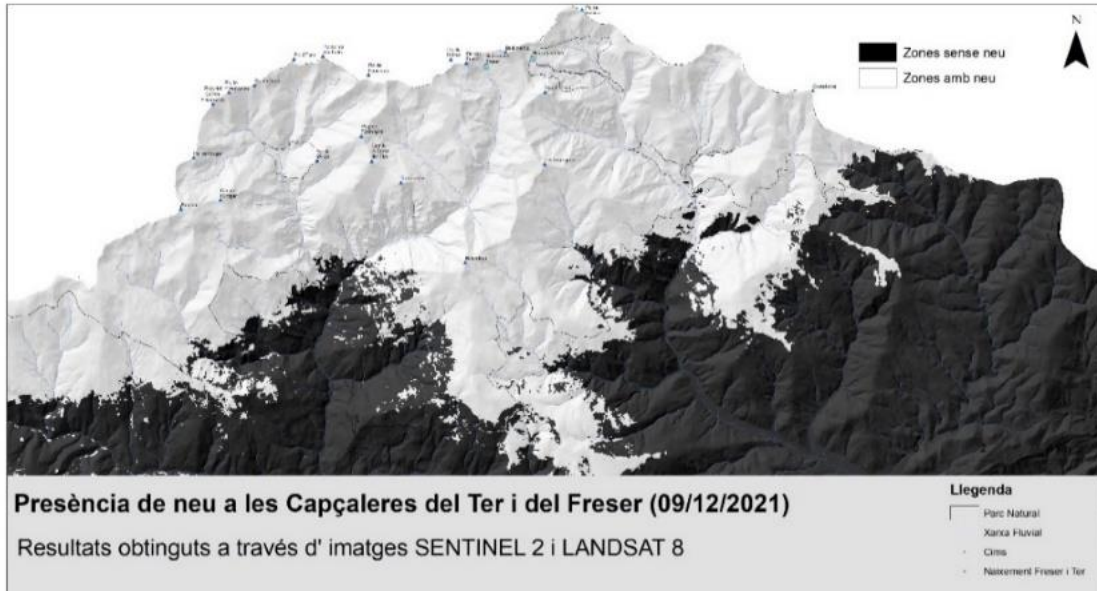


Figura 120. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 9/12/2021. Elaboració pròpia

Del 10 al 11 es produeix la nevada més intensa del Desembre i, malgrat que la nevada és molt abundant i fa que tan Núria com Pastuira es trobin en el percentil 90, la quantitat de neu entre aquests punts és molt diferent, tot i que es troben pràcticament a la mateixa cota. A Núria s'acumulen 53 cm mentre que a Pastuira se n'acumulen 104 cm.

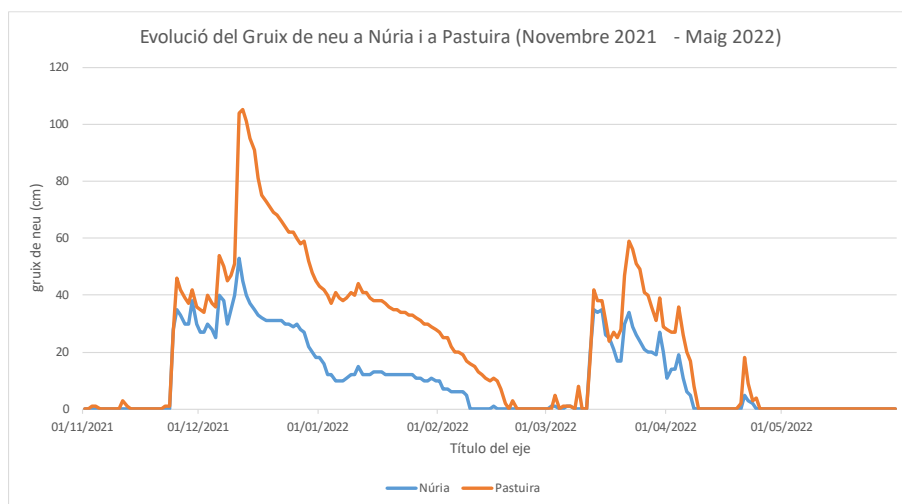


Figura 121. Evolució del Gruix de neu a Núria i a Pastuira (Novembre 2021 – Maig 2022). Elaboració pròpia a través de dades del ICGC. Elaboració pròpia

Aquest fet ens ajuda a veure que tot i que l'episodi afecti la totalitat de les capçaleres del Ter i del Freser, cal analitzar on es concentra el gruix de precipitació.

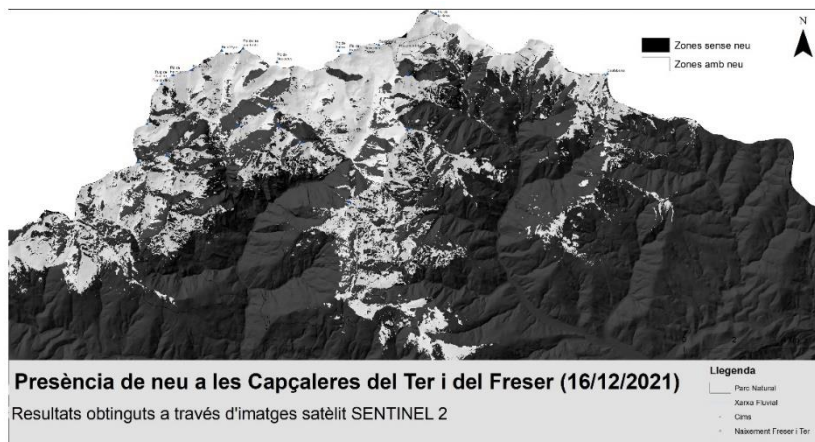


Figura 122. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 16/12/2021. Elaboració pròpia

A la figura 122 trobem la distribució del mantell nival a dia 16 de desembre de 2021. Després de la intensa i abundant nevada del 10 al 11 de desembre, no hem tingut cap nevada significativa, i el principal protagonista ha estat el vent de component nord. Les zones d'acumulació a sud en surten clarament beneficiades, però si observem les cara nord, com per exemple la del Gra de Fajol o un altra cop la de Coma de l'embut, veiem com es trobem amb un mantell nival inexistent. Una altre cara N/NE que ens serveix per veure la incidència de els efectes de les entrades de nord és la de la Vall de Tirapits, i com podem observar a la Figura 122 també ha patit clarament les conseqüències del vent. Cal remarcar que les cares Sud es veuen clarament beneficiades d'aquests episodis de Nord, ja que el mantell nival es manté intacte i fins i tot el gruix de neu augmenta.

A les figures 123, 124, 125 i 126 del dia 18/12 31/12 7/01 i 17/01 respectivament, podem observar com el mantell nival no ha patit cap canvi considerable. Aquest fet és degut a l'arribada d'altres pressions que, tot i ser de component càlid, no han fos la neu. La baixa humitat dels períodes anticiclònics causada per la inversió tèrmica és el principal aliat de la neu a l'hora de resistir les temperatures càlides d'aquestes situacions sinòptiques.

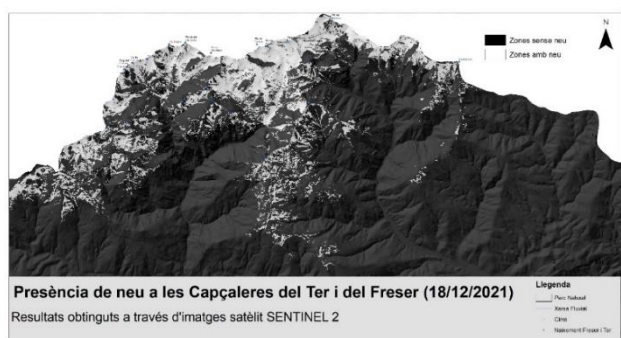


Figura 123. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 18/12/2021. Elaboració pròpia

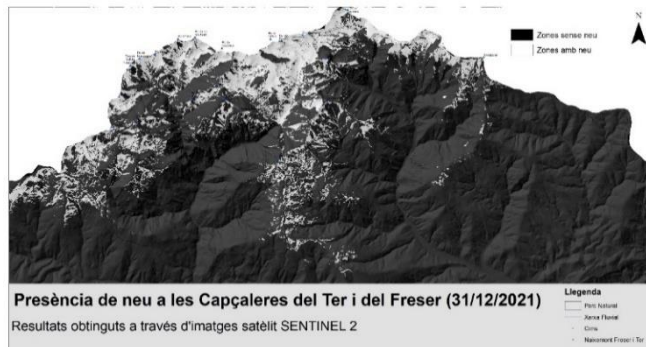


Figura 124. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 31/12/2021. Elaboració pròpia



Figura 125. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 7/1/2022 Elaboració pròpia



Figura 126. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 17/1/2022. Elaboració pròpia

A la figura 127 trobem la distribució del mantell nival a dia 22 de gener de 2022. Podem observar com no hi ha grans canvis respecte als dies anteriors (Figura 123, 124, 125 i 126), tot i que el dia 11 hi va haver una petita nevada que ha emblanquinat una mica el paisatge. Tot i això, la neu dura poc i s'observen clarament les discontinuïtats que ja s'arrosseguen des de mitjans de desembre. Cal destacar la gran capacitat de mantenir el mantell nival intacte de les Valls del Freser, Tirapits i Coma de Vaca, ja que, si ens fixem en el mapa probabilístic fet a partir d'interpolació, veiem com les mateixes zones que destaquen són les que realment conserven millor el mantell nival, ja que des del les últimes nevades de desembre que manté el sòl amb presència de neu.

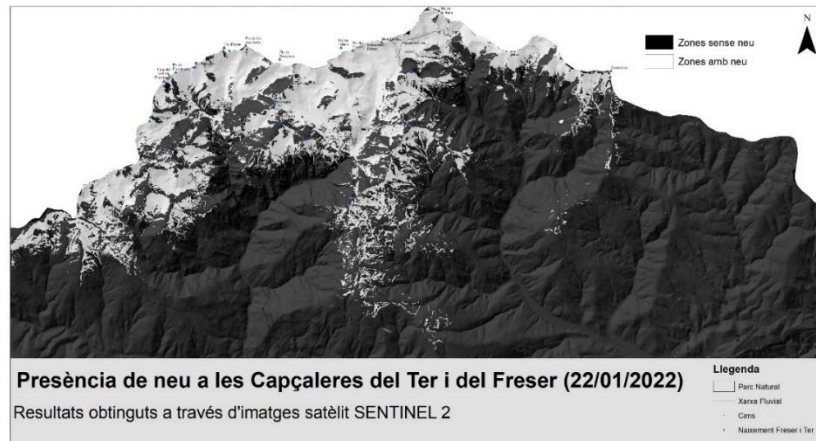


Figura 127. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 22/1/2022. Elaboració pròpia

A la figura 128 i 129 podem observar la distribució del mantell nival el dia 1 i 6 de febrer respectivament.

No hi ha grans canvis respecte el mantell nival d'abans de la dèbil nevada de gener, i això ens indica que estem vivint un període d'altres pressions persistents que estan impeding l'arribada de noves precipitacions. Aquest tipus de temps és normal de les èpoques hivernals, tot i que aquesta temporada s'ha allargat durant pràcticament 3 mesos. Tot i que les altres pressions han estat el gran dominant sinòptic, han arribat diversos fronts inactius que han enterbolit el cel i, com a conseqüència, les imatges satèl·lit SENTINEL 2 i LANDSAT 8 no han permès el seguiment del mantell nival. Per sort, durant aquest període no s'ha produït cap nevada: de fet, no s'han recollit més de 10 mm a Núria (8,3 mm).



Figura 128. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 1/2/2022. Elaboració pròpia

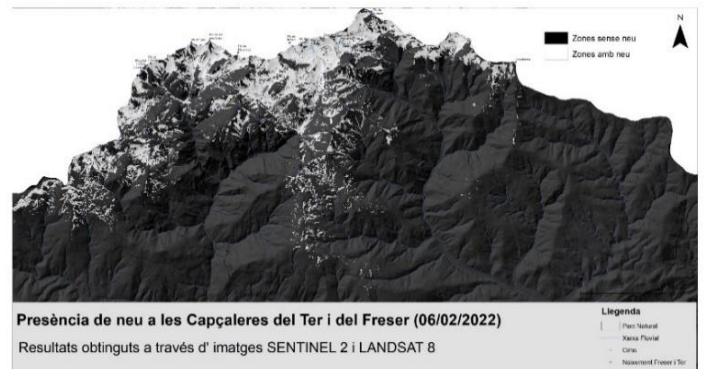


Figura 129. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 6/2/2022. Elaboració pròpia

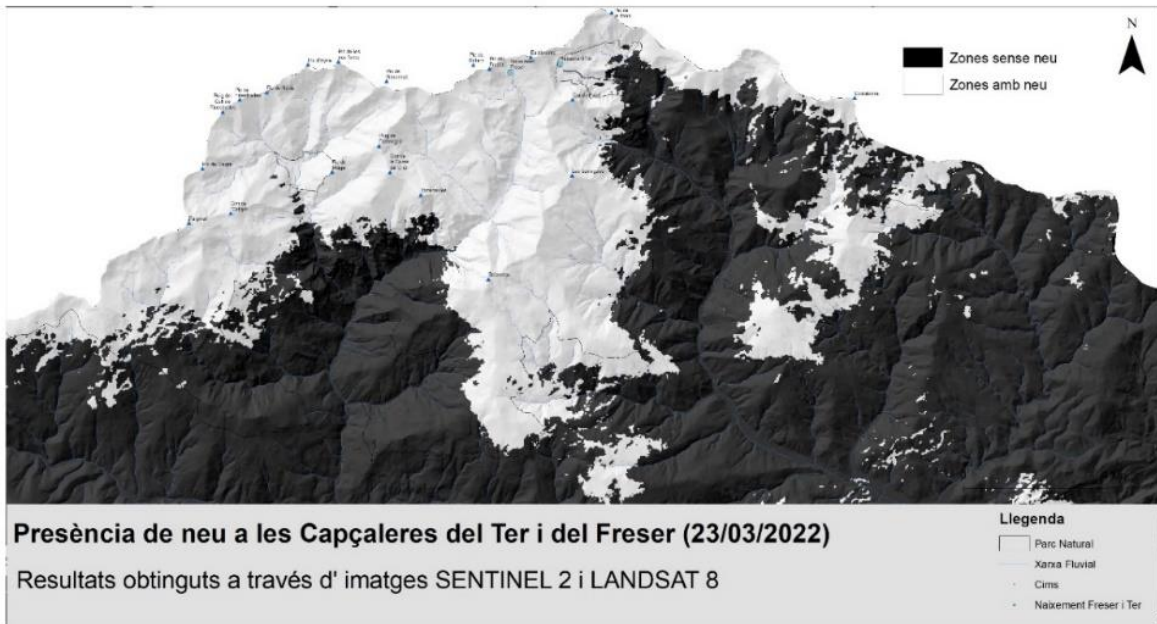


Figura 130. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 23/3/2022. Elaboració pròpia

A la figura 130 podem observar la distribució del mantell nival a dia 23 de març de 2022.

Amb l'arribada del març van tornar les nevades. L'11 i el 12 de març vam viure el primer dels episodis forts que vam tenir el mes de març, en què es van acumular uns 50cm a totes les cotes superiors a 2.400 m. Així doncs, el mantell nival torna a fer acte de presència a qualsevol cota a partir dels 1.900 m, fet que fa canviar canviant així per complert el paisatge de les capçaleres del Ter i del Freser, que presentaven un paisatge molt pobre a nivell nivològic degut a la manca de precipitacions dels últims 3 mesos.

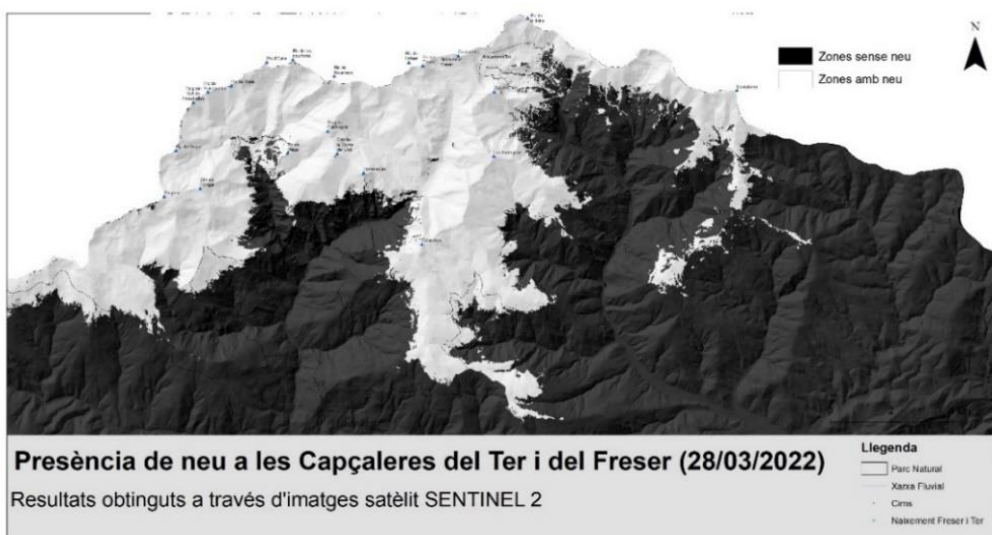


Figura 131. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 28/03/2022. Elaboració pròpia

A la figura 131 podem observar la distribució del mantell nival a dia 28 de març.

Els dies 20 i 21 vam tenir un episodi de precipitació molt més abundant que el del 11 i 12. La diferència, a part de la quantitat de precipitació, va ser la cota de neu, que es va situar als 2.000 m, la qual cosa va causar la fusió de la neu caiguda els dies anteriors a cota inferior als 2.000 m.

Si comparem la Figura 130 del 23 de març amb la figura 131 del 28 de març podem observar aquesta fusió de la neu a cota inferior a 2000m, sobretot en els vessants sud. El clar exemple el trobaríem a la zona que es troba entre Les Borregues i el Balandrau, on es veu clarament com el mantell nival ha retrocedit amb els pas dels dies. Això sí, a partir d'uns 2400 m trobem gruixos de neu clarament excedentaris per l'època de l'any, arribant als 90 cm a cota 2500 (Ulldeter, XEMA).

La gran quantitat de neu caiguda i una arribada d'aire molt fred a principis d'abril han fet que la presència del mantell nival no es vegi gens alterada amb el pas dels dies.

A la figura 132 , on es veu la distribució del mantell nival a dia 5 d'abril de 2022, veiem com la neu aguanta perfectament des de l'última nevada de març.

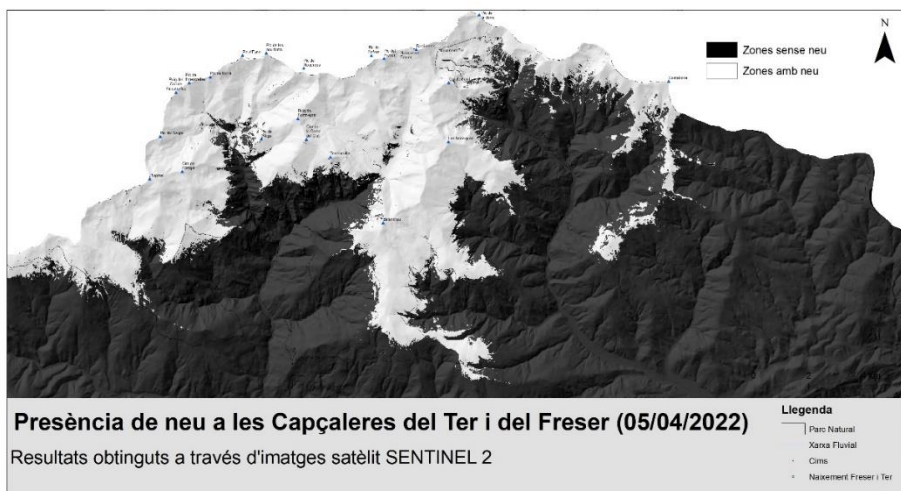


Figura 132. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 5/4/2022. Elaboració pròpia

Amb l'arribada de temperatures més càlides i la ja intensa radiació solar, el mantell nival retrocedeix a gran velocitat amb el pas dels dies. A la figura 133 , on trobem la distribució del mantell nival a dia 16 d'abril, observem com la neu ha retrocedit a gran escala i queden així descobertes de neu les cotes inferiors a 2400m. A cota superior de 2400 la neu aguanta sobretot a les zones obagues, on tornen a destacar la Vall de Coma de l'embut, la Vall del Freser, la Vall de Tirapits i en aquest cas també la Vall de Coma de L'orri (Vall que queda entre les Borregues i el Gra de Fajol)

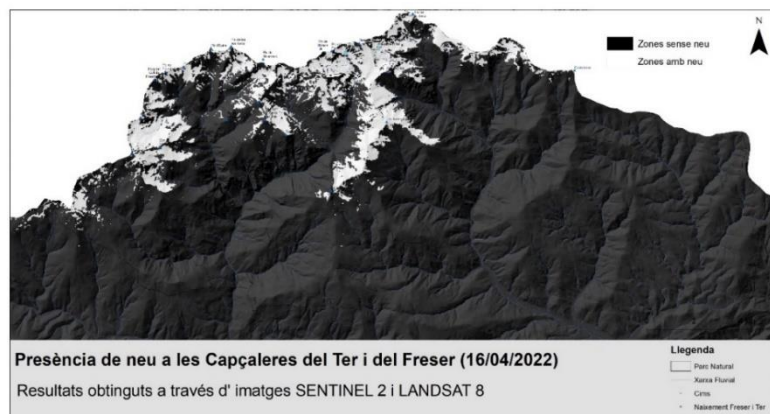


Figura 133. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 16/04/2022. Elaboració pròpia

Quant la tendència era ja a la progressiva reducció del mantell nival a totes les cotes de les Capçaleres del Ter i del Freser, un petit episodi de precipitació juntament amb una massa d'aire fred va fer tornar la neu a la zona. La cota de neu es va situar als 2500m, i no va deixar més de 25-30cm. Tot i que va ser una nevada molt benvinguda tenint en compte com ha estat la temporada. A la figura 134 del dia 25 d'abril s'observa com la recent nevada del dia de Sant Jordi ha tornat a tenyir de blanc les cotes més altes del Pirineu Oriental.

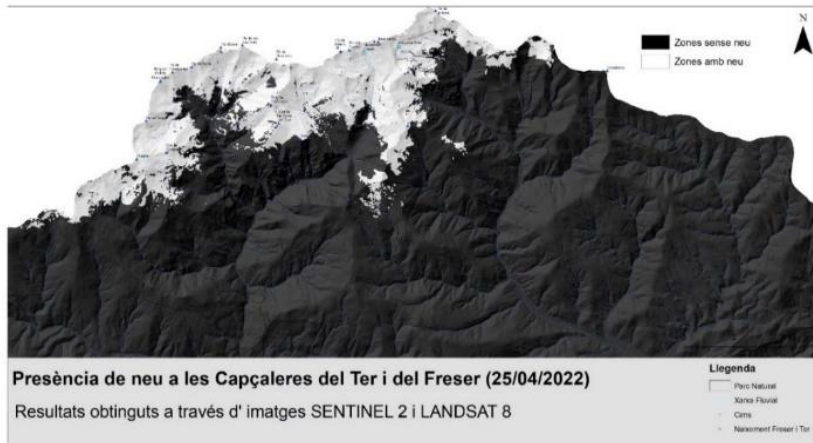


Figura 134.
Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 25/4/2022.
Elaboració pròpia

Ja entrats al maig, observem a la Figura 135 del dia 11 com la neu ara ja comença a concentrar-se a les ja comentades zones d'acumulació com Coma de l'embut i la Vall del Freser. La neu també fa acte de presència a la zona nord del Gra de Fajol.

Finalment, la neu ja ha desaparegut gairebé del tot a la zona. A la figura 136 del dia 22 de maig observem com només queden congestes a les orientacions obagues de les Capçaleres del Ter i del Freser, la qual cosa ens indica que el període de desglaç està arribant a la seva fase final. – Coll de la Marrana, Les Borregues i les també clàssiques valls de Noucreus i Noufonts.

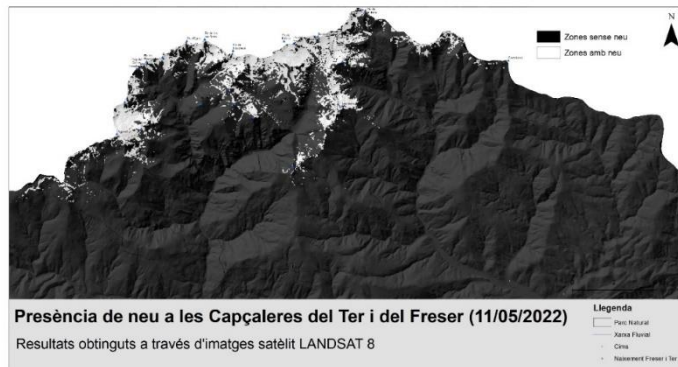


Figura 135. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 11/5/2022. Elaboració pròpia

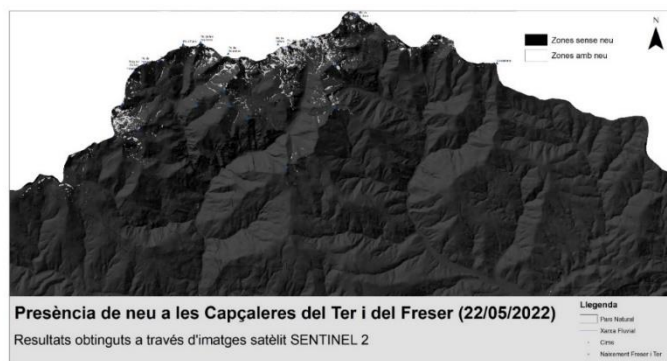


Figura 136. Presència de neu a les Capçaleres del Ter i del Freser a dia 22/5/2022. Elaboració pròpia

5.6. Resum del seguiment de la temporada

5.6.1. Innivació

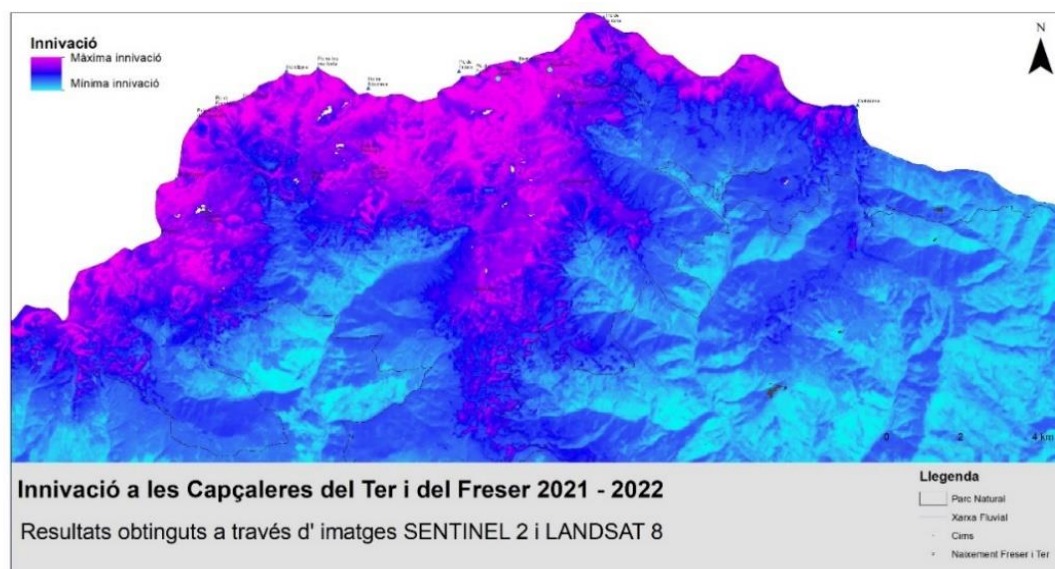
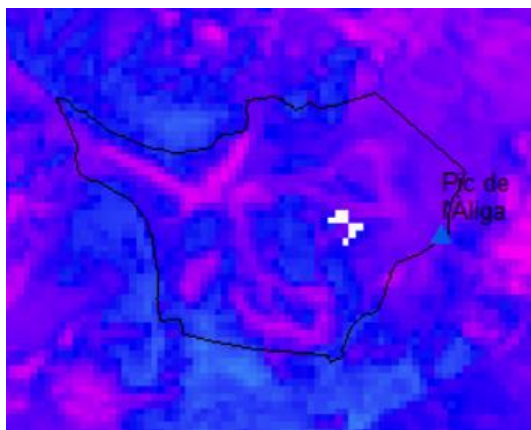


Figura 137. Innivació a les Capçaleres del Ter i del Freser (Mitjana temporada 2021 – 2022). Elaboració pròpia

Gràcies al seguiment a través d'imatge satèl·lit de l'evolució del mantell nival a les Capçaleres del Ter i del Freser, s'ha pogut fer un anàlisi de les zones més propícies a conservar i acumular neu. A la Figura 137 trobem el mapa d'innivació a les Capçaleres del Ter i del Freser de la temporada 2021 – 2022 (7 de novembre – 22 de maig). Remarcar que hi ha hagut el període de febrer- principis de març que no hi ha hagut tant seguiment degut a la manca d'imatge satèl·lit, tot i que el mantell durant el període comentat no ha variat molt ja que les precipitacions han set inexistents.

Així doncs, podem observar que hi ha una relació entre el mapa probabilístic de acumulació de neu amb el resum a través de teledetecció de la temporada 2021-2022.

Les valls amb presència la presència de neu més llarga són les del Freser i Tirapits, seguides de la de Coma de l'embut i Coma de Vaca; totes elles formen part de la Conca del Freser. Al Ter, tot i que no arriben a tenir la magnitud de les del Freser, destaquen les Valls de Coma de l'orri, la nord del Gra de Fajol – Coll de la marrana i finalment el sector del torrent de Mentet.



La teledetecció per poder analitzar l'evolució del mantell nival és d'una precisió molt elevada gràcies a la qualitat dels satèl·lits que tenim disponibles. En aquesta Figura podem veure com el càlcul del NDSI i els càlculs posteriors capten a la perfecció les pistes d'esquí del complex turístic de la Vall de Núria, ja que ho detecta com a zona amb una forta innivació, degut a la creació de neu artificial

Figura 138. Innivació mitjana als entorns i a la pista d'esquí de Vall de Núria. Elaboració pròpia

5.6.2. Comparació temporada 2021-2022 amb la mitjana climàtica

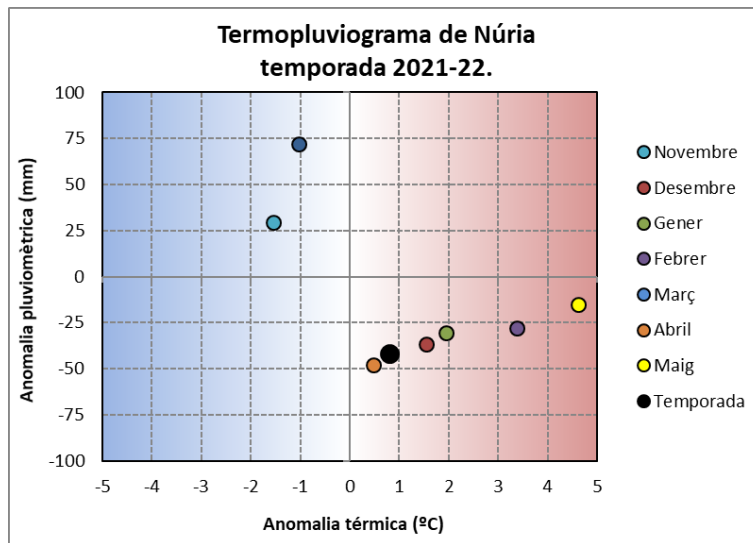


Figura 139. Termopluviograma de Núria (Novembre 2021 – Maig 2022). Elaboració pròpia

El període d'anàlisi meteorològic ha sigut en conjunt sec i càlid, ja que 5 dels 7 mesos de la temporada han tingut anomalies pluviomètrica negativa i anomalia tèrmica positiva, destacant els mesos de novembre i març com els més plujosos i freds amb una pluviometria superior a la mitjana i una temperatura mitjana inferior a la normal, i els de febrer i maig com a més secs i càlids, amb una pluviometria inferior a la mitjana i una temperatura mitjana molt superior a la mitjana.

5.6.3. Evolució del cabal (Novembre 2021 – Maig 2022)

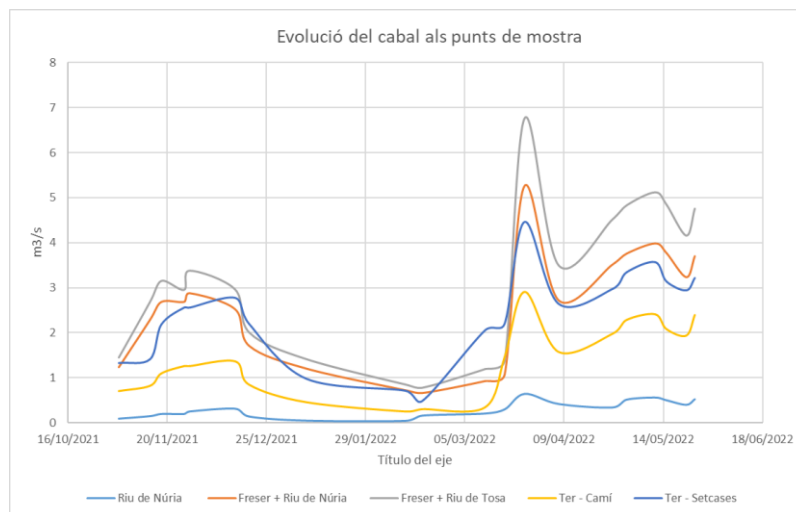


Figura 140. Evolució del cabal als punts de mostra (Novembre 2021 – Maig 2022). Elaboració pròpia

Gràcies al seguiment a camp del cabal dels punts de mostra, s'ha vist com el cabal dels punts de mostra està directament relacionat amb els fenòmens meteorològics i les seves conseqüències, ja que els mesos amb un augment més pronunciat del cabal han set novembre i març, coincidint amb els períodes més plujosos. El desglaç també s'ha notat, però no amb la mateixa força que es va veure al mes de març amb els episodis d'abundants precipitacions.

6. Conclusions

Les Capçaleres del Ter i del Freser tenen una variabilitat meteorològica molt gran, ja que hi ha temporades en què els gruixos de neu i les precipitacions són molt abundants, temporades on hi ha alternança entre períodes amb fortes precipitacions i períodes d'estabilitat, i temporades on no hi ha quasi fenòmens meteorològics. La temporada hivernal 2021-2022 ha estat una temporada d'extremes, ja que hem trobat 2 episodis de fort moviment meteorològic, un al novembre i l'altre al març, on s'han produït episodis de neu i vent intensos, amb acumulacions força destacables, però també hem tingut un període de monotonia meteorològica on l'estabilitat atmosfèrica s'ha imposat, entre els mesos de desembre i febrer. Aquesta temporada, doncs, entra dins el que climatològicament parlant és força habitual a la zona ja que, com hem vist al llarg del treball, és un sector del territori català on la meteorologia és molt canviant i on un episodi o dos poden condicionar l'esdevenir de la temporada hivernal.

Quant a la xarxa hidrogràfica i la seva relació amb la meteorologia, ha quedat palès que van lligades de la mà, ja sigui per forts creixements en el moment de desglaç o per manca d'aigua durant el període hivernal provocada per la retenció nival o l'absència de precipitacions a causa de períodes anticiclònics.

Les capçaleres del Freser presenten una millor capacitat de retenció de neu que les del Ter, tot i que, tenint en compte les característiques climàtiques de la zona, això no vol dir que sempre tingui més cabal la xarxa hidrogràfica del Freser que la del Ter. La temporada 2021 – 2022 ha presentat una innivació molt irregular a causa de l'escassetat de les nevades i dels forts episodis de vent. Tot i així, les zones d'acumulació com la Coma de l'Embut o la Vall de Tirapits s'han mantingut amb mantell continu durant tota la temporada. A l'hora d'analitzar l'evolució del mantell nival és més fiable la teledetecció que la interpolació a causa de que la interpolació, tot i que hi hagi moltes dades disponibles, mai arribarà a ser tan detallada com la imatge satèl·lit. Tot i així, cal destacar que els mètodes geoestadístics actuals permeten obtenir grans resultats a l'hora de fer previsions probabilístiques a mitjana/gran escala.

Les aigües dels rius i torrents de la zona són considerades aigües naturals dins la directiva europea de qualitat d'aigües (DMA).

Finalment, a l'hora d'analitzar el cabal als diferents punts de mostra, s'ha observat que, en una temporada on les precipitacions no han estat molt diferents a ambdues conques, la del Freser transporta més quantitat d'aigua que la del Ter. El cabal mitjà del Freser (novembre 2021 – maig 2022) en el seu tram més desenvolupat ha estat de 3,13 m³/s; el del Ter, en canvi, (mateix període) de 2,39 m³/s.

Cal remarcar que per poder analitzar amb més precisió el cabal dels punts de mostra seleccionats, caldria una freqüència més gran de mostres, sobretot en els episodis meteorològics extrems o sobtats.

7. Referències bibliogràfiques

- Alcoverro, J., J. Corominas i M. Gomez: The Barranco de Aras flood of 7 August 1996 (Biescas, Central Pyrenees, Spain). *Engineering Geology*, 51, 237–255. 1999.
- Alvarez, J., A. Potenciano de las Heras i J. Villaverde: Evolucion historica de sequias en Espana. *Revista de obras publicas*, 155 (3486), 53-68. 2008.
- Ambrosetti, P., L. Mariani i P. Scioli: Climatology of north fohn in canton ticino and western lombardy. *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, 2, 24-30. *MeteoSvizzera*. 2005.
- Aparicio Mijares F.J. (1999). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa, México, 302 pp
- Beniston, M., H. F. Diaz i R. S. Bradley: Climatic change at high elevation sites: an overview. *Climatic Change*, 36, 233–251. Institute of Geography. University of Fribourg, Switzerland. 1997.
- Berner, R.A., A.C. Lasaga y R.M. Garrels, 1983. The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. *American Journal of Science* 284:641-683.
- BOLOS I CAPDEVILA, O.: ((Els sòls i la vegetació dels Països Catalans. A: Geografia Física dels Països Catalans. PANAREDA, J.M.: Editorial Ketres, Barcelona, 1979.
- Bornman, C., C. Botha i L. Nash: Welwitschia mirabilis: observations on movement of water and assimilates under fohn and fog conditions. *Madoqua, Windhoek (Namibia)*, 251, 25-31. 1973.
- Calleja, D: Estudi dels sòlids en suspensió i dissolts a la conca del riu anoia (Novembre 2020 – Abril 2021). Treball fi de Grau. 2021.
- Carvalho, F.; Schulte, L. (2021). Reconstruction of mining activities in the Western Alps during the past 2500 years from natural archives. *Science of the Total Environment*, 750 (2021)(141208), pp. 1 - 16 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141208> . ISSN: 0048-9697
- Chiao S.: The dynamics of orographic precipitation: a mesoscale modeling perspective. Department of Marine, Earth, and Atmospheric Sciences. North Carolina State University. 2002.
- Cold Regions Science and Technology*, 32, 71–81. 2001.
- Corominas, J., J. Moya, A. Ledesma, J. Rius, J.A. Gili i A. Lloret: Monitoring of the Vallcebre landslide, Eastern Pyrenees, Spain. *Proceed. Intern. Symp. on Slope Stability Engineering*, 1239-1244. 1999.
- Corripio J.G. , Y. Durand, G. Guyomarc'h i L. Merindol: Modelling and monitoring Snow redistribution by wind. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, 06409. *Meteo France, Centre d'Etudes de la Neige (CEN)*. 2003.
- Corripio J.G. , Y. Durand, G. Guyomarc'h i L. Méridol: Modelling and monitoring snow redistribution by wind. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, 06409. *Météo France, Centre d'Etudes de la Neige (CEN)*. 2003.
- Das, S., S.V. Singh, E.N. Rajagopal i R. Gall: Mesoscale Modeling for Mountain Weather Forecasting Over the Himalayas. National Centre for Medium Range Weather Forecasting (NCMRWF), New Delhi, India. A Workshop Report. 2002.

- Dasso C.M., Piovano E.L., Pasquini A.I., Córdoba F.E., Lecomte K.L., Guerra L. y Campodónico V.A. (2014). Recursos hídricos superficiales. En: Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba (R.D. Martino, A.B. Guerreschi, Ed). Asociación Geológica Argentina, pp. 1209-1231.
- Davie T. (2002). *Fundamentals of hydrology*. Routledge, Londres, Gran Bretaña, 169 pp.
- Deline, P., S. Gruber, S. Jailliet, J. Noetzli i L. Ravel: Permafrost and rock falls in high mountain: the Drus (Mont Blanc massif, France). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 02033.
- Depetris P.J., Pasquini A.I. y Lecomte K.L. (2014). Weathering and the riverine denudation of continents. Springer, Holanda, 95 pp.
- Diaz, H. F., M. Grosjean i L. Graumlich: Climate variability and change in high elevation regions: past, present and future. *Climatic Change*, 59, 1-4. Kluwer Academic Publishers. 2003.
- Drever J. I., (1997). *The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environment*. Prentice Hall, Nueva Jersey, EUA, 436 pp.
- Dupré B., Dessert C., Oliva P., Goddérés Y., Viers L. F., Millot R. y Gaillardet J. (2003). Rivers, chemical weathering and Earth's climate. *C.R. Geoscience* 335, 1141-1160.
- Durand Y., G. Guyomarc'h, L. Mérindol: Numerical experiments of wind transport over a mountainous instrumented site: I. Regional scale. *Annals of Glaciology*, Volume 32, Number 1, 187-194(8). 2001.
- Dyrgerov, M. B. i M. F. Meier: Twentieth century climate change: Evidence from small glaciers. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)*, 97, 4, 1406–1411. Institute of Arctic and Alpine Research and Department of Geological Sciences, University of Colorado, Boulder. 2000.
- Esteban Veà, P.: La complexitat de la meteorologia de muntanya. II Jornada tecnica de neu iallaus del'IGC. 2006.
- Esteban, P., P.D. Jones, J. Martin-Vide i M. Mases: Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees. *International journal of climatology*, 25, 319-329. 2005.
- Fazzini, M., A.Giuffrida, G.Frustaci: Snowfall analysis over peninsular Italy in relationship to the different types of synoptic circulation: first results. Dipartimento di Scienze della Terra, Ferrara University. 2005.
- Fletcher R. J.: "Fohn illness" and human biometeorology in the Chinook area of Canada. Department of Geography. University of Lethbridge, Alberta, Canada. 1987.
- Frei, C. i C. Schar: A precipitation climatology of the alps from high-resolution rain-gauge observations. *International Journal Climatology*, 18, 873–900. Atmospheric Science, ETH Zurich, Switzerland. 1998.
- García, C i Vilar, F. 2006. *La montaña: Manual de meteorología*. Editorial Alpina
- Garrels R. M. y Mackenzie R. T. (1967). Origin of the chemical composition of some springs and lakes. *Equilibrium concepts in natural water systems*. Am. Chem. Soc. Adv. Chem. Ser. 67, 222-242.

- Gibbs R. J. (1970). Mechanism controlling world water chemistry. *Science* 170, 1088-1090.
- Gold, E.: The upper air during Fohn. *Nature*, Volum 91, 2271, (282). 1913.
- Goldsmith, S.T., A.E. Carey, B.M. Johnsóm, S.A. Welch, W.B. Lyons, W.H. McDowell y J.S. Pigott, 2010. Stream geochemistry, chemical weathering and CO₂ consumption potential of andesitic terrains, Dominica, Lesser Antilles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74:85-103.
- GÓMEZ MARTÍN, B.. El fogony (efecto föhn) en el valle pirenaico de Sort. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, ##plugins.citationFormat.abnt.location##, 0, jun. 2002. ##plugins.citationFormats.abnt.retrieved##
- Gomez, B.: El fogony (efecto fohn) en el valle pirenaico de Sort. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 52, 311-320. 2001.
- Holub M. i J. Hübl: Local protection against mountain hazards – state of the art and future needs.
- Jaedicke, C.: Acoustic snowdrift measurements: experiences from the FlowCapt instrument.
- Jarrett, R.D., 1992. Hydraulics of Mountain Rivers. En B.C. Yen (Ed.), *Channel Flow Resistance: Centennial of Manning's Formula*. Water Resource Publication: 287-298. Littleton.
- Koffi, E., B. Bénech, J. Stein i B. Terliuc: Dynamic Characteristics of Regional Flows around the Pyrenees in View of the PYREX Experiment. Part II: Solution of a Linear Model Compared to Field Measurements. *Journal of applied meteorology*, 37, 53-71. Laboratoire d'Aérodologie, Université Paul Sabatier, Toulouse, France. 1998.
- Kohler T, Wehrli A, Jurek M, eds. 2014. Las montañas y el cambio climático: una preocupación mundial. Serie sobre el desarrollo sostenible de las regiones de montaña. Berna, Suiza, Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDE), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y Geographica Bernensia. 136 pp.
- Lampre Vitaller, F.: Clima de alta montana y sistemas morfoclimaticos frios en el macizo de la Maladeta (Pirineo aragones). *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 52. 2001.
- Lecomte, Karina & García, M. & Formica, Stella & Depetris, Pedro. (2011). Hidroquímica de ríos de montaña (Sierras de Córdoba, Argentina): elementos mayoritarios disueltos. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*.. 18. 41-60.
- Lehning, M., F. Naaim, M. Naaim, B. Brabec, J. Doorschot, Y. Durand, G. Guyomarc'h, J.L. Michaux, and M. Zimmerli: Snowdrift: acoustic sensors for avalanche warning and research. *NHESS (Natural Hazards and Earth System Sciences)*, 2, 121–128. 2002.
- Leybourne, M.I. y W.D. Goodfellow, 2010. Geochemistry of surface waters associated with an undisturbed Zn-Pb massive sulfide deposit: Water–rock reactions, solute sources and the role of trace carbonate. *Chemical Geology* 279:40-54.
- Martí, G., C.G. Sellés i S. Manguan: Situacions crítiques per allaus de les temporades 2004-05 i 2005-06 al Pirineu de Catalunya. II Jornada tècnica de neu i allaus del'IGC. Servei Meteorològic de Catalunya. 2006.
- Martínez Figueras, P. i P. Oller: Els accidents per allaus al Pirineu de Catalunya. I Jornada tècnica de neu i allaus del'IGC. Institut Cartogràfic de Catalunya. 2004.
- Martin-Vide, J. i J. Olcina: *Climas y tiempos de Espana*. ISBN: 84-206-5777-8. 2001.

- Martin-Vide, J.: "El clima i el relleu". Seccio del llibre Geografia General dels Paisos Catalans, I. Enciclopedia catalana. 1992.
- Mases M., D. Font i J.M. Vilaplana: Relationship between snowdrift development and drifted snow during a wind episode. International Glaciological Society, 26. 1998.
- Medina, S. i R. Houze jr.: Air motions and precipitation growth in alpine storms. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Department of Atmospheric Sciences, University of Washington. 2002.
- Musso A. i C. Cassardo: Climatologia del fohn. Nimbus. 2004.
- NHESS (Natural Hazards and Earth System Sciences), 8, 81–99. Institute of Mountain Risk Engineering. University of Natural Resources and Applied Life Sciences (Vienna, Austria). 2008. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/81/2008
- Olcina, J.: Tipologia de sequias en Espana. Eria, 56, 201-227. Instituto universitario de geografia. Universidad de Alicante. 2001.
- Oller, P.: Les allaus i la seguretat en muntanya. Revista Horitzó (CRECIT), 3, 26-31. Institut Cartogràfic de Catalunya. Grup de nivologia i allaus. 2003.
- Pascual R. i A. Callado: Accidentes de montana y vientos fuertes del norte en el Pirineo Mediterraneo. AEMET - Centre Meteorologic Territorial a Catalunya. 2007.
- Pascual, R.: Aplicaciones meteorológicas para el montañismo: una perspectiva actual. AEMET - Centre Meteorològic Territorial a Catalunya. 2006b.
- Pascual, R.: El efecto Fohn en el Pirineo Catalan. Características generales y un caso de estudio. AEMET - Centre Meteorologic Territorial a Catalunya. Boletín Informativo y Cultural de la Asociación Meteorológica Española (AME), 10, 20-24. 2005.
- Pascual, R.: La situació meteorològica del 30 de desembre de 2000 al Pirineu Oriental: Entrada sobtada de vents forts. Publicació de l'ACAM. VII Jornades de Meteorologia, Eduard Fontserè. Centre Meteorològic Territorial a Catalunya. 2001.
- Pascual, R.: Vents Forts al Pirineu: torb i fohn. II Jornada tecnica de neu i allaus de l'IGC. INM - Centre meteorologic territorial a Catalunya. 2006a.
- Pascual, R.: Vents Forts al Pirineu: torb i föhn. II Jornada tècnica de neu i allaus de l'IGC. INM - Centre meteorològic territorial a Catalunya. 2006a.
- Raymo, M.E. y W.F. Ruddiman, 1992. Tectonic forcing of Late Cenozoic climate. Nature 359:117-122.
- Redmond, K.T.: Climate in Three Dimensions: Integrated Mountain Climate Observations. CCSP Workshop Climate Science in Support of Decision Making. Western Regional Climate Center, Desert Research Institute. 2005.
- Roca, M., 2022. La percepció social dels riscos naturals.
- Rotunno, R. i R.Ferretti: Mechanisms of Intense Alpine Rainfall. Journal of the atmospheric sciences, 58, 1732-1749. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado. 2001.
- Sacasas, J.: Meteorologia del Pirineu catala. Publicacions de l'Abadia de Montserrat. ISBN: 84-8415-113-1. 1999.

- Sacacas, J.: Meteorologia i muntanya. Publicacions de l'Abadia de Montserrat. ISBN: 84-8415-800-4. 2006.
- Stallard, R.F. y J.M. Edmond, 1983. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research* 88:9671-9688.
- Super, A.B.: The mountain snowpack as environmental indicator. Montana State University. 1971.
- Thillet, J.J.: La meteo de montagne. Editions du Seuil. 1997.
- Úbeda. X.; Sala, M.; Rovira, A.; Batalla, R.J. Guia pràctica per l'estudi de l'aigua. 255, pp. 1 - 80. Barcelona(España): 2002. ISBN 84-8338-319-5. Depósito legal: B-32.504-2002
- Vergés, Jaume. (1993). Estudi geològic del vessant sud del Pirineu oriental i central. Evolució cinemàtica en 3D.
- Vilaplana J.M.: L'impacte dels riscos naturals en zones de muntanya. I Jornada tecnica de neu i allaus de l'IGC. 2004.
- Wiegandt E. (2008). Mountains: Sources of water, sources of knowledge. Springer, Holanda, 382 pp.
- Wohl E. (2000). Mountain rivers. Water resources monograph 14. American Geophysical Union, Washington, D.C., EUA, 320 pp.
- Wohl E. (2010). Water resources monograph series, Vol. 19. American Geophysical Union. Washington D.C., EUA, 573 pp.
- Xercavins i Comas, Agustí. «Estudi comparatiu del clima de les altes valls del Ter i Freser». *Estudi General*, [en línia], 1981, Núm. 1, p. 241-50, <https://raco.cat/index.php/EstudiGral/article/view/52323> [Consulta: 11-06-2022].
- Zangl G., B. Chimani i C. Haberli: Numerical simulations of the Foehn in the Rhine Valley on 24 October 1999 (MAP IOP 10). Meteorologisches Institut der Universitat Munchen, Munich, Germany. 2002.