



GOVERN D'ANDORRA  
MINISTERI DE TURISME I MEDI AMBIENT

ESTUDI RELATIU A:

**“LES AIGÜES SUBTERRÀNIES DEL PRINCIPAT D’ANDORRA”**

Document: DOC 3. MODEL HIDROGEOLÒGIC

Andorra la Vella, 30 d'agost de 2007

EXPED. DMA. 0423/05



1	INVENTARI DE PUNTS D'AIGUA .....	3
2	PROFUNDITATS I MAPA PIEZOMÈTRIC .....	3
3	MAPA DE DIRECCIÓ DEL FLUX SUBTERRANI .....	4
4	CONDUCTIVITAT HIDRÀULICA .....	5
5	MODEL HIDROGEOLÒGIC .....	7
A	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ .....	11
A.1	Transectes de conductivitat.....	12
A.1.1	Transecte Valira del Nord-riu de Pal-riu d'Arinsal.....	13
A.1.2	Transecte Valira d'Orient-riu Montaup.....	14
A.1.3	Transecte riu Cortals d'Encamp .....	15
A.1.4	Transecte riu Ós de Civís .....	16
A.1.5	Transecte Gran Valira .....	17
A.2	Metodologia seguida per a la realització del mapa piezomètric .....	20

## 1 INVENTARI DE PUNTS D'AIGUA

Les fonts d'informació consultades per cartografiar els punts d'aigua tan superficial com freàtica han estat:

-Fonts/surgències inventariades en la cartografia topogràfica digital a escala 1/5000 (1995) i a escala 1/10000 (2003) del Principat d'Andorra

-Captacions d'aigua potable inventariats pel Ministeri de Salut i Benestar i per Hidric

-Recull de punts d'aigua i nivells estàtics obtingut dels informes geològics facilitats pel M.H. Govern d'Andorra i M.I. Comuns. Per la representació dels nivells estàtics s'ha usat els valors mitjos.

Es tracta de punts d'aigua permanent.

Com a punts d'informació complementària s'ha consultat l'inventari de molleres (Departament de Medi Ambient), així com l'inventari de sondeigs i pous del buidat d'estudis facilitats per les administracions comunals i governamentals.

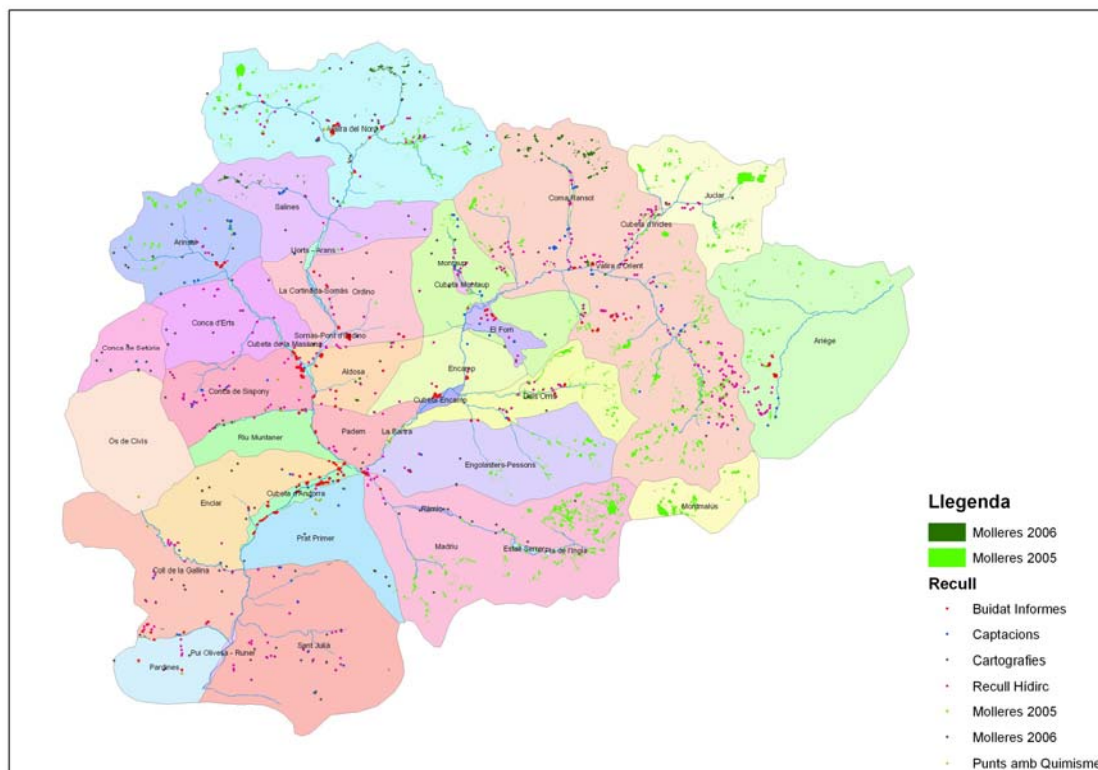


Figura 1. Mapa amb l'inventari de punts d'aigua

## 2 PROFUNDITATS I MAPA PIEZOMÈTRIC

De cara a estimar la profunditat del nivell freàtic s'ha usat el mapa piezomètric elaborat en l'estudi *Avaluació inicial dels recursos hídrics subterranis del Departament de Medi Ambient - Igeotest (2004)*, calibrant-se amb l'inventari de punts d'aigua superficial permanents (fonts i rius), així com el de punts d'aigua freàtica elaborat en el present estudi, tal i com es descriu en el capítol A2 del present document.

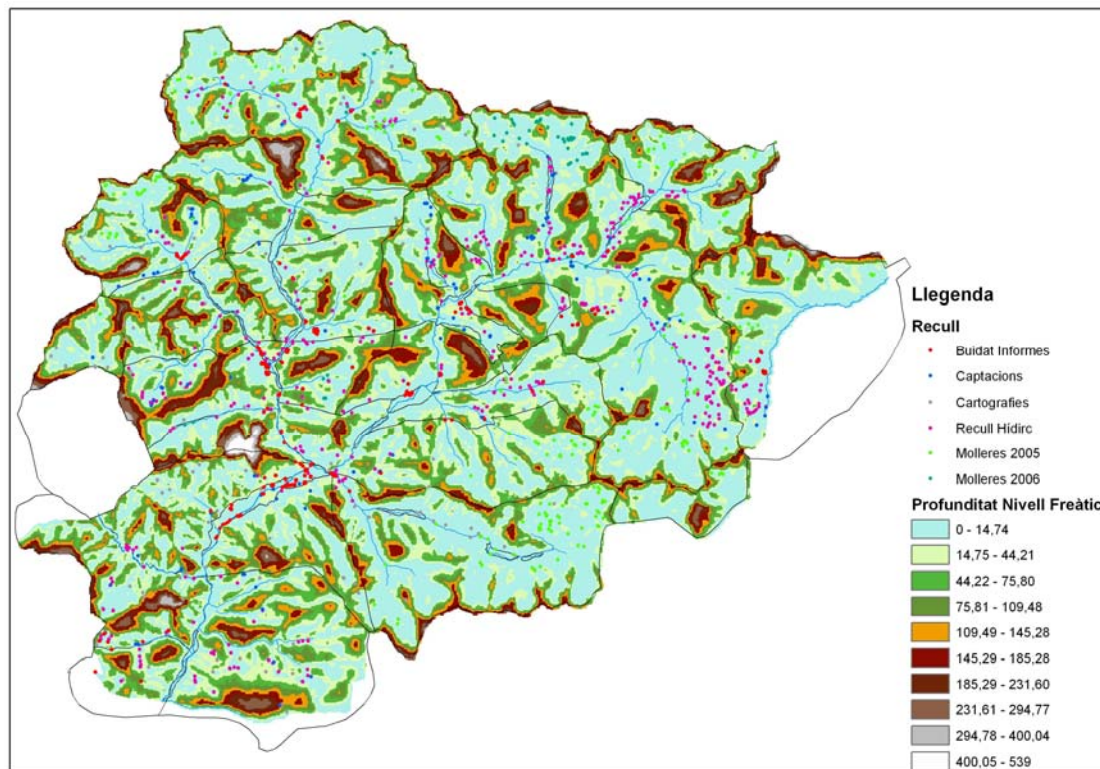


Figura 2. Mapa de profunditats de l'aigua

Quan es parla de profunditats de l'aigua o de la superfície piezomètrica en aquífers en roca fissurats-fracturats cal tenir present que degut a la interconnexió de les fractures es tracta de superfícies piezomètriques virtuals, on cada una presenta un nivell piezomètric propi.

### 3 MAPA DE DIRECCIÓ DEL FLUX SUBTERRANI

En base al mapa piezomètric s'ha traçat el mapa de direccions del flux subterrani.

Es tracta d'un model basat en limitades dades puntuals, que en la mesura que es puguin recollir noves lectures de nivells piezomètrics s'aproximarà més a la complexa realitat dels aquífers fissurats.

Aquest mapa permet interpretar la trajectòria dominant de l'aigua subterrània, i observar que els principals cursos d'aigua superficial es recarreguen pels aportos subterranis, per tant hi ha una certa similitud entre les conques hidrogràfiques i hidrogeològiques, i és el marcat gradient topogràfic el que condiciona el funcionament hidràulic de l'aigua subterrània i superficial, donant lloc a que les direccions de flux subterrni, vagin dirigides cap a les zones més deprimides i amb menor potencial hidràulic (torrents i rius).

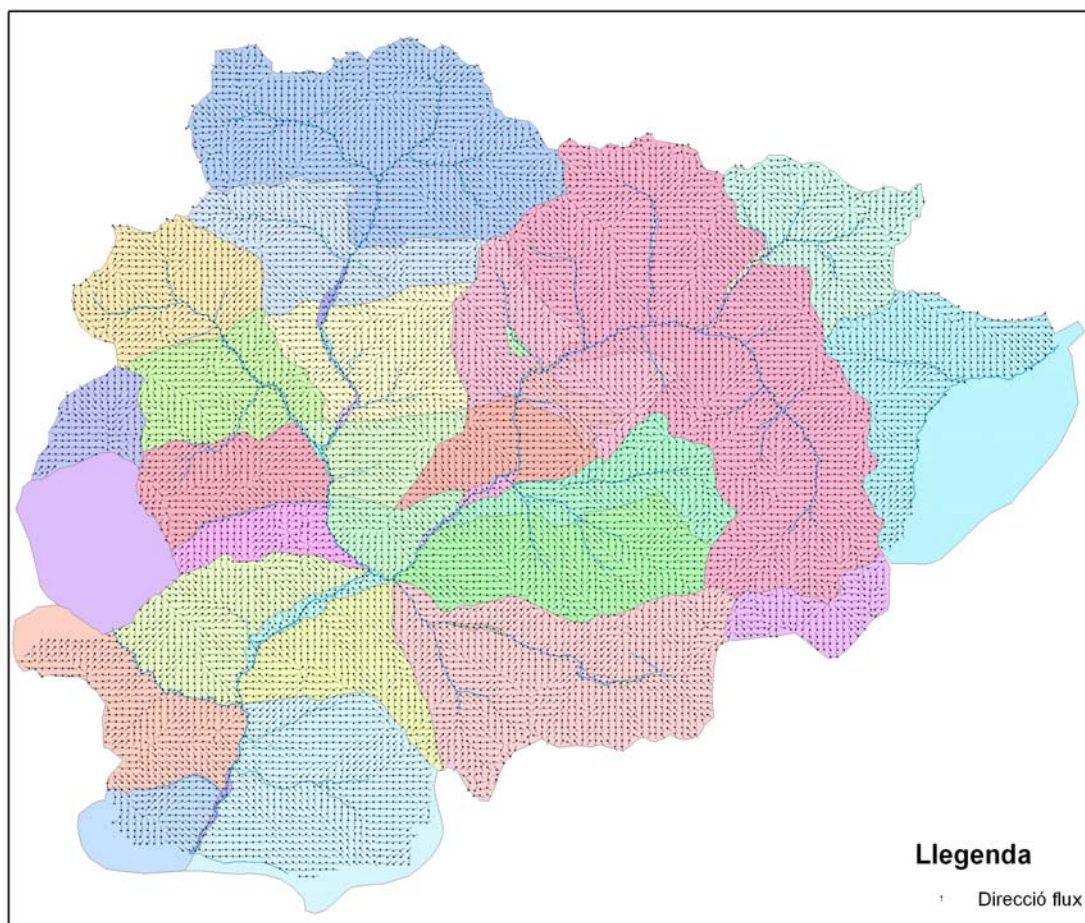


Figura 3. Mapa de direccions del flux subterrani

#### 4 CONDUCTIVITAT HIDRÀULICA

En base al recull de paràmetres hidrogeològics obtingut a través dels diferents estudis consultats facilitats per l'administració, s'observa que la conductivitat hidràulica del substrat rocós, és en conjunt baixa, per sota de la unitat (expressada en m/dia), excepte en punts concrets on s'identifica un substrat més alterat:

Situació	material	K (m/dia)	T (m <sup>2</sup> /dia)
Madriu	Granodiorita	0,47	
La Massana	Gresopelites	1,7	7
Espiolets	Pissarres carbonoses	6,2	479
Espiolets	Pissarres carbonoses	10,2	371
Túnel Pont Pla	Corneanes amb quars	0,000052- 0,047	-
Envalira	Gresopelites	0-0,044	
Rabassa	microconglomerats i quarsites	<2	75
Fontaneda	Pissarres carbonoses	<0,02	3

Taula 1. Conductivitats hidràuliques (K) i transmissibilitats (T) de les principals formacions litològiques compactes del Principat

En aquífers fissurats el flux d'aigua és més complex que en medis en règim laminar, essent més complicat d'estudiar el seu comportament hidràulic. La conductivitat hidràulica per fissuració en les roques del territori andorrà, que és bàsicament secundària (discontinuitats estructurals i alteració mecànica per processos de meteorització), depèn molt de factors com la tectònica soferta, la presència d'activitat endògena (presència de dics, filons, intrusions), del clima (càlid, humit, sec, fred), i descompressió glacial i erosió. Així mateix, el tipus de fractures, la freqüència i amplada d'aquestes, i l'orientació influiran decisivament amb la permeabilitat, permetent un bon o mal drenatge, podent tenir, doncs un gran ventall de valors, segons les particularitats de cada cas.

En el cas dels dipòsits porosos, la conductivitat hidràulica també és molt variable, però més fàcilment acotable, essent varis els autors que proposen diversos valors, segons la granulometria i estructura (Custodio i Llamas, 1983, Jimenez i de Justo, 1975).

Segons les dades recollides en estudis consultats, les formacions aquíferes superficials poroses presenten valors per sobre la unitat en conjunt, variant segons el sector i segons el tipus de material assajat, existint diferències en la component vertical, com s'observa en el reompliment de la cubeta d'Andorra la Vella:

Situació	material	K (m/dia)	T (m <sup>2</sup> /dia)
La Bartra	Dipòsits al.luvials	3,2-26	257
Engordany	Sorres, graves i còdols	17-39	520-1402
Cubeta Andorra	Dipòsits al.luvials superficials	190-270	1897-3384
Cubeta Andorra	Dipòsits al.luvials superficials (2-8m)	2-927	-
Cubeta Andorra	Dipòsits al.luvials (11-25m)	0,01-77	-
Serradells	Dipòsits mixtes	3-750	-
Cubeta Andorra	Dipòsits al.luvials (20m)	101	405
Cubeta Andorra	Dipòsits al.luvials (24m)	75,2	376
Cubeta Escaldes	Dipòsits al.luvials (5-13,6m)	14-80	-
La Massana	Dipòsits col.luvionars i till	24	-
La Massana	Dipòsits al.luvials	25	-

Taula 2. Conductivitats hidràuliques (K) i transmissibilitats (T) dels principals dipòsits porosos del Principat

## 5 MODEL HIDROGEOLÒGIC

L'entorn geològic del Principat està format per un substrat paleozoic fracturat en fondària pels esforços tectònics als quals ha estat sotmès, i fissurat en superfície pels processos de meteorització. Parcialment el substrat rocós està cobert per dipòsits quaternaris acumulats principalment en el fons de les principals valls. Aquest entorn permet diferenciar dos models d'aqüífers: aqüífer porós intergranular, i aqüífer fissurat. En l'aqüífer porós el flux és intergranular i l'aigua avança pels poros existents en els dipòsits quaternaris no consolidats principalment; es tracta d'un tipus d'aqüífer format per materials permeables. En l'aqüífer fissurat el flux té lloc a través de les fissures o fractures de les roques. A diferència dels aqüífers porosos, aquests tenen poca capacitat per emmagatzemar aigua, i per cedir-la, essent en conjunt poc conductors.

Dins dels aqüífers fissurats-fracturats es distingeix els pròpiament fissurats dels fissurats-carstificats. Aquests darrers afecten a un tipus de substrat concret, el format per calcàries, que per la seva litologia són favorables a patir carstificació com l'observada en la unitat dels Orris (torrent del Griu), o en la unitat del Valira d'Orient, (en un torrent procedent d'Envalira) o la identificada mitjançant els transectes de conductivitat (**Annex A1 de documentació**) en la unitat d'Ordino, Montaup i Erts. A diferència dels aqüífers estrictament fissurats, els fissurats-carstificats poden ser molt conductors quan el flux intercepta una fissura carstificada.

Així mateix en els aqüífers en roca també es distingeix els estrictament fracturats, formats per un substrat fràgil afectat intensament per diferents famílies de fractures, de tipus cristal·lí.

Hidrogeològicament, s'han agrupat les unitats en 4 grans grups, i en la **figura 4** es mostra la distribució d'aquestes unitats aqüíferes :

Tipus d'aqüífer	Material involucrat
Càrstic fissurat	Calcàries i pissarres del Devonià
Fracturat	Granodiorites i gneisos i corneanes
Fissurat	Sèries gresopelítiques i pissarres negres
Porós no consolidat	Sediments poligènics no consolidats

Taula 3. Unitats aqüíferes

L'heterogeneïtat de les fissures-fractures permet parlar de dos tipus de circulacions del flux en els aqüífers fissurats i fissurats-carstificats: circulació ràpida, responsable de pujades ràpides en els cabals de les fonts i rius associats a events plujosos i fosa de neu, amb poca capacitat de regulació, i una circulació lenta responsable dels cabals mínims de les fonts i rius durant l'estiu i hivern o època de poques precipitacions.

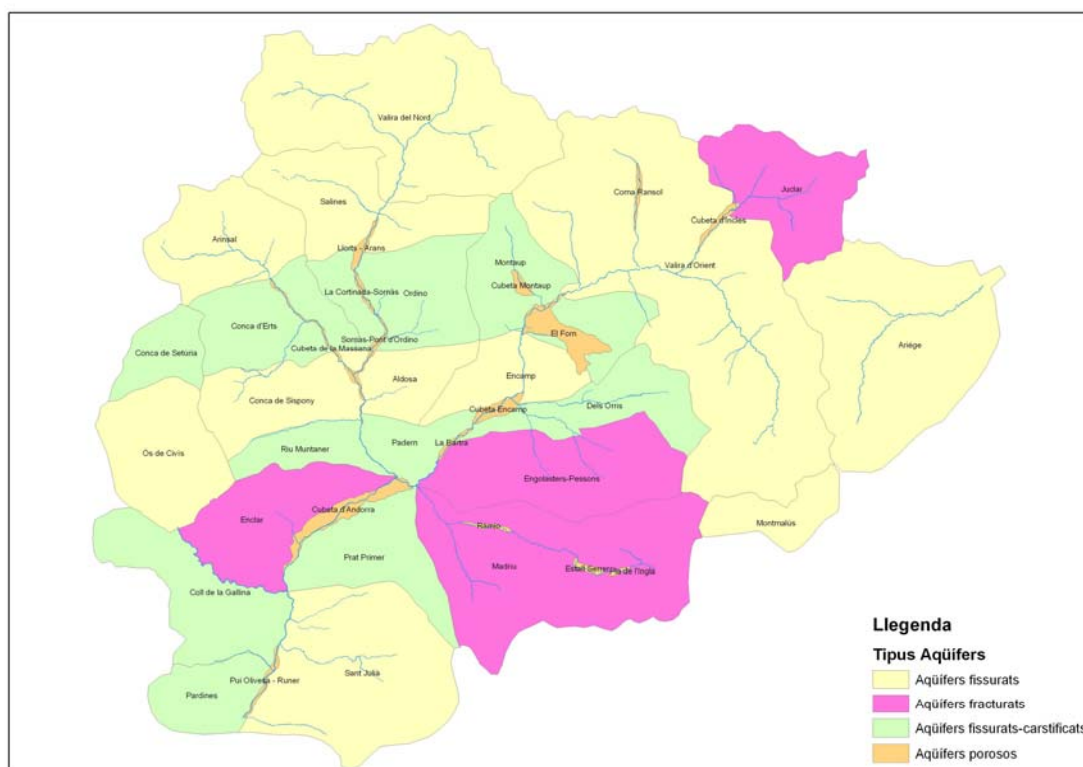


Figura 4. Mapa d'unitats aqüíferes

En la figura 5 es mostra un esquema sintètic de la descàrrega i recàrrega dels aqüífers fissurats. En aquest tipus d'aqüífers (d) la recàrrega es deu a la infiltració (a) de les precipitacions i fosa de neu a través de les fissures superficials i fractures més fondes, i la descàrrega es dona a través de fonts i de manera difusa cap als rius, els quals també s'alimenten de l'escolament superficial directe de les precipitacions (b). La majoria de fonts tenen lloc per la intercepció de la topografia amb el nivell freàtic i per l'aflorament de nivells menys permeables per sobre dels quals es troba el nivell freàtic, i per la intersecció de fractures saturades, amb la topografia.



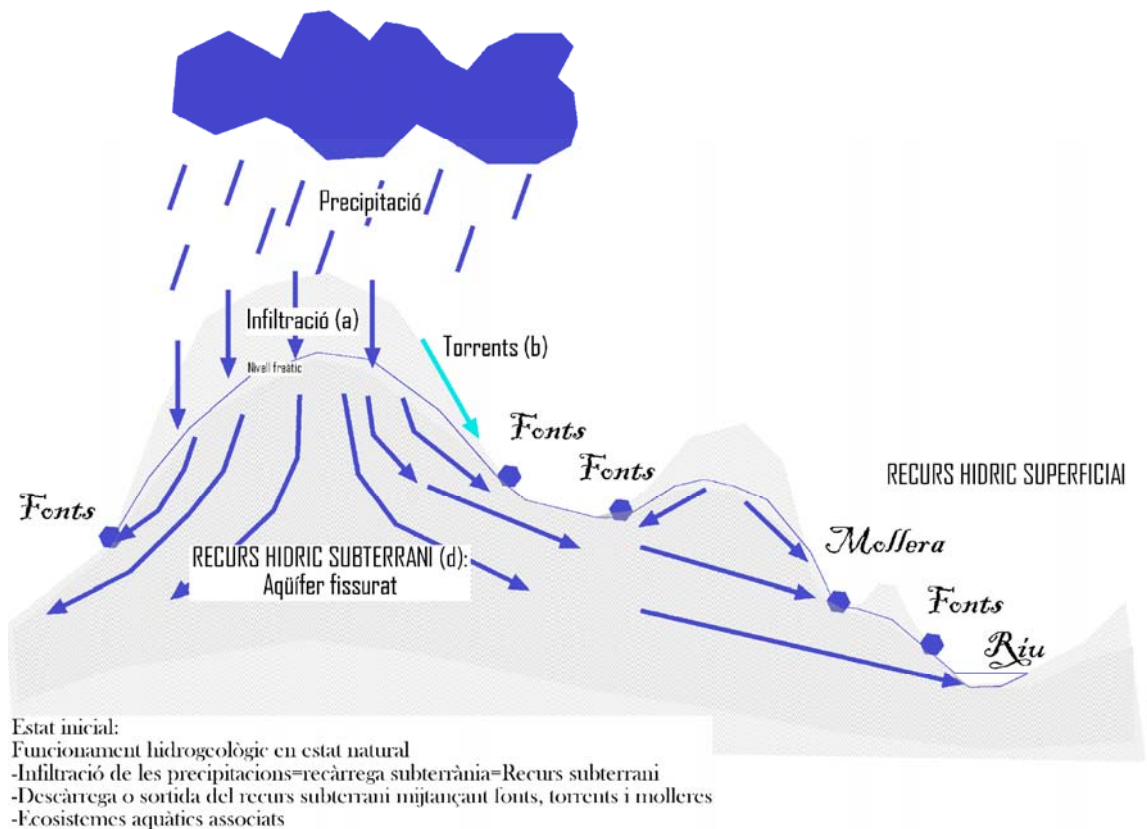


Figura 5. Esquema del funcionament hidrogeològic general

Sovint aquests aqüífers estan recoberts de dipòsits detrítics (col.luvions, till, etc) que suavitzen el règim d'alimentació i per tant la descàrrega. Malgrat que la formació superficial dels vessants mig i alt no constitueixen aqüífers importants, formen un mínim de reservori com per difondre els aports procedents del substrat fissurat i la fosa de neu acumulada directament o per sobre, i regular-ne el drenatge, aportant sovint un cabal base en nombroses fonts, mulleres, i estanys.

En el fons de les valls es troben els dipòsits al.luvials i glacioal.luvials que reomplen les cubetes de sobreexcavació glacial. Aquests dipòsits constitueixen els aqüífers intergranulars. Formen junt amb els rius i els aqüífers fissurats que els envolten, un sistema hidràulic, en el qual la recàrrega i descàrrega generalment ve donada pel nivell relatiu de l'aigua en els rius, podent ésser aquests influents o efluents segons el moment. La recàrrega també té lloc a través del flux procedent dels aqüífers fissurats.

La presència de nivells planoparal.lels menys permeables entre els nivells més permeables dona peu a que sovint aquests aqüífers siguin considerats multicapa.



## 6 BIBLIOGRAFIA

Custodio, E. i Llamas, R. 1983. *Hidrología Subterránea*. 2 tomos. 2<sup>a</sup> ed. Ed. Omega. Barcelona. 2347 p.

Jiménez, J.A. i de Justo, J.P. 1975. *Geotecnia y cimientos*. 4 tomos. 2<sup>a</sup> ed. Ed. Rueda 466p.



## A ANNEX DE DOCUMENTACIÓ



## A.1 Transectes de conductivitat

S'ha realitzat una segona campanya de camp de cara a establir el grau d'interconnexió entre les aigües superficials i les subterrànies. La campanya està basada en la mesura de la conductivitat elèctrica d'aigües superficials principalment i centrada en els eixos hídrics principals que intersectin diferents litologies, i en trams on no es detecti apports antròpics (clavegueram) que puguin alterar la conductivitat pròpia del riu.

El nombre de mostrejos ha estat de 118 punts repartits bàsicament entre el riu Valira del Nord, Valira d'Orient, Gran Valira, riu Cortals d'Encamp, riu Montaup, riu de Pal, riu d' Arinsal i riu d'Ós de Civís.

En cada punt de mostreig s'ha dut a terme les determinacions de conductivitat, pH i temperatura.

En la **taula A1** s'adjunta els punts mostrejats.

En la **figura A1 de l'Annex** es mostra la situació dels punts on s'ha fet control dels paràmetres fisicoquímics.

### A.1.1 Transecte Valira del Nord-riu de Pal-riu d'Arinsal

La conductivitat de les aigües que circulen entre materials esquistosos del Cambroordovicià és baixa, amb valors per sota dels  $50\mu\text{S}/\text{cm}$ . En aquests trams (Tristaina, capçalera d'Arinsal) les aigües dels rius principals presenten conductivitats baixes, associat a una recàrrega a través de torrents laterals i de fonts com el de l'Angonella, fonts d'Encodina, riu de Sorteny, riu Pollós.

La conductivitat de les aigües que circulen entre materials calcaris és relativament alta amb valors per sobre dels  $50\mu\text{S}/\text{cm}$ , normalment per sobre de  $100\mu\text{S}/\text{cm}$ . És en aquest tram comprès entre Llorts i Ordino i entre Arinsal i la Massana que s'observa pujades en el valor de la conductivitat en trams exempts de torrents laterals, cas del sector de la Cortinada i Xixerella (**figura a**), associat a recàrregues subterrànies. Així mateix els rius es van mineralitzant amb els aportats dels torrents laterals, com el d'Ensegur, Segudet, Sornàs, Pal, riu de Comallempla, riu del Cubil.

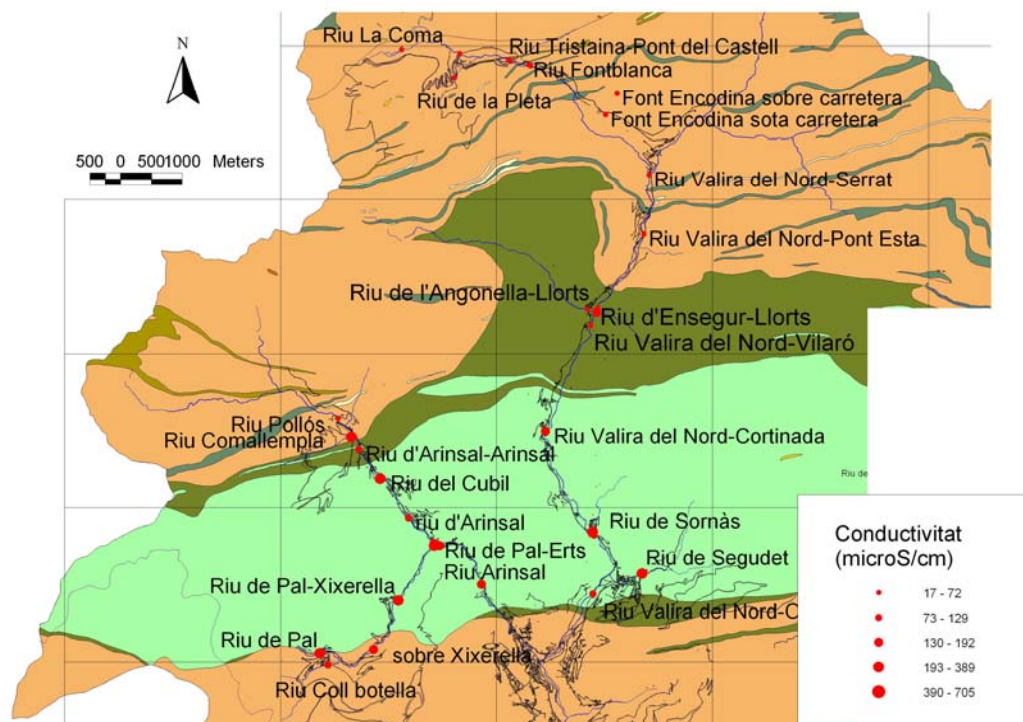


Figura a. Sector del Valira del Nord

### A.1.2 Transecte Valira d'Orient-riu Montaup

Tal i com s'ha observat en el transecte del Valira del Nord (**figura a**), les aigües dels rius que circulen entre materials esquistosos, del Cambroordovicià, presenten valors de conductivitat baixa, com també passa en les aigües que circulen entre materials intrusius (gneissos i granits), cas del tram comprès entre Canillo i Grau Roig (**figura b**). Les aigües experimenten una pujada en la conductivitat quan detecten l'entrada de fluxos procedents de les calcàries. Aquests fluxos són subterranis en el riu de Montaup i sector del pont de Mereig i EDAR Canillo (aigües amunt EDAR), exempts de torrents amb escolament superficial. En el sector de Montaup s'observa que gradualment va augmentat la conductivitat de cota alta cap a cota baixa.

En el cas de la Vall d'Incles s'observa un enriquiment des del pont d'Incles fins a la confluència amb el riu Valira d'Orient. Aquest enriquiment s'associa amb els evidents aports antròpics (claveguerams).

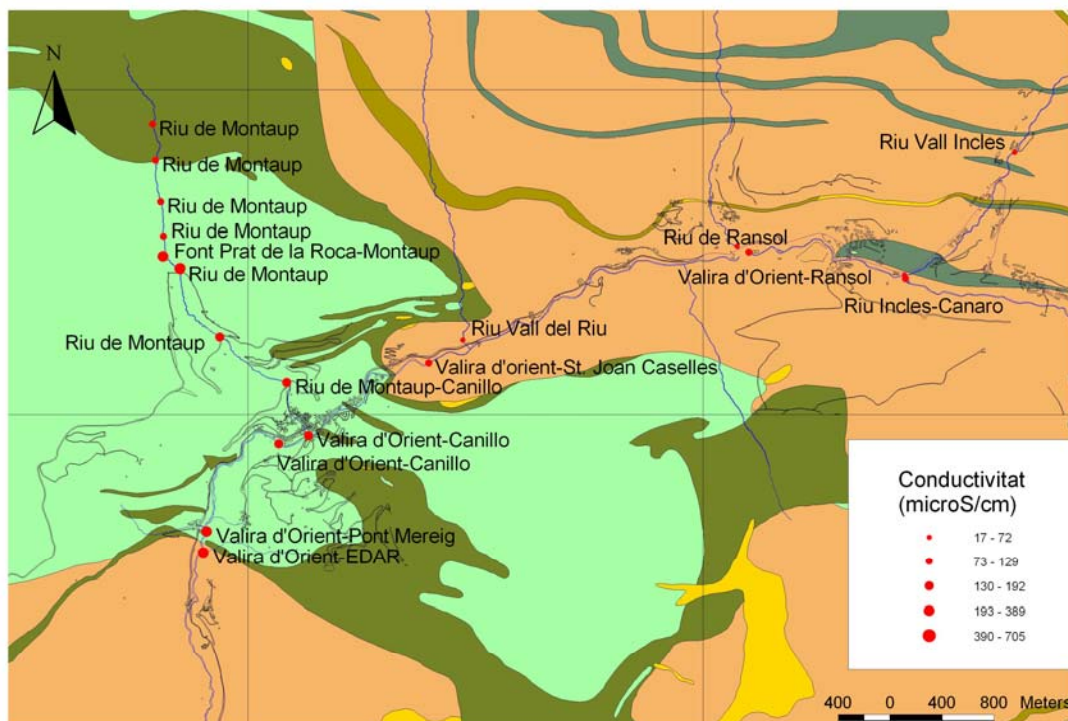


Figura b. Sector del Valira d'Orient

### A.1.3 Transecte riu Cortals d'Encamp

El riu dels Cortals circula en capçalera per materials ignis, granodiorítics, que li donen una conductivitat baixa, inferior a  $50\mu\text{S}/\text{cm}$  (figura c). A mesura que avança per terrenys calcaris i pissarres carbonoses la conductivitat va augmentant, fins a presentar valors superiors a  $100\mu\text{S}/\text{cm}$ . Aquest augment es deu bàsicament als aportos dels diferents torrents, aiguamolls i descàrregues difuses que descarreguen directament cap al riu, com és el cas dels aiguamolls dels Orris, del Campeà, i riu del Caire.

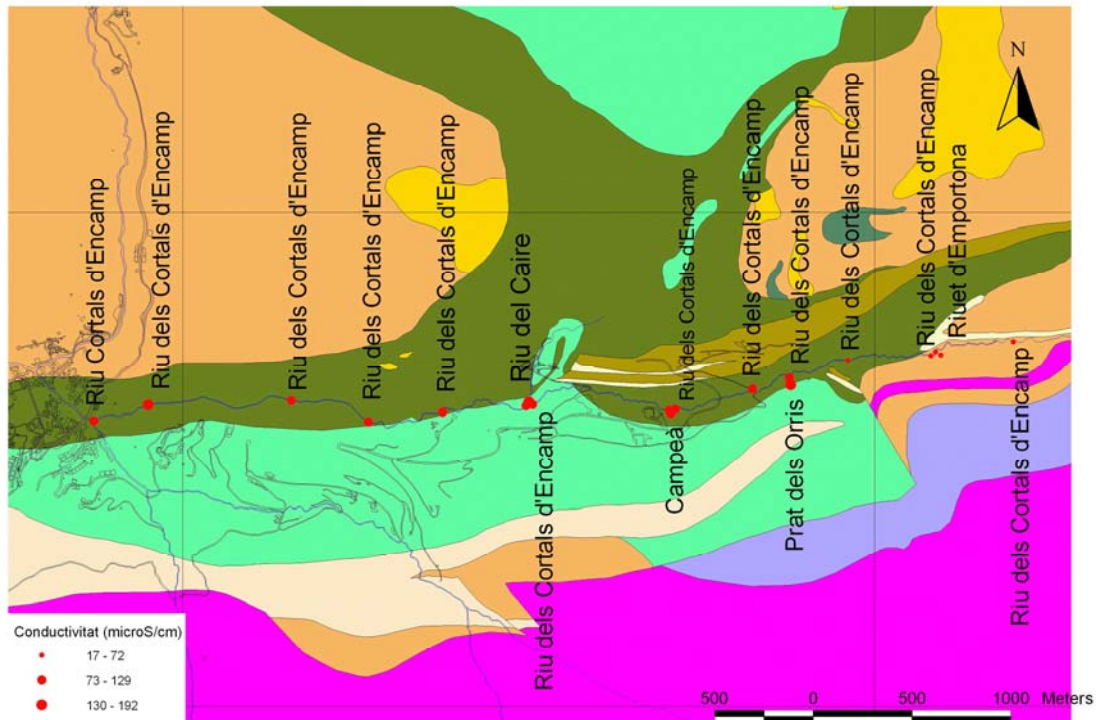


Figura c. Sector dels Cortals d'Encamp

#### A.1.4 Transecte riu Ós de Civís

La conductivitat al llarg del riu d'Ós de Civís (fins alçada d'ITV) no és molt variant ja que tant sols oscil·la entre els 116 i els 190 $\mu$ S/cm malgrat la varietat litològica per on circula, no obstant això, s'observa que existeix un lleuger enriquiment dins el poble d'Ós de Civís que no s'ha de descartar que s'atribueixi a aportats antròpics, tot i que la presència de calcàries en aquesta zona pot ser-ne també la causa. Aquestes calcàries també se'ls atribueix l'enriquiment del riu aigües avall del poble. Per sota el sistema de sanejament autònom de Bixessarri també s'observa un augment en la conductivitat del riu, que possiblement cal associar a l'abocament procedent del mateix sistema (figura d).

Aquests enriquiments per aportats antròpics també són els responsables de les altes conductivitats que el riu té en el sector d'Aixovall, associat a abocaments amb valors puntuals superiors als 600 $\mu$ S/cm. Aquests abocaments van associats també a altes temperatures.

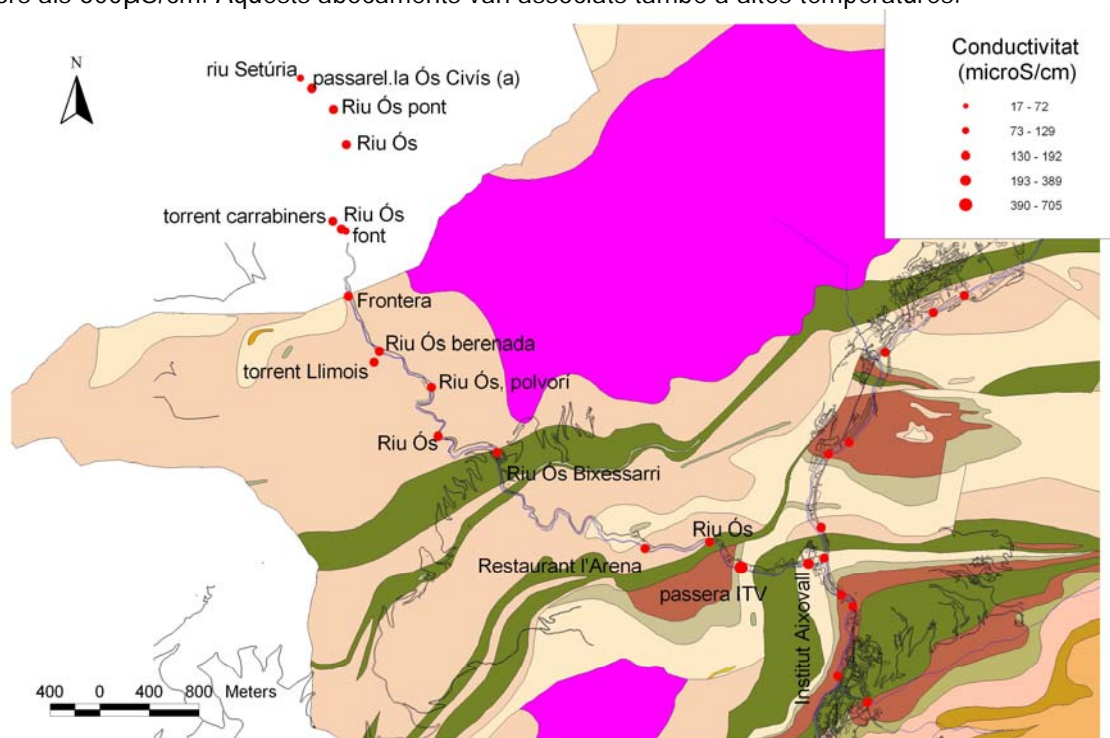


Figura d. Sector d'Ós de Civís



### A.1.5 Transecte Gran Valira

Com en el cas del riu d'Òs de Civís, al llarg del riu Gran Valira no s'observa massa variació de la conductivitat (entre 210 i 150 $\mu$ S/cm), no obstant s'observa una baixada de la conductivitat entre el pont del laboratori d'aigües i Sta Coloma (pont Poblado) que s'associa amb els aportes de fluxos subterranis procedents del sector de la Comella i Enclar, sectors en els quals els seus respectius torrents baixen secs i procedeixen de conques que se'ls associa una baixa mineralització de les aigües (figura e).

També s'observa un augment de la conductivitat en el sector de la Margineda, sector que tampoc presenta cursos d'aigua laterals, pel que s'associa aquest enriquiment amb l'entrada o recàrrega del riu d'aports procedents del vessant calcari.

En el sector de St. Julià no es detecta entrades de fluxos subterranis. Els aportes superficials procedents de rius de la Peguera i d'Auvinyà, de conductivitat tant inferior com superior a la de riu Valira, tampoc acaben alterant la conductivitat del riu Valira associat a que el cabal dels aportes laterals és molt inferior al del riu Valira; pel que si existeixen entrades subterrànies, són de cabal molt menor al del riu, pel que passen desapercebudes.

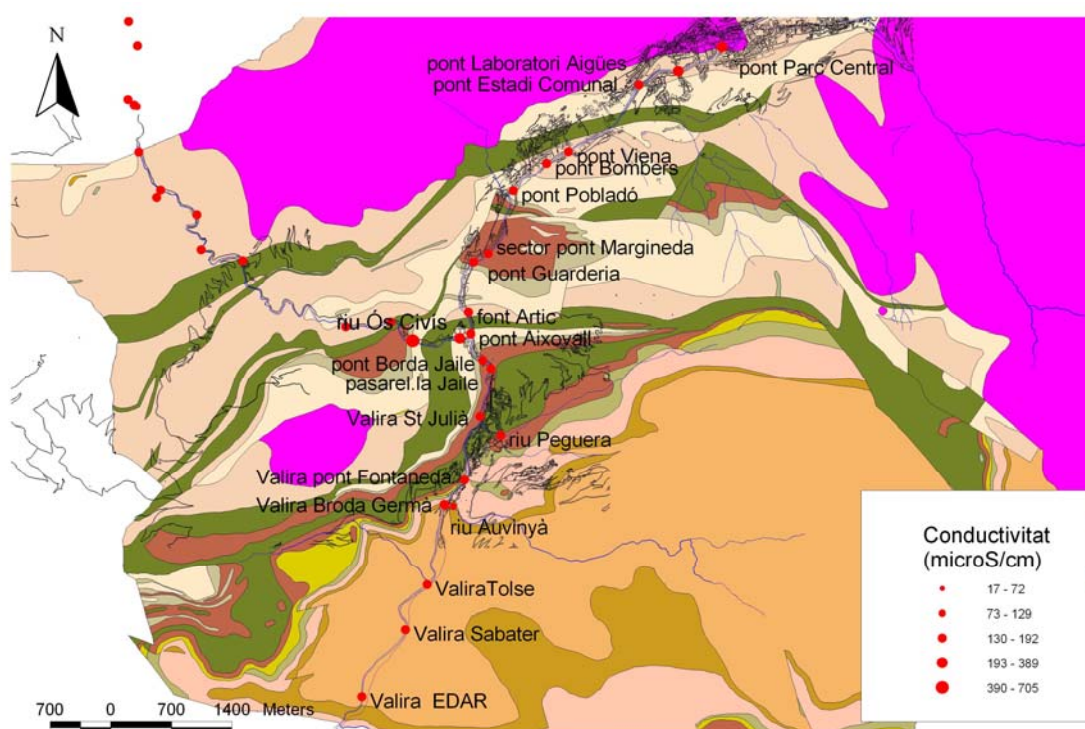


Figura e. Sector de Gran Valira

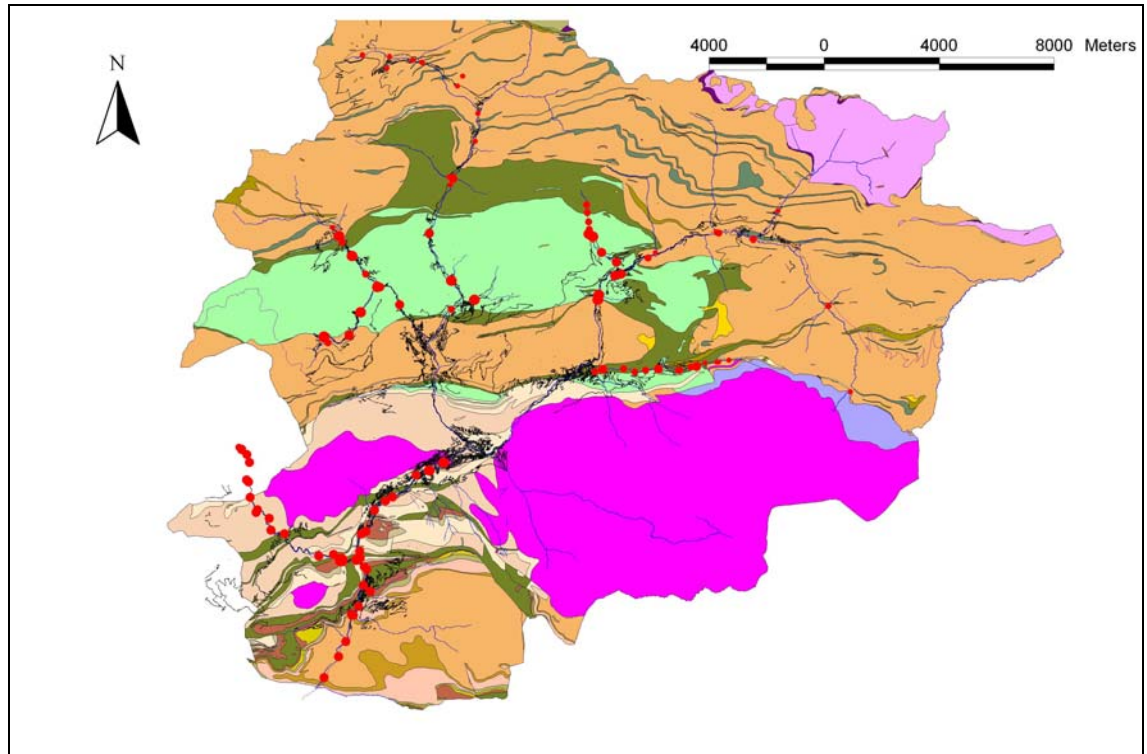
Nom	Id	X	Y	data	Conductivitat μS/cm	pH	T °C	Cabal m3/dia	mostra
Font Gasopàs mig		549866,7	27602,6	12/7/06	82	7,95	16,75		FQ
Font Gasopàs superior		549778,8	27625,8	12/7/06	71	8,04	8,8		FQ
Riu Sorteny		534857,6	35916,4	11/7/06	46	7,96	13,9	16804,4	FQ
Riu Tristaina		534316,3	35696,6	11/7/06	51	47,95	14,3	22043,6	FQ
Font entrada mina		534056,9	33698,6	11/7/06	89	4,45	8,55	61,82	FQ
Torrent de Sornàs		533650,6	30000,2	11/7/06	211	8,47	14,25		FQ
Riu Incles		546198,3	33359,9	12/7/06	26	8,1	15,3		FQ
Font Griu		542564,1	26141,4	13/7/06	13	6,44	7		FQ
Riu La Coma	1	530464,4	37441,5	19/7/06	66	8,08	13,3		FQ
Riu de la Pleta	2	531319,8	36990,8	19/7/06	56	8,08	7,25		FQ
Riu Tristaina	3	531404,2	37378,2	19/7/06	44	8,07	13,4		FQ
Riu Tristaina-Pont del Castellar	4	532200	37278,8	19/7/06	58	8,11	13,45		FQ
Font Pont Castellar	5	532224,9	37270,1	19/7/06	31	7,5	8,6		FQ
Riu Fontblanca	6	532526,5	37196,9	19/7/06	17	7,66	12,55		FQ
Riu Tristaina	7	532555,1	37174,5	19/7/06	54	8,2	13,3		FQ
Font Encodina sobre carretera (turistes)	8	533953	36718,9	19/7/06	21	7,72	11,45		FQ
Font Encodina sota carretera	9	533768	36376,3	19/7/06	35	7,74	7,1		FQ
Riu Valira del Nord-Serrat	10	534475,7	35406,7	19/7/06	57	8,2	14,55		FQ
Riu Valira del Nord-Pont Estarell	11	534387,4	34436,5	19/7/06	54	8,1	15,05		FQ
Riu Valira-Llorts	12	533640,2	33234,3	19/7/06	58	7,9	15,5		FQ
Riu d'Ensegur-Llorts	13	533624,8	33163,9	19/7/06	170	8,59	14,6		FQ
Riu de l'Angonella-Llorts	14	533469,5	33215,9	19/7/06	40	7,91	15,4		FQ
Riu Valira del Nord-Vilaró	15	533528,3	32951,8	19/7/06	59	8,07	16		FQ
Riu Valira del Nord-Cortinada	16	532791,8	31239,5	19/7/06	175	8,02	13,75		FQ
Riu Valira del Nord-Ordino	17	533563,1	28599,8	19/7/06	106	8,35	16,25		FQ
Riu de Segudet	18	534360,4	28934,4	19/7/06	241	8,6	13,75		FQ
Riu de Sornàs	19	533559,2	29613,1	19/7/06	236	8,51	12,6		FQ
Riu Valira del Nord-Sornàs	20	533580,4	29558,1	19/7/06	94	8,23	15,95		FQ
Riu de Pal-Erts	21	530994,7	29383,6	19/7/06	256	8,44	13,25		FQ
Riu d'Arinsal-Erts	22	530986	29423,2	19/7/06	153	8,4	14,1		FQ
Riu Arinsal	23	531076,6	29384,6	19/7/06	169	8,41	13,95		FQ

Nom	Id	X	Y	data	Conductivitat μS/cm	pH	T °C	Cabal m3/dia	mostra
Riu de Pal-Xixerella	24	530411,4	28493,8	19/7/06	203	8,41	13,05		FQ
Riu de Pal sobre Xixerella	25	530010,3	27704,2	19/7/06	178	8,35	12,3		FQ
Riu de Pal-Pal	26	529138,8	27645,4	19/7/06	389	8,04	10,2		FQ
Riu Coll botella	27	529271,8	27450,6	19/7/06	116	8,07	11,7		FQ
Riu Pollòs	28	529429,9	31444,9	19/7/06	17	7,7	13,6		FQ
Riu Comallempa	29	529647,8	31148,9	19/7/06	280	8,41	14,15		FQ
Riu d'Arinsal-Arinsal	30	529770,3	30950,3	19/7/06	113	8,27	13,4		FQ
Riu del Cubil	31	530116,4	30467,3	19/7/06	235	8,6	13,3		FQ
Riu d'Arinsal	32	530153,9	30466,3	19/7/06	113	8,3	13,4		FQ
riu d'Arinsal	33	530578,2	29835,8	19/7/06	120	8,3	13,4		FQ
Riu Arinsal	34	531758,3	28756,9	19/7/06	156	8,37	13,8		FQ
Riu de Montaup	35	539779,4	30604,4	20/7/06	169	8,57	11,35		FQ
Riu de Montaup	36	538479,1	31114,8	20/7/06	153	8,47	11,25		FQ
Riu de Montaup	37	538469,5	31125	20/7/06	147	7,43	11,55		FQ
Font Montaup	38	538479,7	31128,2	20/7/06	201	8,3	7,1		FQ
Font Prat de la Roca-Montaup	39	538346,5	31219,1	20/7/06	207	8,3	15,4		FQ
Riu de Montaup	40	538349,7	31374,1	20/7/06	129	8,39	11,75		FQ
Riu de Montaup	41	538265,8	32234,1	20/7/06	76	8,04	13,4		FQ
Riu de Montaup	42	538290,2	31958,7	20/7/06	90	7,94	12,35		FQ
Riu de Montaup	43	538328,6	31637,9	20/7/06	113	8,29	13,4		FQ
Riu de Montaup-Canillo	44	539299,3	30249	20/7/06	169	8,58	15,7		FQ
Valira d'orient-St. Joan Caselles	45	540390,4	30399,5	20/7/06	123	8,48	16,4		FQ
Riu de Pessons	46	547423,3	25738	20/7/06	31	8,04	15,8		FQ
Riu de Massat	47	546655,2	28737,6	20/7/06	54	8,23	14,6		FQ
Valira d'Orient-Bordes Envalira	48	546675,1	28706,9	20/7/06	70	8,07	15,95		FQ
Valira d'Orient-Bordes Envalira	49	546637,9	28705,7	20/7/06	70	8,12	16,05		FQ
Riu Vall Incles-Aparthotel Deu Sol	50	544895,6	32020,2	20/7/06	38	7,99	17,2		FQ
Riu Incles-Canaro	51	544048,9	31075,3	20/7/06	58	8,04	16,5		FQ
Valira d'Orient-El Tarter	52	544056,9	31047,4	20/7/06	80	8,16	15,85		FQ
Riu de Ransol	53	542761,2	31297,2	20/7/06	36	7,97	15,45		FQ
Valira d'Orient-Ransol	54	542851,9	31251,6	20/7/06	77	8,08	17,45		FQ
Riu Vall del Riu	55	540651	30578,8	20/7/06	29	8,01	17,6		FQ

Nom	Id	X	Y	data	Conductivitat μS/cm	pH	T °C	Cabal m3/dia	Mostra
Valira d'Orient-EDAR	56	538658,4	28938,9	20/7/06	221	8,44	16,65		FQ
Valira d'Orient-EDAR	57	538682,7	29105,4	20/7/06	206	8,45	17,4		FQ
Riu Cortals d'Encamp	58	538553,2	26443,8	20/7/06	107	8,23	17,45		FQ
Valira d'Orient-Canillo	59	539237,2	29780,3	20/7/06	153	8,7	17,75		FQ
Valira d'Orient-Canillo	60	539466,4	29842,4	20/7/06	138	8,69	17,95		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	61	538828	26523	2/8/06	156	8,71	19,2		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	62	539551	26546	2/8/06	114	8,55	17,9		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	63	539940	26439	2/8/06	113	8,55	19		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	64	540315	26487	2/8/06	109	8,58	19,8		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	65	540738	26519	2/8/06	105	8,55	19,2		FQ
Riu del Caire	66	540753	26538	2/8/06	165	8,63	20,7		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	67	540771	26526	2/8/06	100	8,53	18,9		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	68	541492	26502	2/8/06	85	8,5	19,3		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	69	541461	26495	2/8/06	90	8,48	18		FQ
Campeà	70	541469	26481	2/8/06	121	8,54	6,9		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	71	541882	26603	2/8/06	82	8,51	19		FQ
Prat dels Orris	72	542076	26624	2/8/06	142	8,45	9,3		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	73	542070	26660	2/8/06	79	8,47	18		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	74	542364	26751	2/8/06	72	8,47	17,7		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	75	542784	26773	2/8/06	64	8,41	16,4		FQ
Riuet d'Emportona	76	542834	26777	2/8/06	30	8,27	14,9		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	77	542808	26794	2/8/06	66	8,42	16,3		FQ
Riu dels Cortals d'Encamp	78	543201	26845	2/8/06	52	8,4	15,8		FQ
pont Parc Central	79	533297,3	23276,9	17/08/06	210	8,22	12,4		FQ
pont Laboratori Aigües	80	532788,9	23003,9	17/08/06	209	8,23	12,25		FQ
pont Estadi Comunal	81	532336,9	22843,7	17/08/06	156	8,34	12,1		FQ
pont Viena	82	531524,4	22074,9	17/08/06	156	8,34	11,9		FQ
pont Bombers	83	531272,8	21937,2	17/08/06	156	8,22	11,9		FQ
pont Poblado	84	530887,2	21620,5	17/08/06	155	8,25	12,05		FQ
pont Guarderia	85	530428,9	20799,2	17/08/06	166	8,29	12,15		FQ
sector pont Margineda	86	530595,5	20895,6	17/08/06	162	8,3	11,95		FQ
font Artic	87	530371,4	20206,9	17/08/06	166	8,6	16,5		FQ

pont Aixovall	88	530395,1	19962,8	17/08/06	168	8,29	11,85		FQ
Institut Aixovall	89	530269,9	19915,2	17/08/06	215	8,45	12,65		FQ
pont Borda Jaile	90	530531,6	19658,6	17/08/06	175	8,3	12		FQ
pasarel.la Jaile	91	530626,8	19564,7	17/08/06	173	8,31	12		FQ
tram garatges (st julià)	92	530502,8	19005	17/08/06	172	8,41	12,1		FQ
riu Peguera	93	530741,9	18795,9	17/08/06	182	8,2	12,15		FQ
pont Fontaneda	94	530325	18273,9	17/08/06	170	8,36	12,7		FQ
riu Auvinyà	95	530196,1	17964,6	17/08/06	95	8,24	12,85		FQ
pont borda Germà a	96	530087,1	17989,7	17/08/06	172	8,3	12,65		FQ
pont borda Germà b	97	530097,2	17982,1	17/08/06	159	8,37	12,8		FQ
pont Tolse	98	529891,8	17065,7	17/08/06	171	8,41	12,85		FQ
pont Sabater	99	529643,9	16544,8	17/08/06	172	8,4	13,3		FQ
pont EDAR	100	529140,6	15769,9	17/08/06	173	8,39	13,6		FQ
Frontera	101	526567,5	22069,4	17/08/06	160	8,64	11,25		FQ
revolt	102	526549,5	23288,4	17/08/06	157	8,49	11,05		FQ
pont entrada poble	103	526448,3	23570,8	17/08/06	160	8,51	11,1		FQ
riu Setúria	104	526181	23824,7	17/08/06	116	8,56	11,15		FQ
passarel.la poble a	105	526274,2	23745,5	17/08/06	148	8,5	11,1		FQ
passarel.la poble b	106	526271,1	23740,5	17/08/06	152	8,03	10,95		FQ
pont	107	526512,4	22606,3	17/08/06	163	8,57	10,9		FQ
torrent carrabiners	108	526442,3	22671,4	17/08/06	174	8,44	10,4		FQ
font	109	526547,5	22591,3	17/08/06	124	8,2	10,1		FQ
passarel.la zona berenada	110	526816,9	21627,7	17/08/06	164	8,58	11,7		FQ
torrent Llimois	111	526772,8	21539,6	17/08/06	155	8,57	11,6		FQ
pont polvorí	112	527235,6	21337,3	17/08/06	169	8,55	12,3		FQ
revolt	113	527287,7	20943,6	17/08/06	171	8,73	12,3		FQ
pont Bixessarri	114	527765,4	20813,4	17/08/06	178	8,59	13,1		FQ
Restaurant l'Arena	115	528954,3	20041,2	17/08/06	192	8,59	13,8		FQ
sobre font Joans	116	529474,2	20093,3	17/08/06	190	8,77	14,25		FQ
passera ITV	117	529716,6	19876,4	17/08/06	190	8,69	14,95		FQ
claveguera	118	529726,6	19883,9	17/08/06	705	7,5	29		FQ

Taula A1.- Punts mostrejats de cara a establir la variació de conductivitat, i elements analitzats. FQ=fisicoquímics.



Conductivitat (microS/cm)

- 17 - 72
- 73 - 129
- 130 - 192
- 193 - 389
- 390 - 705

Litologia

- Alternances de calcàries i pissarres marrons (formació de Rueda)
- Aplites
- Calcàries i calcàries margoses (formació d'Estana)
- Calcàries i pissarres
- Calcàries massisses (formació de Castanesa)
- Conglomerats i microconglomerats (conglomerats de la Rabassa)
- Gneis blanc de gra fi (Gneis Blanc)
- Gneis ocellar (Gneis de l'Ospitalet)
- Granodiorites amb biotita
- Granodiorites amb biotita i hornblenda
- Intercalacions de pissarres fosques
- Intercalacions de quarsites, gresos i conglomerats
- Intercalacions de roques bàsiques
- Intercalacions de roques carbonatades
- Intercalacions de roques carbonàtiques
- Lampròfirs
- Limolites grises (formació d'Ansovell)
- Margocalcàries i pissarres virolades (formació Griotte de Manyanet)
- Microconglomerats, gresos i lutites versicolors (formació de Cava)
- Milonites
- Pegmatites i granits de dues miques
- Pissarres grises (formació de Fonchanina)
- Pissarres grises amb intercalacions primes de calcàries i gresos (formació de Civis)
- Pissarres i calcàries negres
- Pòrfirs granodiorítics i quarsítics
- Quarsites (quarsita de Bar)
- Roques àcides
- Sèries gresopelitiques inferiors
- Sèries gresopelitiques rítmiques

Figura A1. Situació dels punts mostrejats

## A.2 Metodologia seguida per a la realització del mapa piezomètric

S'ha pres com a referència el mapa piezomètric realitzat per a l'estudi *d'Avaluació inicial dels recursos hídrics subterranis* (Departament de Medi Ambient, 2004) tenint en compte la falta d'informació fora dels fons de vall.

La metodologia seguida ha estat la següent:

En primer lloc s'ha realitzat una resta entre el mapa piezomètric (**figura I**) i el model digital del terreny (**figura II**).

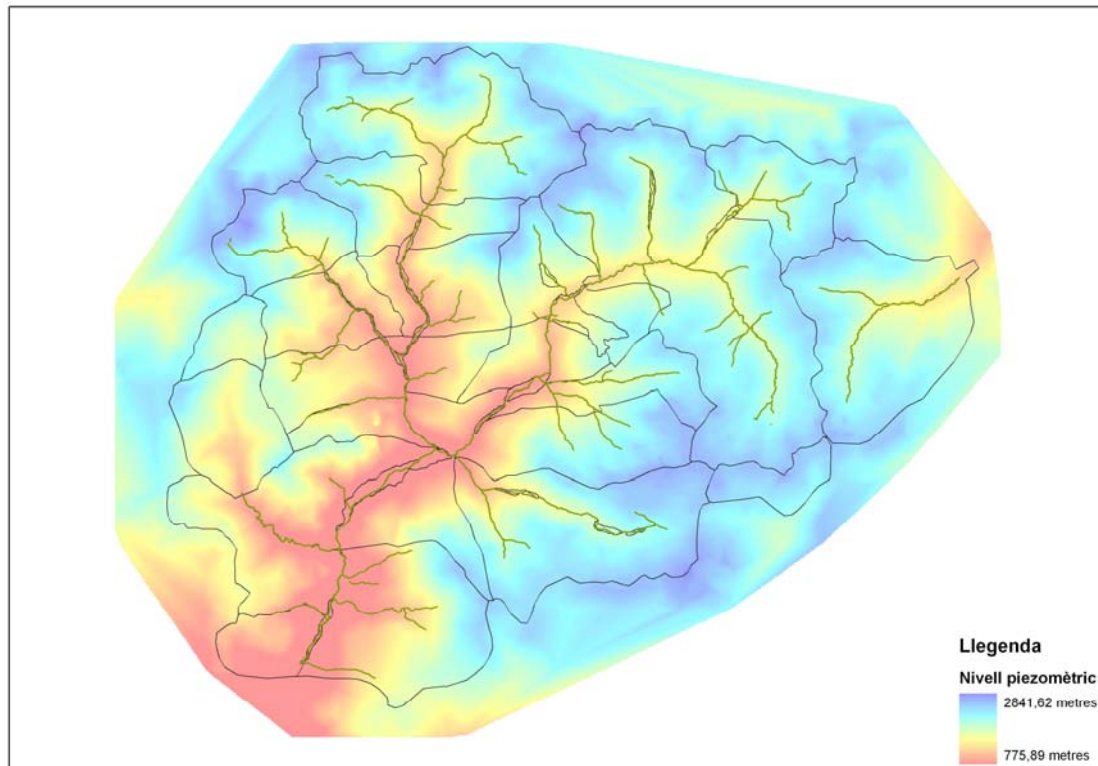


Figura I. Mapa piezomètric realitzat en l'estudi Avaluació inicial dels recursos hídrics subterranis (2004)

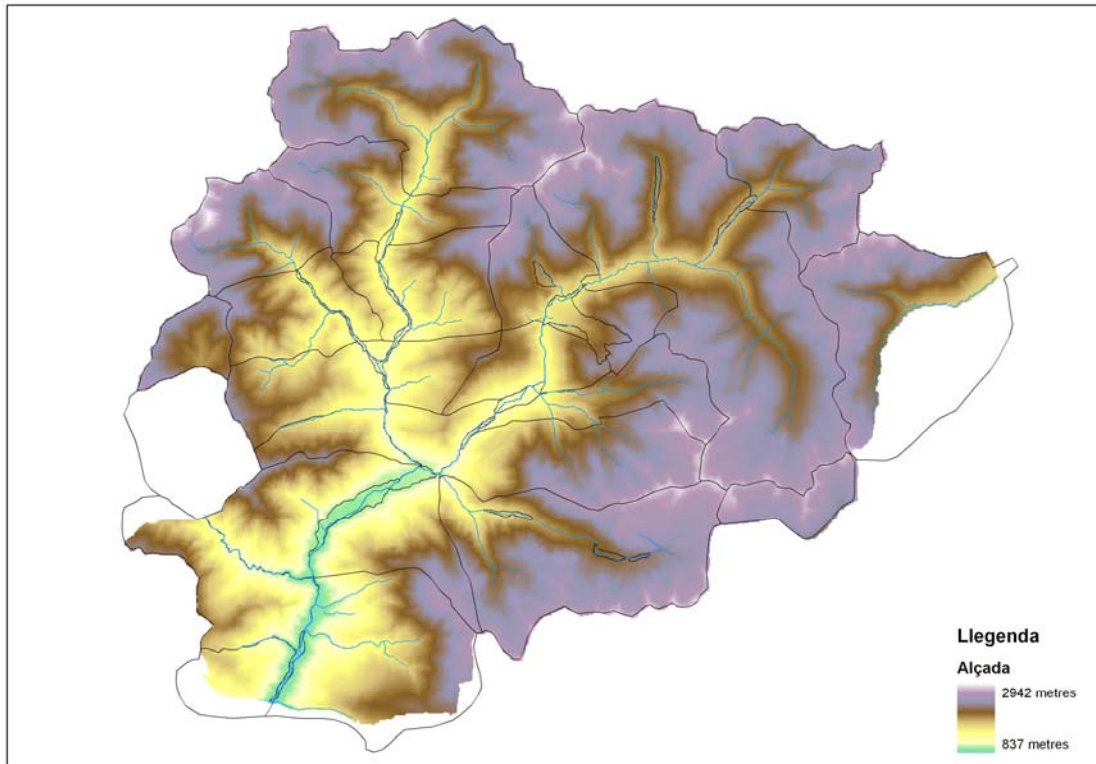


Figura II. Model digital del terreny del principat d'Andorra.

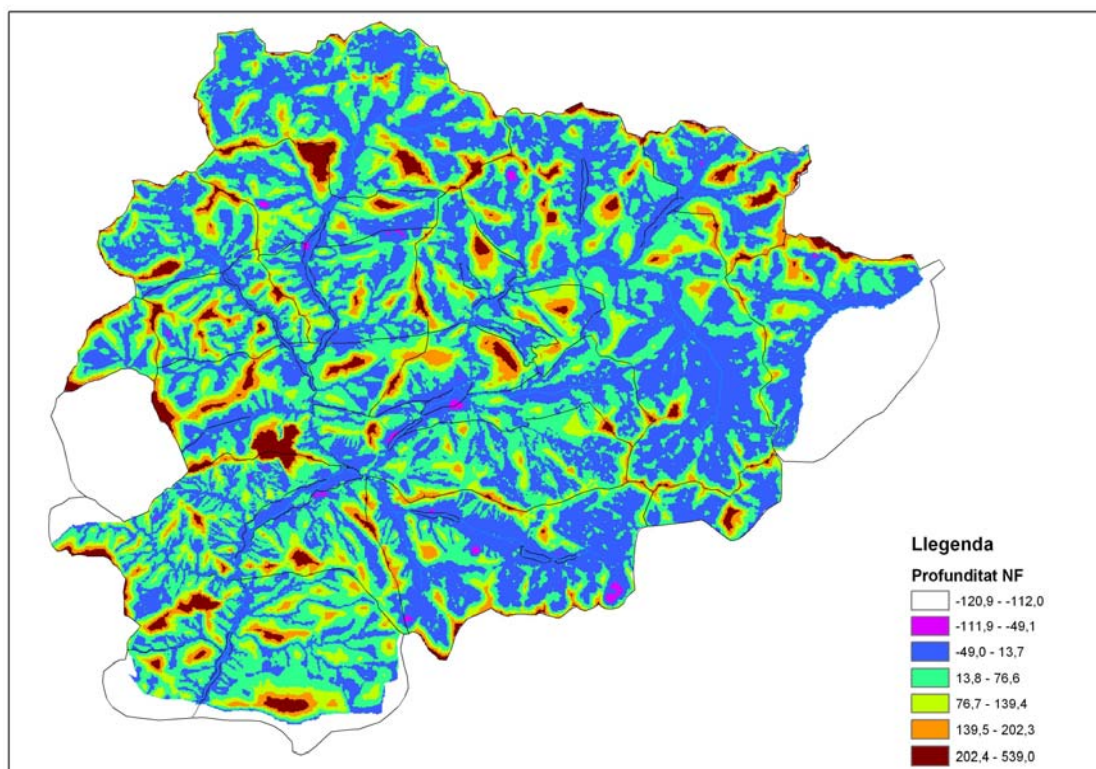
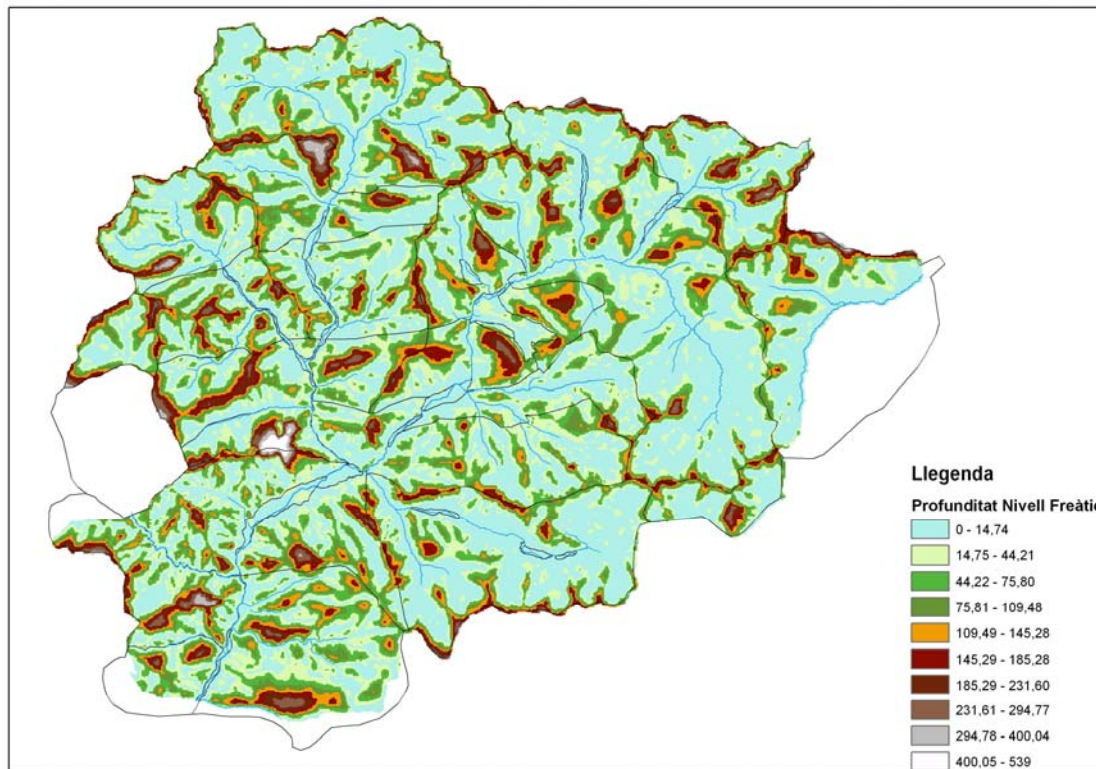


Figura III. Mapa de profunditat del nivell freàtic. Aquest mapa és producte de restar el mapa piezomètric del model digital del terreny. Els valors negatius corresponen a zones on el nivell piezomètric està situat per sobre de la topografia.

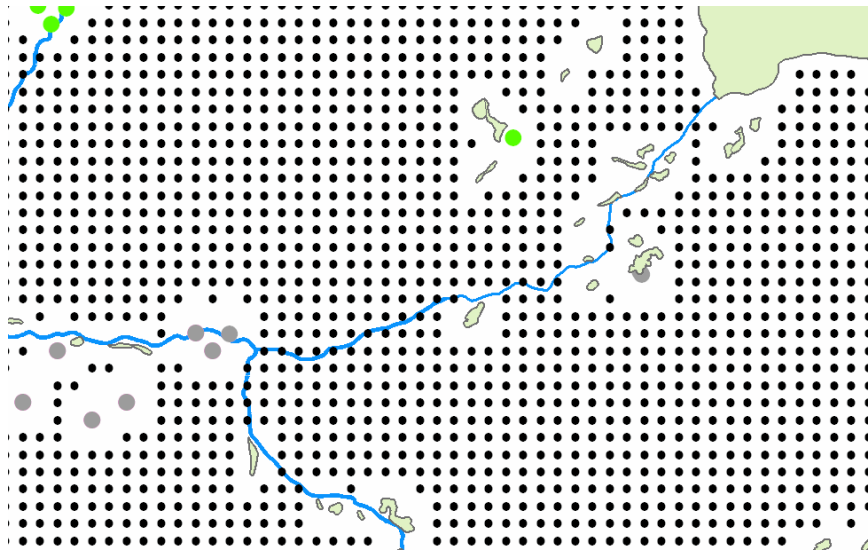




**Figura IV.** Mapa de profunditat del nivell freàtic corregit. Aquest mapa és producte de restar el mapa piezomètric del model digital del terreny. Els valors negatius s'han transformat en valor 0.

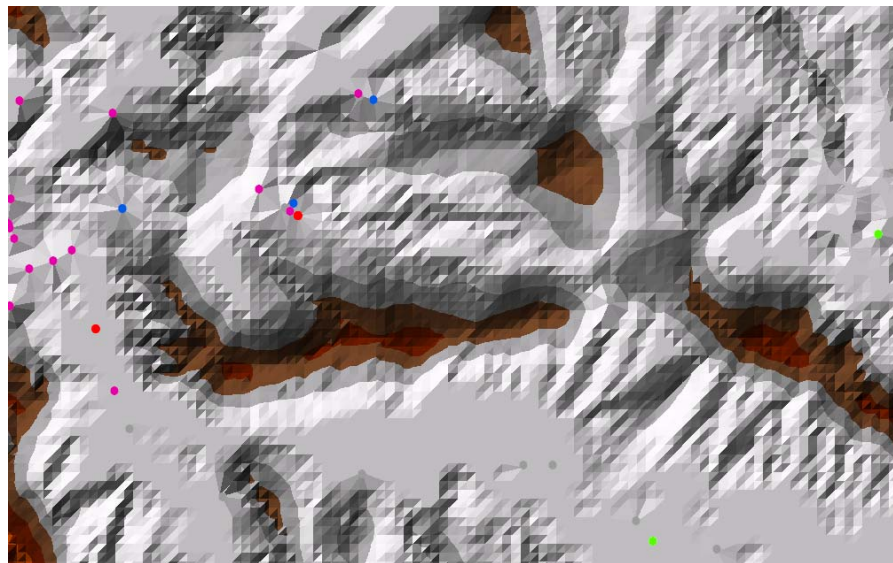
El mapa producte d'aquesta resta (**figura III**), té zones de valor negatiu. En aquestes zones el nivell freàtic supera la topografia. S'ha corregit el valor del nivell freàtic en aquests punts fins a rebaixar-lo a nivell de topografia. En aquest cas i a falta de més informació s'han transformat els punts amb profunditat negativa en punts de valor 0 (**figura. IV**).

En segon lloc s'ha transformat el mapa elaborat en l'estudi del Departament de Medi Ambient (2004) (raster) en un mapa de punts. Aquest mapa conté un punt per cada píxel amb la informació de la profunditat del nivell freàtic. En aquest mapa s'han esborrat els punts que coincideixen amb els punts inventariats en el present estudi. Per esborrar la informació prèvia s'han utilitzat un buffer de 75 metres al voltant de cada punt inventariat (**figura V**). La informació esborrada s'ha substituït per la informació recollida en el present estudi.



**Figura V.** Exemple d'eliminació de la informació facilitada en l'informe de Medi Ambient (2004) per la informació recollida en aquest estudi.

Un cop substituïda la informació d'ígeotest per la informació recollida en el present estudi, s'ha realitzat una triangulació de les dades (**figura VI**).



**Figura VI.** Exemple de la triangulació amb les dades facilitades pel Departament de Medi Ambient (2004) i les dades extretes del present estudi.

A continuació s'ha fet la transformació del mapa de triangles en un mapa raster. Aquest mapa resultant és el mapa de profunditat dels nivell freàtic (**figura VII**). Per transformar-lo en un mapa de nivell piezomètric cal restar-li el model digital d'elevacions (**figura VIII**).

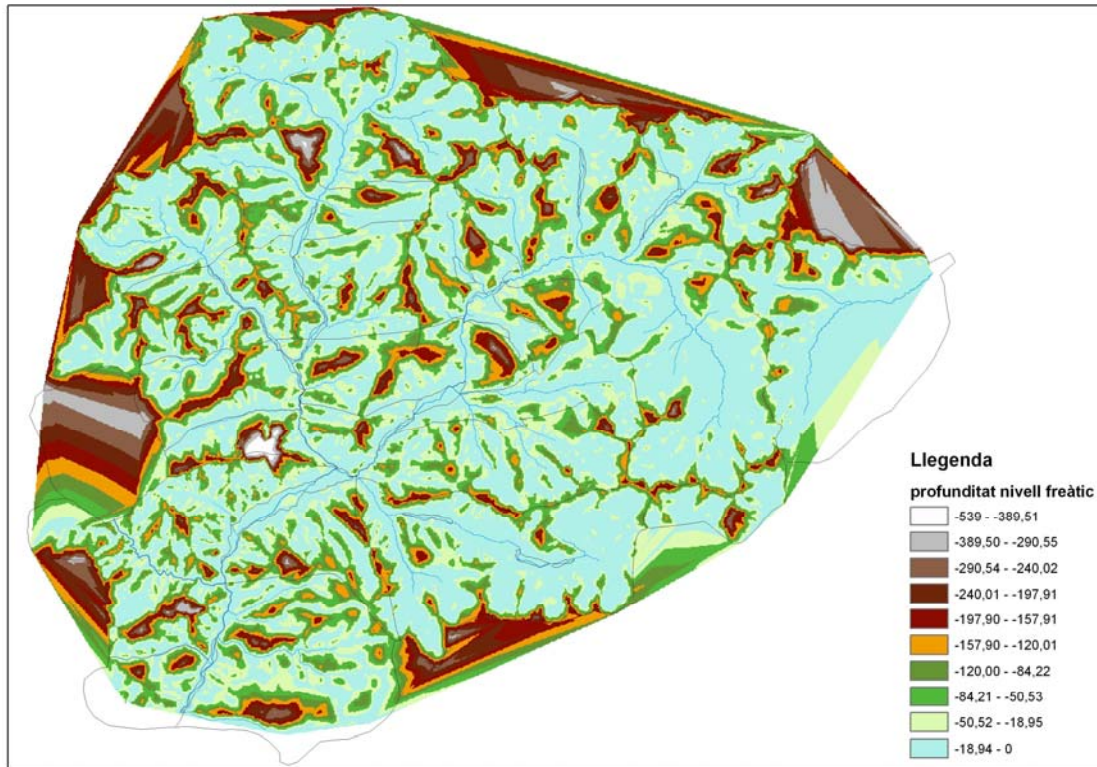


Figura VII. Mapa ràster de la profunditat del nivell freàtic.

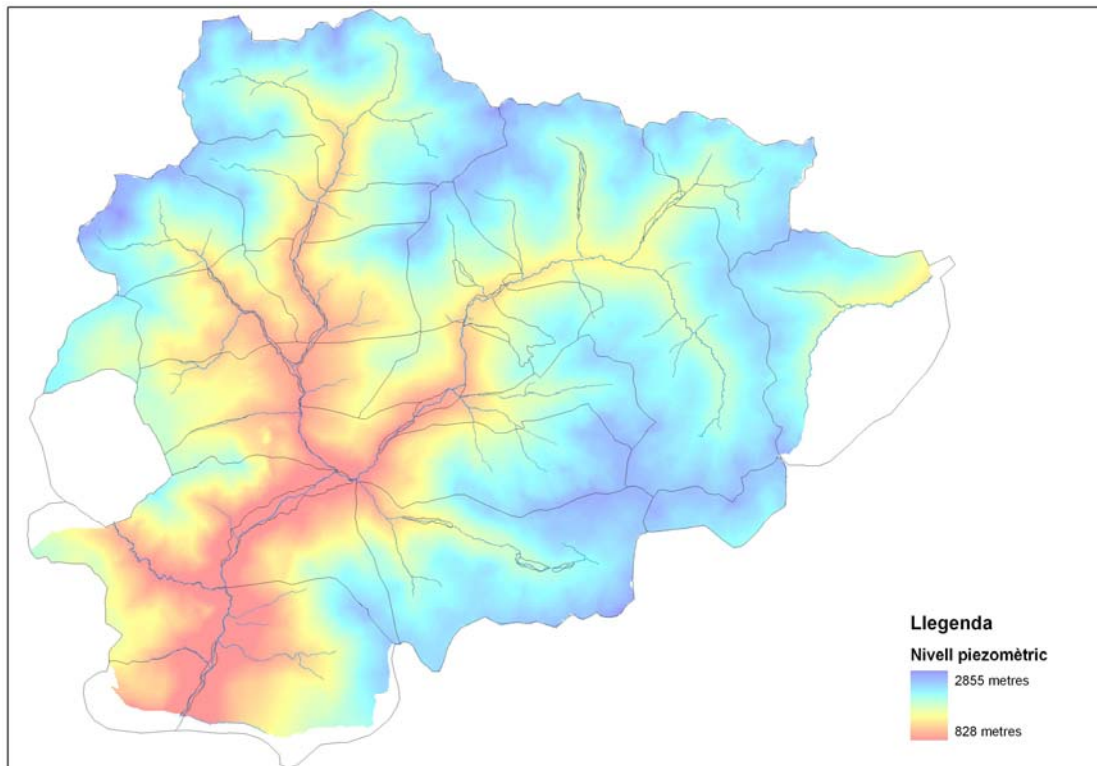


Figura VIII. Mapa del nivell piezomètric realitzat amb la integració de les dades extretes de l'estudi facilitat pel Departament de Medi Ambient (2004) i del present estudi.

Els punts inventariats per realitzar el nou càlcul del model del nivell piezomètric han estat els següents:

Fonts de la cartografia oficial d'Andorra a escala 1:5000.

La cartografia a escala 1:10.000 .

Fonts dels mapes de l'Alpina.

Fonts inventariades per Hídric.

Els nivells freàtics extrets del buidat d'informes.

El mapa de mollerres

El mapa de captacions.

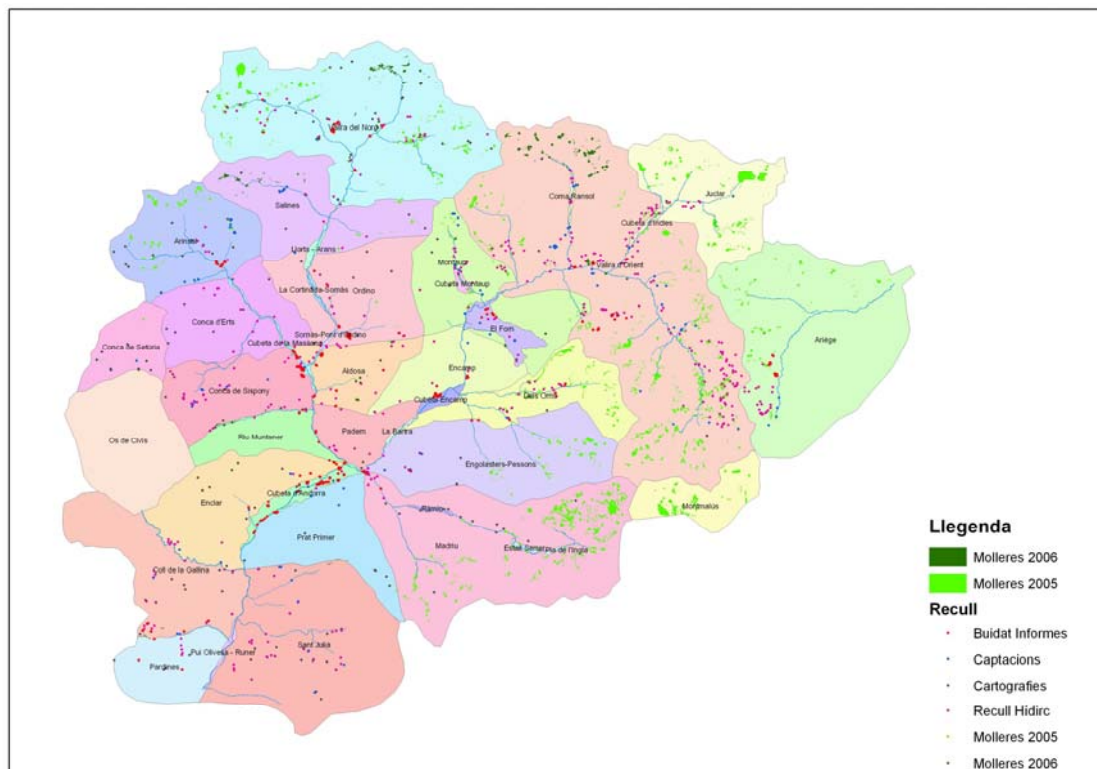


Figura IX. Mapa dels punts d'informació utilitzats en el present estudi.