

DRYAS®



Medi Ambient i Riscs Naturals

ANDOFLOW 1.0

EXEMPLE D'APLICACIÓ

- PRINCIPAT D'ANDORRA- PIRINEUS (EUROPA)

Direcció:

Valentí TURU i MICHELS
Av. Príncep Benlloch 66-72
Edifici Interceus, despatx 408
Telèfon i fax: 321815 - 820323
Email: hidro.dryas@igeotest.ad
<http://www.igeotest.ad>

ÍNDEX

- 1 INTRODUCCIÓ**
- 2 CARACTERÍSTIQUES GEOLÒGIQUES**
- 3 MODEL HIDROGEOLÒGIC**
- 3.1 Piezometria**
- 4 BALANÇ HÍDRIC**
- 5 HIDROGEOLOGIA**
- 5.1 Tipus d'aqüífers. Zones permeables i impermeables. Gruixos**
- 5.2 Paràmetres hidrodinàmics**
- 6 PROPOSTA DE MESURES DE PROTECCIÓ DE L'AQUÍFER**
- 6.1 Disseny dels perímetres de protecció**
- 6.1.1 Càlcul dels perímetres**
 - 6.1.1.1 Càlcul de la velocitat
 - 6.1.1.1.1 Permeabilitat i porositat
 - 6.1.1.1.2 Piezometria
 - 6.1.1.1.3 Mapa de pendents i càlcul del gradient
 - 6.1.1.1.4 Velocitat
 - 6.1.1.2 Coordenades dels punts
 - 6.1.1.3 Mapa d'orientacions
 - 6.1.1.4 Preparació arxiu abans de fer córrer el programa ANDOFLOW
 - 6.1.1.5 Programa ANDOFLOW
- 6.1.2 Perímetres de protecció**
- 7 BIBLIOGRAFIA TEMÀTICA**

1 INTRODUCCIÓ

El present estudi té com a objectiu establir els perímetres de protecció de tres fonts utilitzades com a captacions d'aigua potable per abastiment humà.

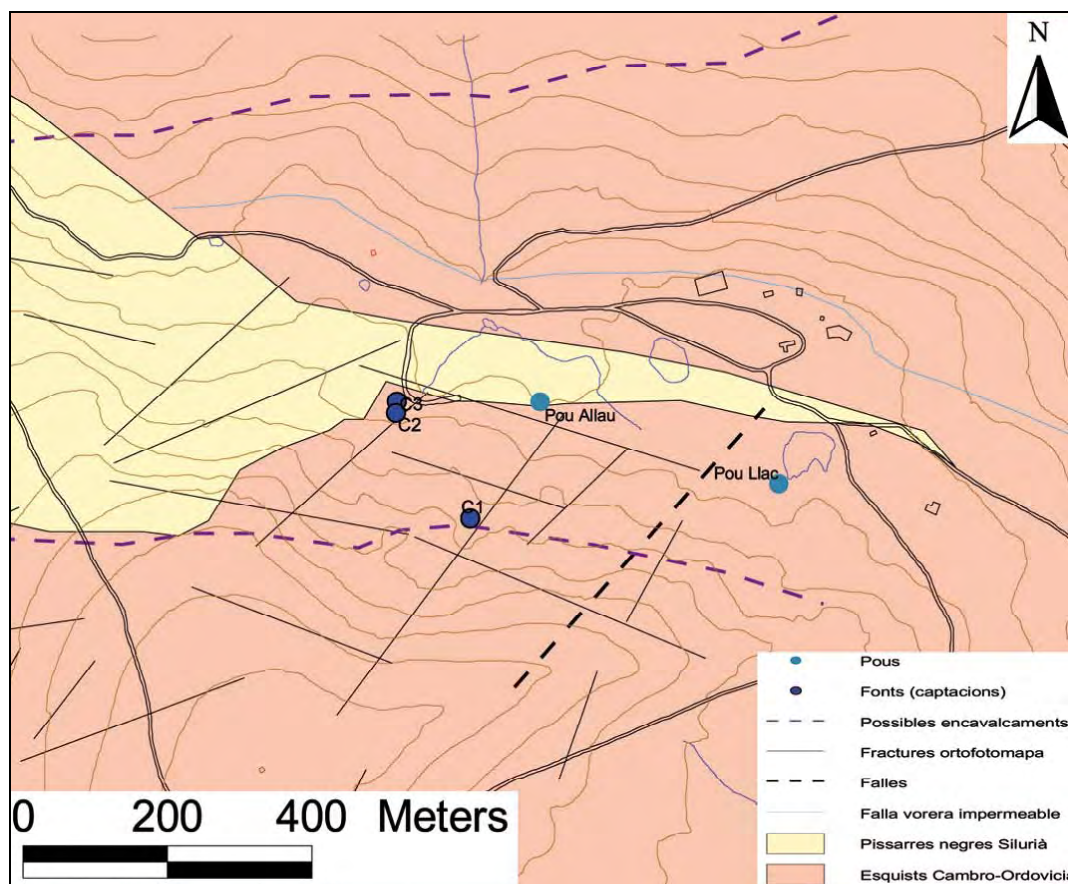
Per a la determinació dels mateixos ha calgut realitzar un estudi hidrogeològic, en el qual s'ha determinat les característiques geològiques, hidroquímiques, de seguiment de cabals, establiment del balanç hídric, etc... per tal d'obtenir un model hidrogeològic del funcionament de les fonts.

El disseny dels perímetres de protecció s'ha definit en base al temps de trànsit que l'aigua triga en arribar a la captació, i seguint criteris hidrogeològics, per a la realització dels mateixos hom ha fet servir el Software ANDOFLOW.

Els paràmetres necessaris per al seu càlcul han estat la permeabilitat i porositat del terreny, que juntament amb la piezometria, han permès calcular la velocitat real del flux. El mapa de pendents i el de orientacions han permès calcular la direcció del flux en cada punt del sector d'estudi. Finalment la suma de la velocitat, la orientació i les coordenades dels punts han permès estimar el temps de trànsit.

2 CARACTERÍSTIQUES GEOLÒGIQUES

Geològicament la zona on s'emplacen les fonts està formada per un substrat rocós format per diferents litologies sobre el qual es dispositen uns sediments quaternaris de diversa gènesi.



Mapa geològic del sector on s'emplacen les fonts

El substrat rocós està format per sèries gresopelítiques del Cambro-Ordovicià, amb intercacions de nivells de calcàries, quarsites i pissarres; i pissarres i calcàries negres del Silurià; al l'oest de la zona d'estudi també es troben calcàries i pissarres del Devonian inferior, així com puntualment poden existir roques àcides formant dics o petits stocks.

El substrat rocós està afectat per una intensa activitat tectònica la qual donà lloc a una intensa foliació i a diverses fractures.

La formació superficial està formada per materials sedimentaris quaternaris corresponents a tarteres, col·luvions, dipòsits morrènics, etc. Segons el resultat dels sondejos elèctrics realitzats en aquest sector, al costat del pou del Llac, el gruix de formació superficial pot ser de fins a 12 metres, els quals podrien tractar-se d'un till indiferenciat en gran part.

En canvi en el sector on s'ubica el pou de l'Allau (sota mateix de la font C3) i on s'emplacen les fonts, la formació superficial és mínima. A partir de les darreres prospeccions dutes a terme es va determinar que les captacions C2 i C3 s'emplacen sobre una formació superficial poc potent formada per dipòsits de vessant ja que es troben situades dins d'una canal i el seu espessor màxim podria estar al voltant dels 5 metres.

3 MODEL HIDROGEOLÒGIC

Amb les dades que es tenen recollides fins el moment, el model de recàrrega consisteix en suposar que els aportos hídrics procedents de les pluges i la fosa de la neu s'infiltringen i recarreguen l'aquífer lliure del massís rocós fracturat que aflora a la superfície.

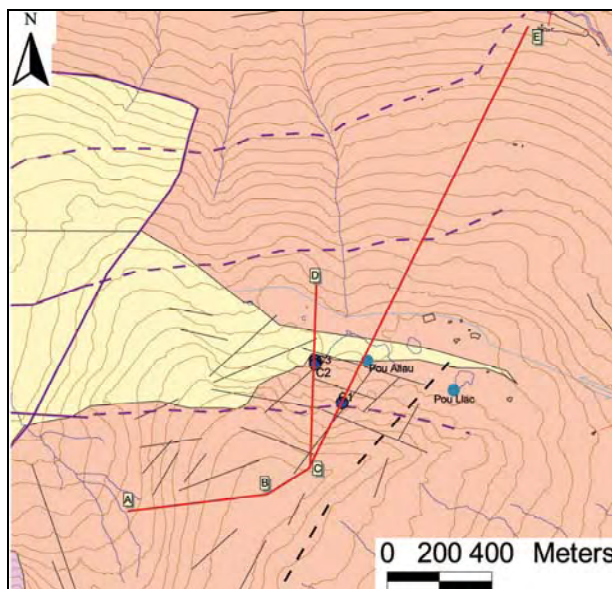
Les fractures superficials d'origen periglacial permeten la infiltració, i les discontinuïtats estructurals permeten el drenatge i la recàrrega dels aquífers. Per sota dels 2309 metres (captació C1) s'inicia la descàrrega, encara que en l'època de la fosa de neu la descàrrega s'inicia a partir de les molles H-I situades a 2333 metres.

En base a l'anàlisi físico-químic i isotòpic sembla que totes les aigües del sector procedeixen del mateix massís, encara que hi ha una petita diferència entre les aigües de la captació C1 i les de les captacions C2 i C3. Per les dades que hom disposa sembla que la captació C1 estaria relacionada amb algun tipus de fractura preferencial.

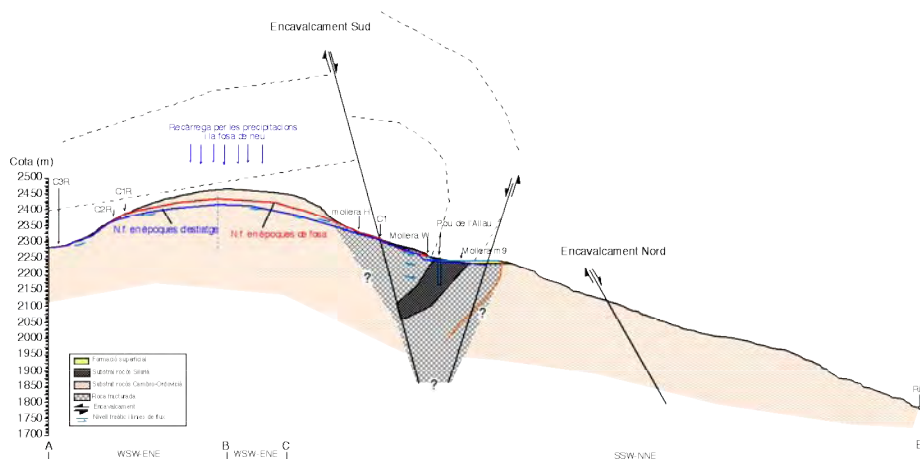
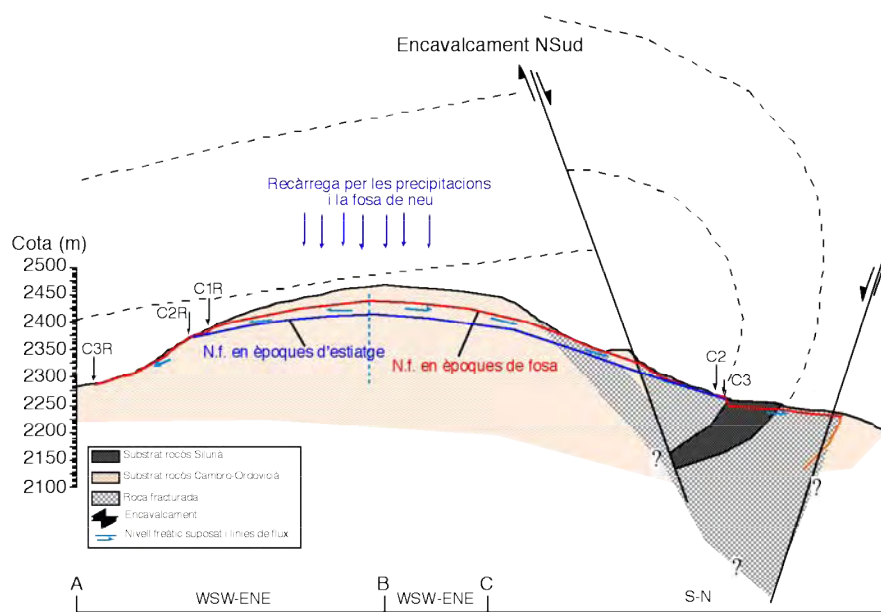
Tot i així, les dimensions de l'aquífer no deuen ser gaire grans ja que en èpoques de poc aport d'aigua la captació C2 i les molles H i I s'eixugan. En l'època de molts aportos nous d'aigua (infiltració de la fosa) en la conca, el nivell piezomètric puja i totes les fonts abans esmentades funcionen.

A partir de l'anàlisi dels isòtops estables duts a terme s'ha observat com el contingut en isòtops estables recollits en dos èpoques diferents (juny 04 i octubre 04) presenten valors diferents, això pot indicar que el volum d'aigua emmagatzemada és petit i de ràpida renovació.

A partir de les dades disponibles s'ha realitzat dos perfils hidrogeològics per explicar el funcionament hídric de l'aquífer.



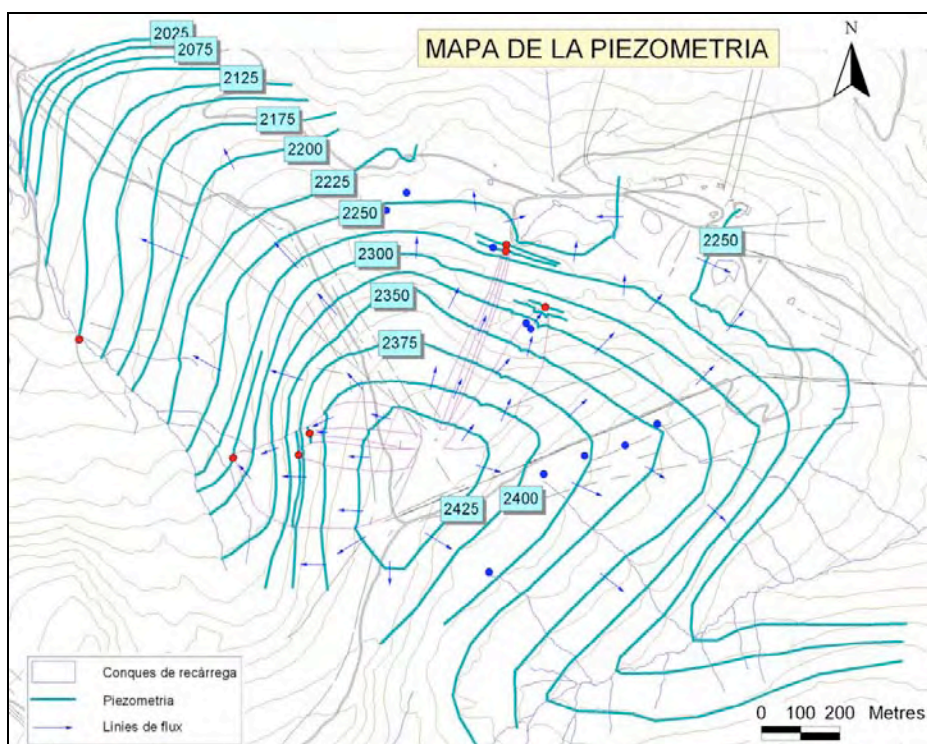
Situació dels perfils realitzats



3.1 Piezometria

S'ha portat a terme un mapa de la piezometria potencial del sector de les captacions de cara a la realització dels perímetres de protecció. En base a la identificació dels sectors on el nivell freàtic intercepta amb la topografia s'ha procedit a pintar les línies equipotencials i les de flux, suposant-se que el medi porós es tracta d'un medi isòtrop i homogeni i que en general el medi rocós del Cambro-Ordovicià es tracta d'una formació porosa en superfície i fissurada en els vessants. En el sector concret de les fonts del present estudi la piezometria de detall s'ha realitzat a partir de la modelització del pou de l'Allau gràcies al programa FLOWPATH versió 5.20.

Les línies de flux avancen des de la part alta del cim, fins a les fonts, força perpendiculars a la topografia.



4 BALANÇ HÍDRIC

El balanç hídric del sector s'ha realitzat en base al mètode dels clorurs (**Custodio i Llamas, 1983; Custodio, 1990**). Tenint en compte que el valor de la precipitació és de l'ordre de 930,17 mm (Estació de Ransol, any 2004), s'han determinat els següents paràmetres:

Punts	Infiltració		Evapotranspiració		Escolament superficial
	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
C1	100	940	0	-	0
C2	75	700	25	240	0
C3	75	700	25	240	0

5 **HIDROGEOLOGIA**

5.1 **Tipus d'aqüífers. Zones permeables i impermeables. Gruixos**

Així doncs, considerant que la capa de formació superficial existent a les captacions 2 i 3 és poc potent i poc extensa i considerant tota la informació de la que es disposa, hom ha optat per distingir només una formació permeable que estaria constituïda pel **substrat rocós fracturat**, que es consideraria un **aqüífer lliure**. Degut a que es desconeix la profunditat de les fractures s'ha considerat que tota la massa rocosa està comunicada hídricament (cas més desfavorable).

5.2 **Paràmetres hidrodinàmics**

Per tal de calcular els paràmetres hidrodinàmics de l'aqüífer s'ha fet us de la relació matemàtica entre el coeficient α i la transmissivitat (T) i el coeficient d'emmagatzematge (S).

$$\alpha = \pi^2 T / 4SL^2$$

S'ha considerat que cada font és el punt de descàrrega del flux que circula pel substrat rocós, així doncs s'ha procedit a usar la corba d'esgotament per tal d'intentar determinar la conductivitat hidràulica (K), tot i que cal tenir en compte que no es disposa de prou dades de cabals com per poder definir-la amb fiabilitat. Es fa ús del valor d' α , trobat amb la corba, entenent que aquest valor reflecteix les propietats del darrer medi pel qual circula l'aigua de la font.

La longitud L o longitud màxima d'influència i el gruix saturat varia segons la font captada, així doncs, gràcies a una sèrie de perfils realitzats s'han determinat aquests dos paràmetres.

Com a resultat hom ha obtingut que el valor de la permeabilitat per al massís rocós és de 1,7 m/dia.

6 **PROPOSTA DE MESURES DE PROTECCIÓ DE L'AQUÍFER**

La realització dels perímetres de protecció s'ha dut a terme amb les dades exposades en el present document, seguint criteris hidrogeològics, essent un primer model. En el moment que es disposi de noves fonts d'informació que afavoreixen el millor coneixement de la zona, els perímetres de protecció i el model hidrogeològic són susceptibles a ésser modificats.

6.1 **Disseny dels perímetres de protecció**

Per les aigües subterrànies es defineixen tres perímetres de protecció: el perímetre immediat o zona I, el perímetre pròxim o zona II i el perímetre llunyà o zona III, segons el Reglament vigent del M.I. Govern d'Andorra (Núm. 44-Any 11 -4.8.1999 del BOPA).

El disseny dels perímetres de protecció s'ha definit en base al temps de trànsit que l'aigua tarda en arribar a la captació, i seguint criteris hidrogeològics, per a la realització dels mateixos hom ha fet servir el Software Andoflow .

6.1.1 **Càlcul dels perímetres**

Per tal de fer córrer el programa ANDOFLOW s'han de generar una sèrie d'arxius que continguin el següents camps:

- ID: identificador numéric
- X_COORD: coordenada X del punt
- Y_COORD: coordenada Y del punt
- VELOCITMD: velocitat del flux en el punt
- ORIENT: orientació del punt
- TEMPS: camp numéric buit que s'omplena amb els càlculs realitzats pel programa

6.1.1.1 **Càlcul de la velocitat**

Pel càlcul de la velocitat s'ha fet ús de l'equació de Darcy, vàlida per aquífers porosos:

$$V_e = (K \cdot i) / n$$

on V_e és la velocitat efectiva, en m/dia
 i és el gradient hidràulic
 K és la conductivitat hidràulica, en m/dia
 n és la porositat efectiva del medi

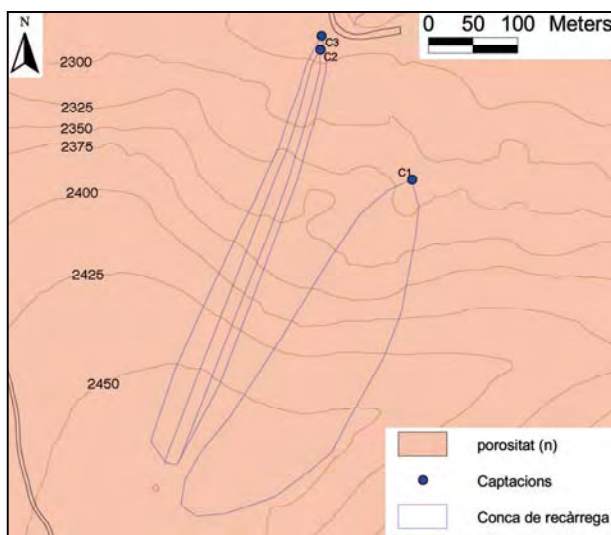
Mitjançant un S.I.G., en aquest cas s'ha utilitzat el software ArcView[®] 3.3, s'han processat les dades.

6.1.1.1.1 Permeabilitat i porositat

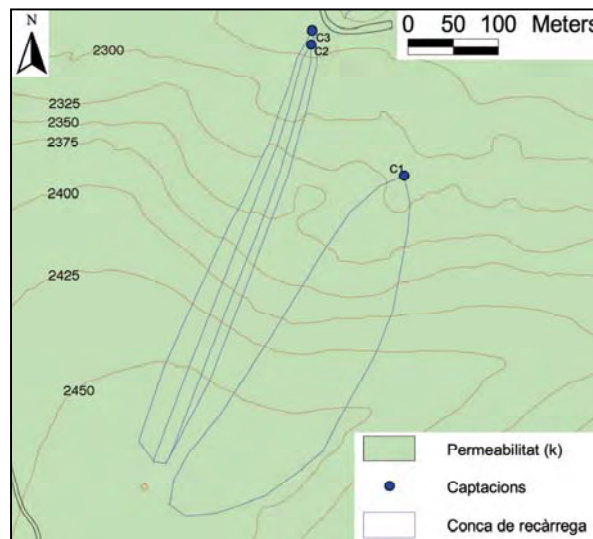
Una vegada es disposa del mapa geològic i de la conca de la zona d'estudi en format vectorial (*.shp), s'han d'afegir els camps K i N (als camps se li han d'afegir 4 decimals). Es recomana que la zona sigui més gran que la conca d'estudi per evitar els possibles errors en els límits alhora de fer els càlculs.

Posteriorment es converteix en un GRID per poder fer els càlculs (es fixa com a mida de píxel 1 metre), i obtindrem els arxius *grid K* i *grid N*.

En el nostre cas, el substrat rocós fissurat presenta un valor mig d'1,7 m/dia de permeabilitat. I com a valor de la porositat s'ha utilitzat els valors estandaritzats existents en la bibliografia. Segons **Villanueva i Iglesias (1984)** el valor de la porositat en un aqüífer lliure és igual al coeficient d'emmagatzament típic de medis granulars, de 0,1 (valor mig entre els 0,15 i els 0,05).



Grid N, porositat

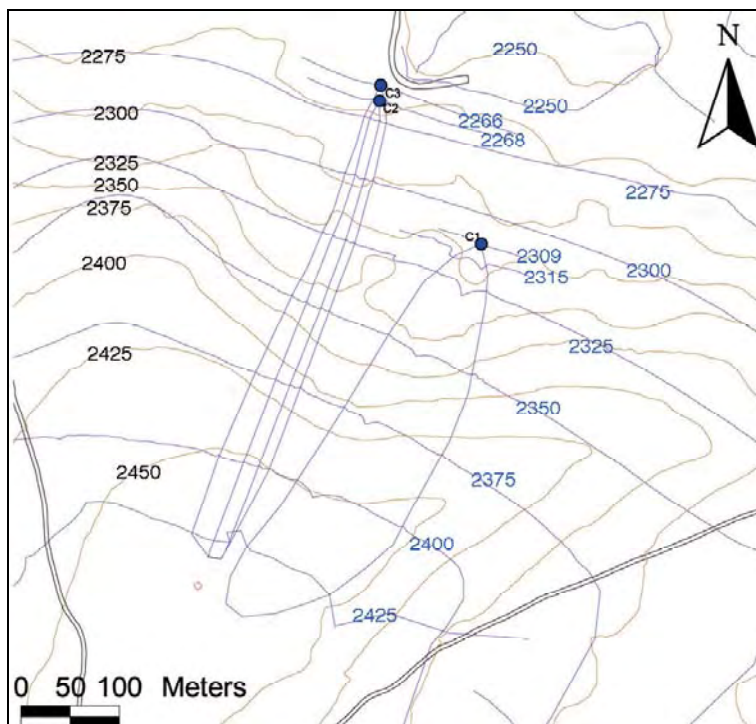


Grid N, permeabilitat

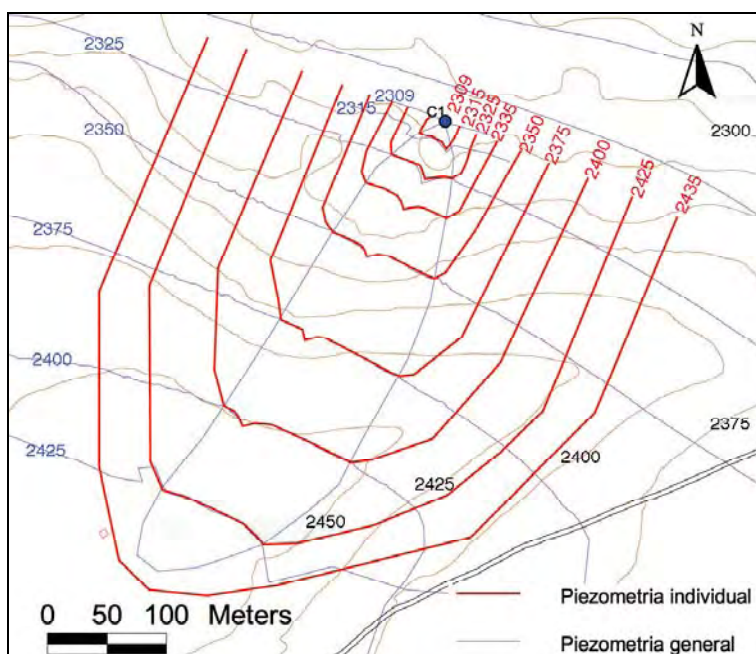
6.1.1.1.2 Piezometria

El mapa de la piezometria es digitalitza a mà i es dona un valor de cota absoluta a les diferents isolínies. Aquests valors s'han d'afegir en un camp amb el nom de EQUIPOT.

No obstant, però, per a cada font s'ha de digitalitzar una piezometria individual, per tal de que no es produeixen errors en el càlcul. S'ha de fer una piezometria que mantingui les isolínies dins de la conca, tal com succeeix al flux general de la zona, però, fora de la conca s'ha de forçar a que el flux entri dins de la mateixa. Així mateix al punt on es troba la font s'ha d'afegir una isolinia petita per tal que el flux arribi tot a aquest punt.

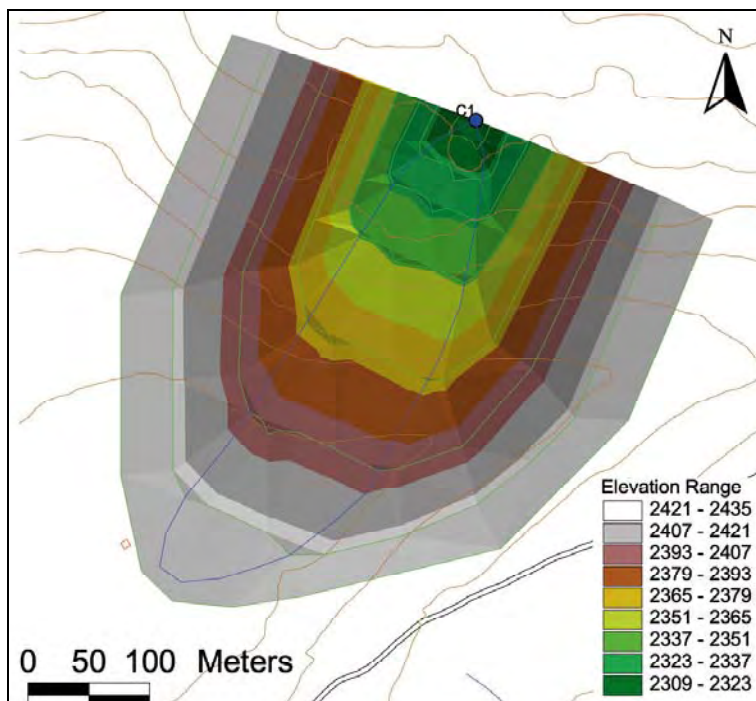


Piezometria general del sector



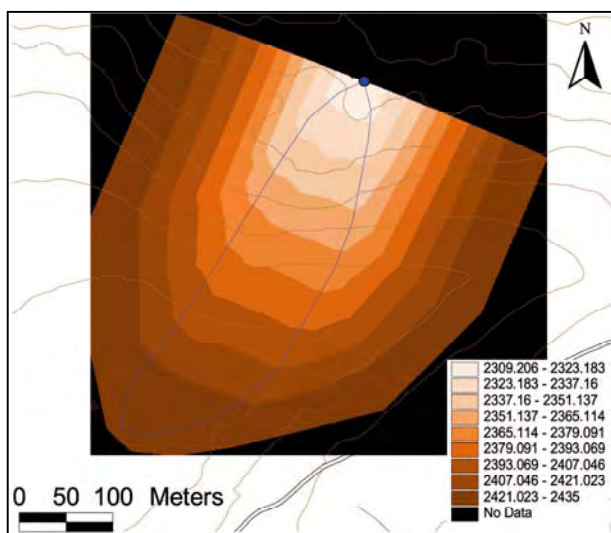
Piezometria modificada per a la font C1

Posteriorment es crea un mapa TIN amb la piezometria individual, amb l'objectiu de crear un mapa en 3-D.

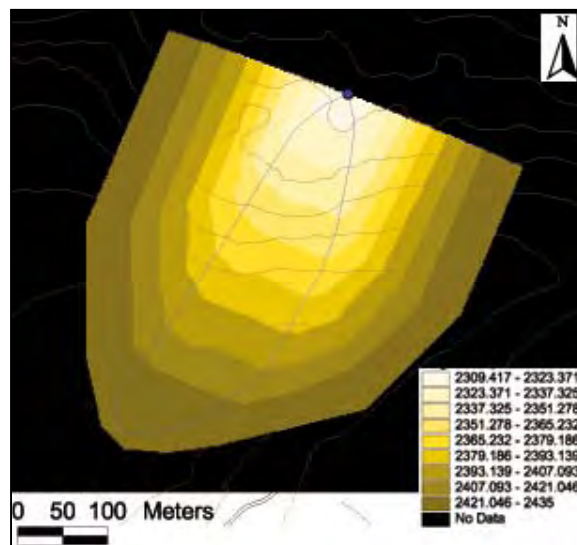


TIN de la piezometria modificada per a la font C1

Després es converteix el mapa TIN a GRID, en aquest cas però es fan 2 GRIDS, el primer amb un costat de pixel d'1 metre (que s'utilitzarà per fer els càlculs) i el segon amb un costat de pixel de 2 metres (que servirà per establir la xarxa de punts, amb una xarxa d'1 m seria massa densa). Així doncs, obtindrem els arxius *gridpiezo1m* i *gridpiezo2m*



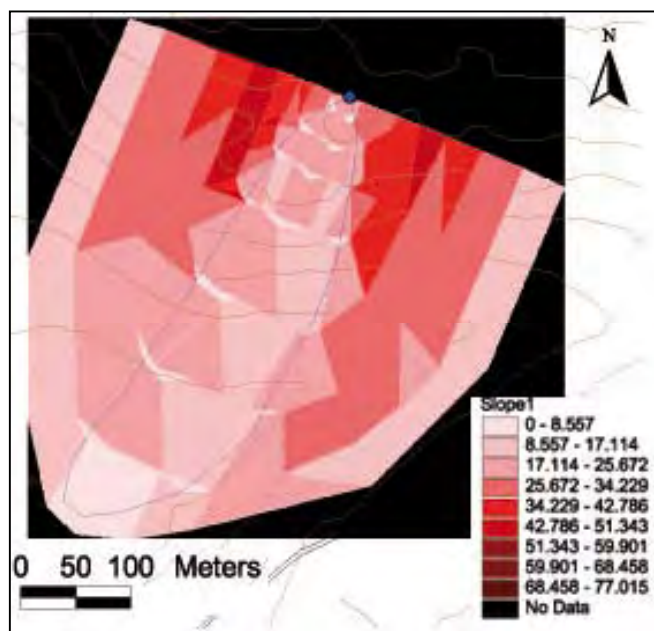
Grid amb pixel 1 x 1 m



Grid amb pixel 2 x 2 m

6.1.1.1.3 Mapa de pendents i càlcul del gradient

A partir de l'arxiu *gridpiezo1m* es crea un mapa de pendents amb les eines Surface/Derive Slope i es crea l'arxiu *slope gridpiezo1m*.



Mapa de les pendents per a la font C1

Amb l'extensió SPATIAL ANALYSIS activada, s'entra al menu Analysis /Map Calculator on es fica la següent fórmula:

$\text{slope gridpiezo1m} * \pi * 180 \rightarrow$ com a resultat s'obté l'arxiu *Mapcalculator1*, ara hem de calcular la tangent d'aquest arxiu per obtenir el valor del gradient i.

Analysis /Map Calculator on es fica la següent fórmula:

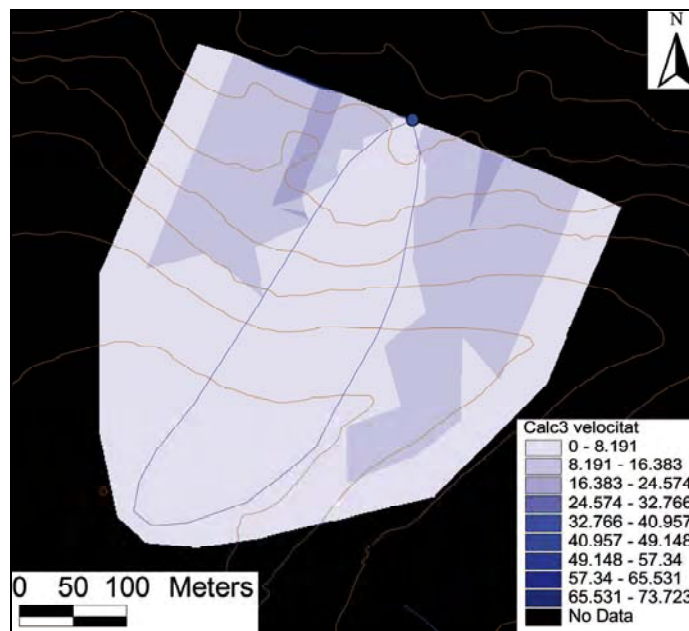
Mapcalculator1 (funció trigonometria) TAN $\rightarrow$ Evaluate

i s'obté el mapcalculator2, se li pot canviar el nom a i. En aquest pas es convenient realitzar una comprovació manual dels resultats

6.1.1.1.4 Velocitat

Una vegada ja tenim tots els arxius anteriors ja estem en disposició de calcular la velocitat de l'aigua segons la fórmula $Ve=(K*i)/n$

Amb el Map Calculator es fa l'operació anterior: $(\text{grid } K * i)/\text{grid } N \rightarrow$ Al resultat li diem velocitat, aquest resultat és la capa d'informació amb la velocitat per cada metre quadrat. També es convenient realitzar una comprovació manual en algun punt.



Mapa de les velocitats per a la font C1

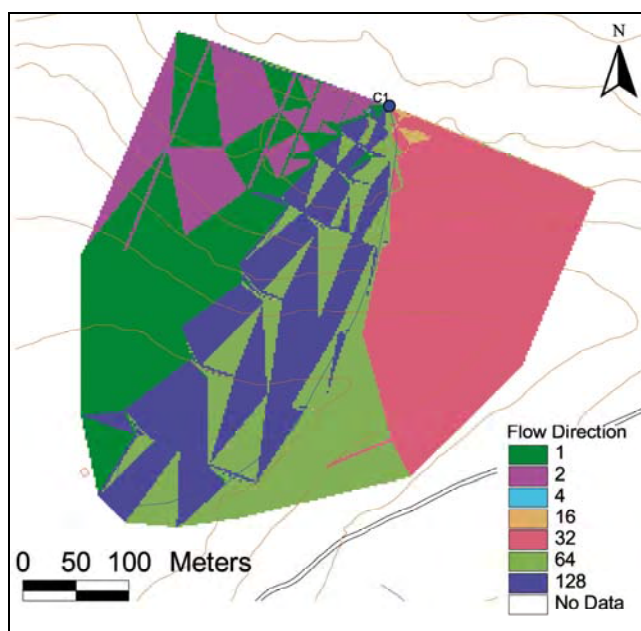
Ara es fa una reclassificació de les velocitats obtingudes i es divideixen en categories on les velocitats estiguin arrodonides. El resultat es l'arxiu *reclass of velocitat*.

Aquest arxiu s'ha de convertir en Shapefile i a la taula d'atributs se li ha d'afegir un camp amb el nom VELOCITMD.

6.1.1.2 Coordenades dels punts

Amb l'extensió HYDRO activada:

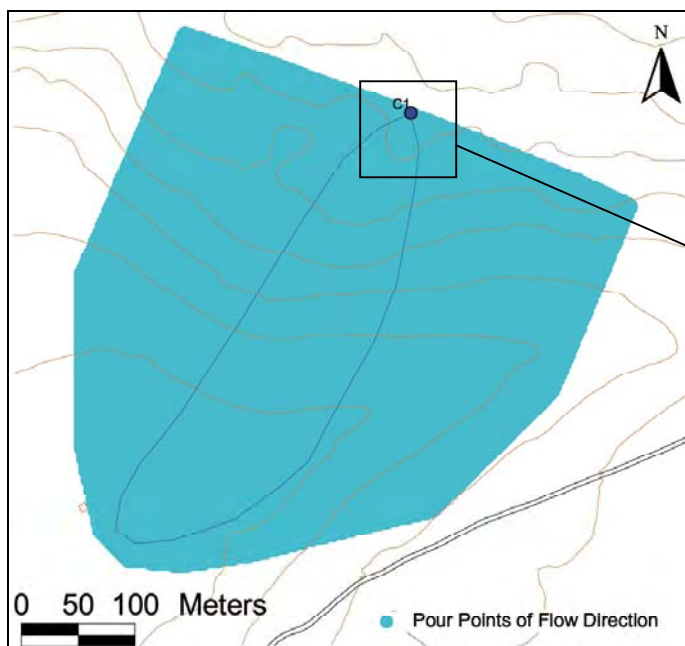
Es crea un mapa de base, Flow Direction, a partir del mapa de pendents *gridpiezo2m*



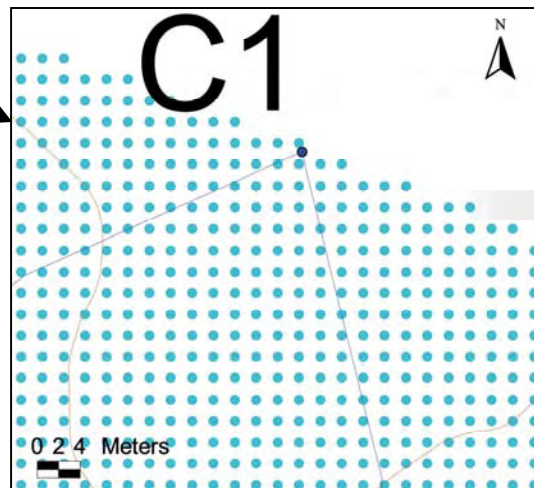
Mapa amb la direcció del flux per a la font C1

Es realitza una malla de punts 1 * 1 amb l'eina HYDRO-Pour points as a point shape

Es crea la capa *pour points of flow direction*.



Mapa de punts per a la font C1



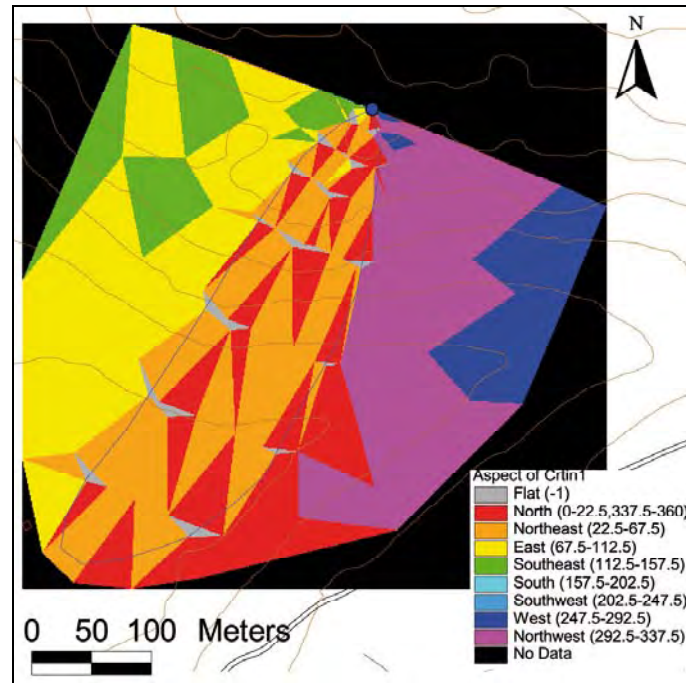
Detall del mapa de punts

S'activa l'extensió ADD XY (disponible a <http://georgiawildlife.dnr.state.ga.us/documentdetail.aspx?docid=263&pageid=1&category=maps>). Amb aquest pas s'han aconseguit les coordenades de cada punt X_COORD i Y_COORD.

6.1.1.3 Mapa d'orientacions

Amb l'extensió SURFACE es fa un mapa d'orientacions i després es reclassifica.

A partir de l'arxiu *crtin1* Surface/Derive Aspect, es crea *aspect of crtin1*.



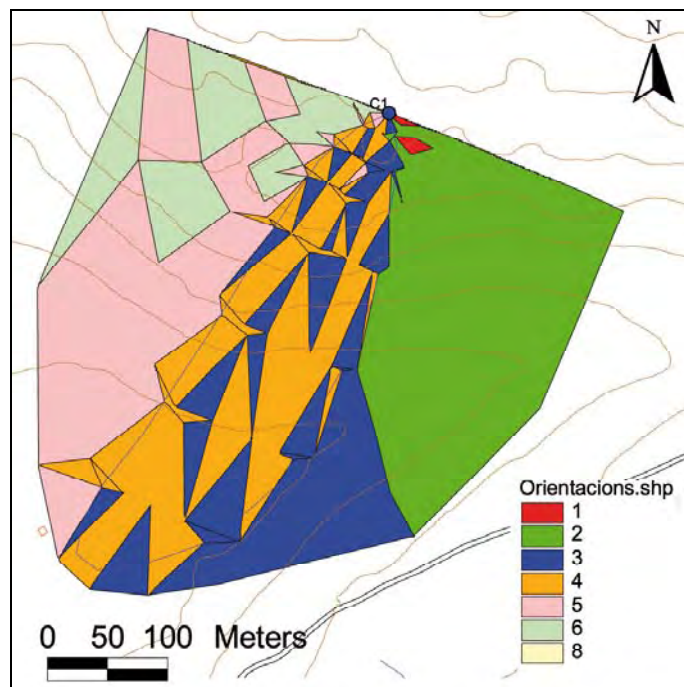
Mapa de les orientacions inicial per a la font C1

Posteriorment es reclassifica donant lloc a l'arxiu *reclass of aspect of crin1*. La reclassificació del mapa es fa en 8 direccions: 1-W (247,5-292,5°); 2-NW (292,5-337,5°); 3- N (337,5-22,5); 4-NE (22,5-67,5°); 5- E (67,5-112,5°); 6-SE (112,5-157,5); 7-S (157,5-202,5); 8-SW (202,5-247,5).

Es fa un convert to shapefile i li canviem el nom per orientacions.

En el cas d'apareixer orientació amb valors -1 s'han d'eliminar, donant-li el valor de les cel·les més properes. S'ha de tenir en compte que no poden existir direccions contradictòries en cel·les adjacents (1-5; 2-6; 3-7; 4-8)

Una vegada s'ha eliminat els valors dolents, s'afegeix un camp amb el nom ORIENT.



Mapa de les orientacions corregit pr a la font C1

6.1.1.4 Preparació arxiu abans de fer córrer el programa ANDOFLOW

Una vegada tenim totes les capes anteriors s'han d'interseccionar per tal de generar un sol arxiu amb tota la informació.

A vegades si la zona d'estudi és molt gran pot donar errors de càlcul, així doncs, abans de fer la intersecció de les capes cal retallar la conca per tal d'evitar els possibles errors existents en els límits de la zona calculada. Es recomana retallar la capa de punts amb la conca d'estudi, amb l'utilitat XTOOLS/Clip with polygons (Disponible en <http://arcsrpt.esri.com/details.asp?dbid=11526>).

Es comproven tots els arxius anteriors (*orientacions.shp*; *pour point as point shape*; *velocitats.shp*) que no hi hagi res seleccionat.

S'activa l'extensió XTOOLS /Intersect themes

- Select input theme: pour point of flow direction
- Shapes: X_COORD i Y_COORD
- Intersect: velocitats.shp
- Shape: VELOCITMD

Es crea la capa *inter1.shp*

Es torna a fer lo mateix:

- Select input theme: inters1.shp
- Shapes: X_COORD, Y_COORD, VELOCITMD
- Intersect: orientacions.shp
- Shape: ORIENT

Es crea la capa *inter2.shp*

A aquesta segona capa *inter2.shp* se li ha d'afegir un identificador (ID) amb l'ajuda de l'extensió SANTI TOOLS (Disponible en <http://topografia.montes.upm.es/santitools.html>). Aquest procés triga una bona estona.

Finalment es comprova que l'arxiu tingui tots els camps necessaris:

- X_COORD
- Y_COORD
- VELOCITMD
- ORIENT
- ID

Si es correcte se li afegeix el camp TEMPS, i ja tenim l'arxiu necessari per fer córrer el programa ANDOFLOW.

6.1.1.5 Programa ANDOFLOW

El programa es divideix en 3 parts:

1. Origen de les dades: en aquest punt s'ha d'introduir l'arxiu generat al pas anterior *inters2.dbf*
2. Variables: una vegada s'introdueix l'arxiu, aquest apartat s'omple automàticament amb les dades del arxiu. Se li dona a ACCEPTAR
3. Dades: aquest apartat també s'omple automàticament si tot es correcte.

Lavors només queda córrer el programa, els càlculs finals donen el temps de trànsit una partícula d'aigua $t=s/v$.

Una vegada definit el temps, s'agrupen el temps segons els perímetres, en el nostre cas:

Temps ≤ 1 dia = Perímetre I
 Temps $1 \text{ dia} > t \leq 10$ dies = Perímetre IIa
 Temps $10 \text{ dia} > t \leq 50$ dies = Perímetre IIb
 Temps $50 \text{ dia} > t \leq 100$ dies = Perímetre III

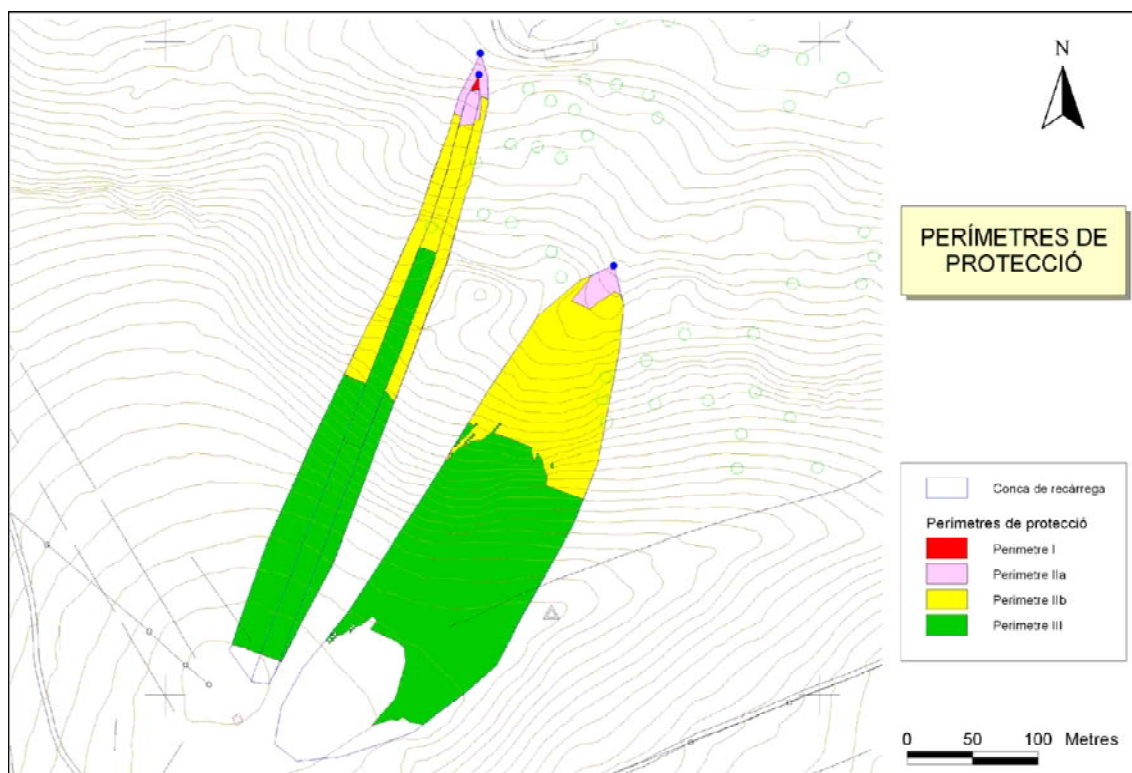
6.1.2 **Perímetres de protecció**

Les funcions del perímetre immediat o perímetre I són per una banda protegir les instal·lacions de la captació i la mateixa captació davant de qualsevol degradació física, i evitar que s'aboquin o s'infiltrin substàncies contaminants a l'interior o a les proximitats de la captació. I quedaria definit per la distància que recorreria un contaminant en 24 hores.

El perímetre proper o perímetre II, també anomenat zona higiènica o zona de protecció microbiològica que ha de protegir la captació de qualsevol migració en el subsòl i en la superfície de substàncies contaminants no

industrials. Aquest perímetre es pot definir per l'espai en el qual la ploma contaminant hauria de tardar entre 10 i 50 dies per arribar a la captació. El perímetre definit pels 10 dies (perímetre de protecció IIa) ve donat pel temps que es considera que tarda en degradar-se els elements patògens com els bacteris, mentre que el perímetre definit pels 50 dies (perímetre de protecció IIb) ve donat pel temps que es considera que tarda en degradar-se els elements patògens com els virus.

El perímetre llunyà o perímetre III, presenta la funció d'establir una zona tampó entre els sectors de vulnerabilitat i la zona II, i se sol definir amb una extensió igual al doble de la zona II.



Perímetre	Temps (dia)	Captació C1		Captació C2		Captació C3	
		Distància (m)	Cotes (m)*	Distància (m)	Cotes (m)*	Distància (m)	Cotes (m)*
Perímetre I	0-1	4		12		2	
Perímetre IIa	1-10	20-40	2320-2325	40	2275	32-53	2276-2283
Perímetre IIb	10-50	155-178	2375-2415	140	2330	270	2380
Perímetre III	50-100	333-395	2456-2460	300	2410	490	2465

* Cotes fins a la que es remunta el límit superior del perímetre

Cal anotar que dins la conca de recàrrega de la captació 3 s'hi troba la captació 2, amb el seu propi perímetre.

Andorra la Vella, 15 de maig del 2008

Valentí TURU i MICHELS
Llicenciat en Ciències Geològiques
(H93/310)

M^a Carmen GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ
Llicenciada en Ciències Geològiques
Núm. de col·legiada: 4611

7 BIBLIOGRAFIA TEMÀTICA

Per a la realització de la present part s'han tingut en compte les següents dades:

GEOLOGIA

BESSON, M. *et al.* (1990). Carte géologique de la France a 1/50.000, feuille 1093, Fontargente. Ministère de l'Industrie et de l'Aménagement du Territoire, BRGM. Service Géologique National.

BESSON, M. (1991). Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50.000), feuille Fontargente (1093).

ALÍAS, G I CIRÉS, J, (1992). Geologia del basament hercinià del NW d'Andorra. IEA

GIRONELLA, A. (1993). Estudi sobre les figures geomètriques d'origen periglacial a la conca dels Cortals d'Encamp. IEA

ESPINOLA, M.R. I SOLER, A. (1996). Presència de sheelita en els sediments del riu d'Aós: caracterització de les mineralitzacions font. IEA

IGEOTEST (2002). Estudi hidrogeològic per a la captació d'aigües a l'estació d'esquí de Soldeu-El Tarter (Expedient:G3-055-PR-007.08.02).

INSTITUT D'ESTUDIS ANDORRANS (2002). Mapa geològic d'Andorra. 1:50 000

HIDROGEOLOGIA

CARRILLO, E; FERRÉ, A i LLUENT, A (2003). "Mapa de les zones de molles d'Andorra". Grup de geobotànica i cartografia de la vegetació. Departament de biologia vegetal (botànica) de la Universitat de Barcelona.

CLARIANA, P ((2004). "El sinclini de Tor-Casamanya. Estudi estratigràfic i estructural. Nova cartografia geològica a escala 1:25.000." Revista Horitzó núm 6, pp 3-15.

FONT, J. (1998). "Estudi hidrogeològic per captar aigua subterrània pels canons de neu de l'Estació d'esquí de soldeu -El Tarter".

TURU, V. (1997). Evaluación de la recarga de un acuífero fisurado: utilización de los modelos de flujo en medio fisurado para el macizo de Padern-Solà d'Engordany. Principado de Andorra (Pirineo Oriental). A: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica AIH-GE. Las Palmas de Gran Canaria. pp. 407-417.

VILLANUEVA, M. I IGLESIAS, A. (1984). “ Pozos y acuíferos”. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. IGME (De), 426 pp.

BALANÇ HIDRIC: CLORURS

CUSTODIO, E. i LLAMAS, M.R. (1983). Hidrología subterránea (sección 12). Vol. 1 i 2; ed Omega

CUSTODIO, E. (1997): Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos. En: *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Las Palmas de Gran Canaria. AIH-GE. 83-109.

IGEOTEST (2003). “Perímetros de protección del torrent captat al sector de Riba Escorxada. ENSISA. Parròquia de Canillo.” Expedient núm: D-025-EP-056.07.03.

IGEOTEST (2003). “Perímetros de protección del pou dels Espiolets o pou de l'Allau. ENSISA. Parròquia de Canillo.” Expedient núm: D-025-EP-053.07.03.

IGEOTEST (2003). “Perímetros de protección de les fonts captades al sector de Riba Escorxada. ENSISA. Parròquia de Canillo.” Expedient núm: D-025-EP-051.07.03.

IGEOTEST (2001). “Perímetros de protección de la captació de la Birena. Vall del Riu Montaner. Parròquia de La Massana”. Expedient núm: D-025-ACA-031.05.01.

IGEOTEST (1996). “Perímetros de protección de la captació de la Societat d'Aigües d'Arinsal (SADAMSA). Parròquia de La Massana”. Expedient núm: A-025-PR-037.09.96.

PONSA, A i PLANAS, X (2001). Análisis histórico y tendencia de la temperatura y precipitación desde la primera mitad del siglo XX en el Principat d'Andorra. A: I congreso de Cuaternario de Países de Lenguas Ibéricas. Actas. Lisboa, 2001

GEOQUÍMICA

CUSTODIO, E. i LLAMAS, M.R. (1996, 2001). Hidrología subterránea. Segunda edición corregida. Vol. 1 i 2; ed Omega

KRAUSKOPF (1979). Introduction to geochemistry. Second edition

MINGARRO, F i ORDOÑEZ, S (1982). Petrología exógena I; hipergénesis y semintogénesis alóctona.

ISÒTOPS

ARCE MONTEJO, M. et. Al. (2001). Caracterización del oxígeno 18, deuterio y tritio en las aguas del Pirineo. Las caras del agua subterránea (Medina y Carrera, eds), Congreso en Memoria de Germán Galarza de 2001.

CEDEX (1995). "Estudio de la hidrología isotópica del Alto Genil". Informe parcial nº2

CRAIG, H. (1961), "Isotopic variations in meteoric waters". Science 133, 1702-1703.

JENS, F (1990-1994), programa MULTIS v. 3.15. "Interpretation of isotope hydrogeologic data on the basis of combined lumped parameter models".

JIMÉNEZ SALAS, J.A. i DE JUSTO ALPAÑES, J.L. (1975). "Geotécnica y cimientos. Propiedades de los suelos y de las rocas." Vol I. 2 edición

RASO NADAL, J.M. (1999) "Monogràfic de geografia: El clima d'Andorra" Volum 5. Editat pel Govern d'Andorra.

YEHDEGHO, B & REICHL, P (2002). "Recharge areas and hydrochemistry of carbonate springs issuing from Semmering Massif, Austria, based on long-term oxygen-18 and hydrochemical data evidence". Hydrogeology Journal (2002) 10:628-642

PERÍMETRES DE PROTECCIÓ

IGEOTEST (2000). "Instruccions pràctiques per a la determinació dels perímetres de protecció i cartografia dels sectors de vulnerabilitat intrínseca del Principat d'Andorra". Exp. A-110-AG-041.04.00

AVALUACIÓ DEL RISC DE CONTAMINACIÓ

CENTRE DE BIODIVERSITAT. "Mapa de cobertes del Sòl d'Andorra". Esc.1/5.000 (CDROM). Institut d'estudis andorrans. Març 2001. ISBN 99920-0-016-4