

Comportament de l'aigua subterrània a la vall Salada de Cardona

Memòria realitzada per:
Josep Font Soldevila
per optar al grau de Doctor per la UPC

Director de tesi:
Josep Maria Mata-Perelló

Programa de doctorat:
Recursos Naturals i Medi Ambient

Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals
Universitat Politècnica de Catalunya

Manresa, novembre de 2005

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

Índex

3.6. Avaluacions hidrogeològiques.....	171
3.6.1. Inventari de punts d'aigua	172
Descripció de la fitxa.....	172
Resultats	175
Punts més remarcables	176
Altres observacions	178
3.6.2. Comportament a escala regional.....	180
Piezometria, direcció del flux i gradient	180
Síntesi de funcionament a escala regional.....	182
3.6.3. Comportament a la vall Salada	183
Materials geològics	183
Estructura	184
Distribució dels materials.....	185
Hidràulica del medi	189
Piezometria.....	191
Paràmetres	196
3.6.4. Hidrogeoquímica	197
Resultats obtinguts	198
Diagrames i relacions iòniques	199
Balanços de clorurs	201
Quantificació de les sortides de sal de la vall.....	203
Aigua superficial i subterrània en l'aiguabarreig al Cardener.....	210
Funcionament de l'aquífer salí al riu Cardener	213

3.6.1. Inventari de punts d'aigua

La primera tasca de camp que es va dur a terme en el capítol de la hidrogeologia fou començar l'inventari de punts d'aigua de la vall Salada i de la zona circumdant. La primera campanya va ser el 1997, posteriorment se'n va fer una actualització el 2002 i la darrera revisió ha estat el 2004. Altres punts de situació de pous es poden veure en Agència Catalana de l'Aigua (2001).

L'objectiu de l'inventari de punts d'aigua és conèixer les surgències d'aigua que hi ha a la zona amb la finalitat de determinar les característiques més bàsiques, com són les hidrològiques, geològiques i geoquímiques, valorar-les quan sigui possible en el temps i relacionar-les entre si a fi de poder extreure conclusions de l'origen i de les diferents zones que hi ha.

La metodologia ha consistit en un treball de camp de coneixement dels punts d'aigua, la majoria de les vegades per transmissió oral. Aquest coneixement dels punts d'aigua també ha s'ha fet a partir de la informació facilitada per la Subdirecció General de Mines i la Junta d'Aigües de la Generalitat de Catalunya.

Aquesta tasca ha consistit a emplenar tot el que s'ha pogut de les fitxes per cada punt, tant al camp com al gabinet. D'aquesta manera, *in situ*, a més de les observacions visuals, també s'han mesurat paràmetres mitjançant els aparells següents: mesurador de nivells, de pH, d'oxigen, de conductivitat i aforadors. Al laboratori s'han realitzat les anàlisis químiques dels ions principals d'aquelles mostres d'aigües dels llocs més significatius. També s'han fet els aixecaments topogràfics dels punts d'aigua de dins de la vall Salada, a fi de determinar-ne la piezometria.

Descripció de la fitxa

La fitxa que es fa servir (veure figura núm. 109 i la cara segona en la 110) és una aproximació a la que es feia servir el 1997 a la Junta d'Aigües de la Generalitat de Catalunya. Es considera important seguir el mateix format a fi d'homologar les dades.

Les fitxes emprades consten de diferents apartats: a l'inici hi ha el número d'ordre, que també és el número de referència en els plànols adjunts. La segona secció informa del propietari i l'usuari, així com de la seva toponímia, en coordenades UTM, i la cota en metres sobre el nivell del mar (m. s. n. m.); aquestes s'han obtingut del plànol topogràfic a escala 1/5000. Els punts d'aigua de la vall Salada s'han obtingut per aixecament topogràfic específic (en les fitxes s'observa que hi ha decimals). Cal constatar que es va fer un itinerari topogràfic tancat, des dels punts de referència emprats en les obres del túnel de la variant de la carretera. La secció següent és la de les dades tècniques, on s'especifica: tipus de punt d'aigua, profunditat, diàmetre, equip de bombeig, règim de bombeig, dades d'aforament, de l'aquífer i característiques de l'aigua *in situ*. En la graella següent, en full a part, hi ha les característiques de la perforació i tall geològic, així com l'anàlisi química feta al laboratori, les observacions rellevants i la situació gràfica del punt d'aigua.


Departament Enginyeria Minera i Recursos Naturals

FITXA INVENTARI DE PUNTS D'AIGUA															
DADES ADMINISTRATIVES															
Propietari:						Usuari:									
Adreça:						Adreça:									
Telèf. DNI/NIF						Telèf.. DNI/NIF									
Comarca:						Coordenades X:									
Terme municipal:						Y:									
Topònim:						Cota del sòl (equidistància m):									
Sistema aquífer:															
DADES TÈCNIQUES															
Tipus:				Profunditat(m):				Longitud(m):							
Diàmetre(mm):				Data construcció:				Constructor:							
EQUIP DE BOMBAMENT			RÈGIM DE BOMBAMENT												
			Extraccions m ³ /any:												
			Data:												
Comptador			Mes	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tipus motor			Hores/mes												
Potència (CV)			Dies/mes												
Tipus bomba:			Cabal (l/s)												
Alçada bombament			Extraccions (Dm ³)												
Capacitat nominal (l/s)			ÚS DE L'AIGUA												
Profunditat instal.lacions (m)			Agricultura ha				Abastament				Hab.				
			Indústria Tipus				Altres								
Referència altimètrica															
Altura respecte el sòl (m):						Cota(m):									
DADES D'AFORAMENT															
Data	Prof. nivell aigua	Q (l/s)	Sist. mesura	Data											
				Cabal (m3/h)											
				Temps (h/min.)											
				Depressió(m)											
				Cabal específic (l/s/m)											
				Transmissivitat(m2/d)											
CARACTERÍSTIQUES GEOLÒGIQUES DE L'AQUÍFER															
Tipus d'aquífer				Estudi previ				Caract. tècniques							
Edat geològica				Perfil geològic				Aforament							
Litologia				Bibliografia del punt				Termometria							
Profunditat sostre				Anàlisi química/bacteriològica											
Profunditat sòcol				Xarxa de qualitat				Xarxa piezomètrica							
CARACTERÍSTIQUES DE L'AIGUA (in situ)															
t°(C)	pH	CE(µS/cm)	Cl-												

Figura núm. 109. Fitxa de punt d'aigua (cara primera)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

CARACTERÍSTIQUES DE PERFORACIÓ I REVESTIMENT										
Perforació				Revestiment						
De a	Ø (mm)	Tipus	Observacions	De a	Øint. mm	Gruix	Tipus	Observacions		
				mm						
TALL GEOLÒGIC				ANÀLISI QUÍMICA TIPUS						
m	Litologia	A		IO	mg/l	meq/l	IO	mg/l	meq/l	
				Na+			HcO3-			
				K+			SO4-			
				Ca+			Cl-			
				Mg+			NO3-			
				Conductivitat		µS/cm a	°C	pH		
				R.S. a 150 °			Índex S.A.R.			
				Duresa					mg/l CO3Ca	
				Laboratori			Data			
				Observacions						
A: Aquífer bo, regular o pobre (B, R, P)										
Situació (1/50.000)				Croquis de detall (1/5.000)						
Data confecció fitxa				Data actualització fitxa						

Figura núm. 110. Fitxa de punt d'aigua (cara segona)

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

Resultats

La zona de recerca dels punts d'aigua ha estat principalment la vall Salada i l'entorn de la mateixa vall. També s'han recollit altres punts d'aigua que se sospitava que podien tenir relació amb la vall.

El resultat de la recerca de fonts, surgències o basses naturals ha estat de 71 punts d'aigua, que s'expressen en les fitxes corresponents i es resumeixen a la taula núm. 32 (vegeu la seva posició en les figures núm. 111 i 112), on, juntament amb la toponímia, hi ha les coordenades, el tipus de punt d'aigua, el cabal en litres per hora, la conductivitat elèctrica en microsiemens dividida per centímetre ($\mu\text{S}/\text{cm}$), corresponents a les campanyes del 1997, 2002 i 2005, i la profunditat del nivell estàtic, respecte al brocal del pou, que posteriorment s'han convertit en cotes absolutes respecte al nivell del mar.

Taula 32. Taula d'inventari de punts d'aigua de la zona de Cardona

	Toponímia	UTM X (m)	UTM Y (m)	Cota (m)	Tipus	Cabal estimat (l/h)	pH	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 1997	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 2002	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 2005	Prof. (m)
1	Bolsegura	389240	4641310	577	pou exc.	inutilitz.	7,33	1.597	1.335		2,25
2	Cal Mujal	387500	4639500	590	"	"	7,78	1.312	1.150	1.300	0,83
3	El Guix	388350	4638825	450	"	18	7,55	1.091	758	1.470	1,23
4	Font del Grauet	388350	4638850	550	toll	3.600					
5	Mare de la Font	389125	4640875	505	mina		7,81	1.187	990		
6	Cal Mujal	387350	4644700	610	pou exc.	inapr.					
7	Boca Negra	389015	4641240	465	toll	3.600	8,20	830	1.005	905	
8	Els Fangars	390850	4640910	430	surgència	5.160	8,02	1.210	1.270		
9	Migsenyor	388350	4638850	550	toll	3.600			767	715	
10	El Xanxo	389550	4644700	450	"	3.600	7,90	749	735		
11	El Notari	389700	4641360	450	"	3.600			920		
12	Cal Lordella	386250	4638100	630	pou perf.	500					47
13	Font del Tap	390200	4641750	430	toll	3.600					
14	St. Cristòfor	392175	4638500	430	surgència	1.080	7,50	892	257	302	
15	"	392150	4638700	430	pou perf.	inapr.					15
16	Tresserres	390500	4638750	430	toll	2.520	7,5	892	1.163		
17		389800	4640100	520	mina	?					
18	Aforador metàl·lic	390320,8	4640261,2	408,9	rierol	216	7,5	>200000	>200.000		
19	Afor. met-sensor	390303,9	4640150,1	414,9	rierol	288	7,2	"	>200.000	196.500	
20	Font Piona +Gilda	390664,6	4640682,0	421,3	Font	720	8,2	5.190			
21	Afor. vall S Card.	391175,4	4640943,6	393,8	rierol	900	7,55	1.728		? 3.300	
23	Las Salinas	391470	4640650	445,1	"	12	7,4	>200000	>200.000	166.800	
24	Bòfia sota cases	390590,7	4640622,9	426,9	font	72	8,1	8.230			
25	Surgèn. S. Onofre	391184,9	4640780,5	392,8	rierol	18.000	7,27	>200000	>200.000		
26	Bassa 1- munt. sal	390406,0	4640240,0	407,7	bassa		7,1	"	>200.000		
28	Aiguamolls	390713,6	4640752,1	413,9	aiguamoll	inapr.					
29	Font de la bòfia	390114,1	4640070,3	443,7	font	144	7,3	>200000	>200.000		
30	Pou St. Onofre	391000	4640640	415,6	pou	19.800					23
32	Colònia Arquers	390190	4645590	475	col·lector	720	7,8	617			
34	Sondatge 1	391160	4640700		sondatge						
35	Sondatge 2	391210	4640730		"						
36	Sondatge 3	391270	4640780		"						
37	Sondatge 4	391320	4640805		"						
38	Sondatge 5	391375	4640830		"						
39	Sondatge 6	391290	4640890	390	"						1
40	Bassa sota terr.	390641,7	4640312,9	403,4	bassa	inapr.	7,3	>20000			
41	Bassa	391282,5	4640857,9	389,9	"	inapr.			120.000		
44	Fluges-C. S. Miquel	390500	4641000	620	"	1.000			918	880	
45	L' Audalet-F. Albira	393700	4643500	450	"						
46	Can Basora	390900	4643100	460	pou	3.024					20

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

47	Sota Montjuïc	384500	4639000	680	"	2.250					44
48	Monest. V. Andreu	391500	4643100	460	"	8.000			1.235	3.900	27
49	Sota Montjuïc	384800	4639700	650	"						20
50	Font Torre Blanca	389000	4641100	500	font	5.000				595	
51	Vilajosana	393401	4639964	365,5	pou	9.720		855			3,4
52	La Coromina	391658	4641376	398,6	"	39.960		557			5,5
53	La Coma	390215	4641762	420	font	84.960		599	431		
54	St. Mateu Bages 1	395340	4632335	295	pou	79.200					4
55	Castellnou-Garges	399050	4633500	380	font	2,1		1.50	1.052		
56	Súria- Pou Tordell 1	396950	4631650	275	pou	39.600					8,4
57	Súria- Pou Tordell 2	396900	4632200	282	"	18.000					9,4
58	Súria - Pou 7	396560	4631250	270	"	64.800		3.050			33
59	Súria - Cal Jover	395650	4632150	290	font			898	829		
60	Salo - km 8	387600	4634100	450	pou	3.333					5
61	Font ctra. I	391400	4641100	400	font	60	8,53	1.738		680	
62	Pinsota	391100	4641050	450	"	1.080	8,33	1.024	1.074	989	
63	Sota Montjuïc -II-	384500	4639000	660	pou	3.600					15
64	Carretera II	391385	4641100	400	font	60			4.560		
65	Sota Montjuïc -II-	384800	4639700	650	pou	15.000			925	862	20
66	Riu	391575	4641330	392	riu			135	72		
67	Riu	391600	4640850	387	riu	12 x 10 ⁶		100	330		
68	Riu sota col·lector	391920	4640880	386	riu			544			
69	Torrent Negre	392300	4641950	405	torrent	216		6.100			
70	Font Calda	391000	4641620	445	font	13.800	7,33	1.375	1.220	1.342	
71	Font ctra. traçador	389300	4642400	440	font	1.140		1.265			

Punts més remarcables

La part més interessant és la mateixa vall Salada, com és lògic. En aquesta vall hi ha les fonts perimetrals que afloren en els vessants, que desapareixen tot seguit abans de finalitzar el vessant. El resultat de tot aquest sistema hidrogeològic és la desaparició en superfície del torrent Salat, que l'any 1915 encara era superficial fins a la cova del turó de Sant Onofre (Cardona 1997), com es pot veure en una postal de l'època. El drenatge principal de la vall era la surgència de Sant Onofre, que juntament amb l'aigua del pou de Sant Onofre, més l'escolament subterrani i l'aigua dolça del torrent del peu del poble, formaven el desguassament de tota la vall.

A partir del 1999 el nivell base del riu Cardener passa a l'interior de la mina a través de la rampa de Sant Onofre. D'aquesta manera es capgira tot el comportament hidrogeològic de la vall Salada.

Els punts més remarcables dintre la vall són:

Font de la Pinsota (núm. 62). Amb un cabal puntual de 1.080 l/h aproximat, situada sota el castell de Cardona. Geològicament emplaçada a la part superior de les margues blavoses. El seu origen pot tenir relació amb una falla que talla la muntanya del castell. Aquesta aigua s'introdueix en la bòfia del mateix nom i aparentment no torna a aflorar.

Font dels Fangassos o de can Conill (núm. 8). Té un cabal puntual de 4.980 l/h aproximat, situada sota el poble i al costat de la casa dels Fangars o Fangassos. Es tracta de dos tubs, un de polietilè i un altre de fibrociment, que surten d'un terraplè de runes. Tenen l'origen en el drenatge que es va fer, abans de reblir-ho amb runes, a la sortida d'una mina d'aigua i a l'interior de la mateixa mina, coneguda originalment com a font de can Conill. El seu origen és en els materials vermellosos formats per gresos i lutites, i estructuralment pot tenir relació amb la falla de Cardona, de direcció NNE-SSO. El desguàs alimenta el torrent Nord de la vall, encara que té una

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

utilització principal com a aigua per a reg dels horts que es troben en cotes inferiors. Aquest fet té una importància especial en el cicle hidrològic.

Font de la Pilonia i de la Gilda (núm. 20 i 28). També sota el poble, i paral·lelament a les fonts anteriors, hi ha una sèrie de surgències, algunes de forma disseminada, que estan drenades per un tub de polietilè negre que trasllada aquesta aigua fins a un antic canal que travessava la vall. Actualment tota l'aigua s'infiltra per acabar alimentant l'aquífer superficial.

Surgències sota les cases del poble que es fiquen sota la terrera Vella per una caverna (núm. 24). Molt a prop de les anteriors surgències núm. 20 i 28 hi ha un petit cabal de 72 l/h que penetra dins la terrera Vella. El seu origen és similar als punts anteriors: aflora en uns gresos vermellencs a la part inferior del vessant nord. És espectacular la cavitat en forma de túnel que s'ha produït en els materials de la terrera Vella, principalment en les èpoques plujoses, amb el consegüent augment de cabal d'aigua dolça.

Desguassos de la Colònia Arquers (núm. 32). Sota la porteria de la mina Nieves hi ha el final d'una canalització d'aigües fecals que provenen de les instal·lacions sanitàries de la mateixa mina i antigament de la Colònia Arquers. El seu cabal, de 720 l/h, és molt variable, ja que fàcilment es pot doblar en qüestió de minuts. Aquest punt d'aigua és important ja que també en aquest indret es concentra tota l'aigua d'escorrentia d'una subvall. Aquest torrent va a parar, també com el darrer punt, a l'interior de la terrera Vella.

Font de la bòfia Gran (núm. 29). És una petita surgència d'aigua salada de 144 l/h que aflora en les lutites vermellencs del vessant oest de la bòfia Gran i que desapareix en la cavitat salina que drena tota aquesta depressió. De manera més o menys difuminada hi ha altres petites surgències, de caràcter estacional, que poden tenir un cabal similar al de la surgència principal. Aquestes aigües, més altres surgències paral·leles que no arriben a aflorar a la superfície, alimenten el torrent Salat després del forat Micó i també l'aigua que hi ha dintre de la Minilla. Fins i tot hi ha descripcions orals segons les quals alguns espeleòlegs, en altres anys, gairebé han pogut arribar des de la bòfia Gran fins a la Minilla. Dins de la Minilla i de la darrera galeria de tipus turístic que s'hi ha excavat fa poc, hi ha degotalls continus que han provocat cavitats subterrànies per sota del pis actual, comprovades últimament per georadar. En una d'aquestes galeries per la qual s'accedeix al pou Teresa, que està tancada al públic, hi ha una cavitat que s'ha format per enfonsament plena d'aigua amb fortes oscil·lacions del nivell d'aigua.

Torrent del forat Micó, aforador automàtic (núm. 19). Al principi del torrent Salat s'hi ha instal·lat un aforador triangular amb presa de nivells automàtica, els quals són enregistrats electrònicament. En el mateix aparell s'enregistren les dades pluviomètriques (vegeu el punt III-2.6). Aquestes aigües estan relacionades amb les del punt anterior, encara que directament sorgeixen d'una cavitat a la mateixa muntanya de Sal, per la qual cosa la seva salinitat és aigua saturada. Aquest torrent desapareix pocs metres abans d'arribar a la plaça de la Minilla. El seu cabal és d'uns 288 l/h.

Torrent entre la Muntanya de Sal i la terrera Vella (núm. 18). És un petit torrent que transcorre entremig de la Muntanya de Sal i la terrera Vella, que té l'origen a sota dels materials que cobreixen la Muntanya de Sal; la seva aigua està saturada de sal i té un cabal gairebé constant de 216 l/h. Aquest torrent transmet l'aigua al petit llac que hi ha davant la Minilla. Sota aquest torrent, i a la Minilla, concretament a la galeria que comunica aquesta amb el pou Teresa, s'ha observat fa un any un petit llac subterrani a un metre de profunditat del nivell de la galeria. Aquest petit llac s'ha format per esfondrament de la base de la galeria, de manera que impedeix l'accés a la cota dels 80 metres del pou Teresa. Actualment no es pot visitar per l'existència d'una reixa que impedeix el pas, ja que hi ha perill de caigudes de pedres i d'esfondrament del terra. El personal responsable de la Minilla (actual mina turística) ha comunicat que vegades hi ha aigua i altres vegades no.

Llac o toll al peu de la Muntanya de Sal (núm. 26). És un petit llac que s'ha anat transformant al llarg dels anys. S'ha de considerar que el seu origen és en la construcció de la terrera Vella i els accessos, que han originat una presa de materials impermeables que col·lapsen la sortida natural que hi havia en aquell indret. Fa uns deu anys que el llac havia excavat la terrera de sal i es ficava endins, on formava una cova semisubterrània, però actualment és un llac superficial. Quan plou, el nivell de les aigües puja i fins i tot pot arribar a entrar a la Minilla, per la qual cosa s'hi ha hagut d'aixecar un petit dic al davant i a la vegada es drena artificialment a una petita bomba que desguassa al costat mateix d'aquest llac a un nivell inferior.

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

Bassa sota la terrera Vella (núm. 40). Aigües avall de la presa originada per la terrera Vella, que intercepta el torrent Salat, hi ha una bassa més o menys petita el règim de la qual depèn de les estacions de l'any. El seu origen pot ser similar al que s'ha explicat en el punt anterior. S'alimenta de l'aigua de la pluja de les aportacions laterals. Aquesta bassa està situada a l'antic llit del torrent Salat, però actualment sembla que està penjada en relació amb el corrent d'aigua subterrània. Al costat de la bassa esmentada, però més cap al sud, també s'hi troba un embassament artificial de considerable extensió que cobreix l'antiga explotació coneguda com la mina del Duc, actualment en procés de rebliment per les aportacions artificials de runes i altres materials sobrers.

Surgència de Sant Onofre (núm. 25). Aquesta surgència és una de les més importants de la vall. Actualment en surten de 5 l/s a 6 l/s (s'hi ha posat un altre aforador triangular). El seu origen és el drenatge de les aigües subterrànies de la vall. L'existència d'un curs d'aigua que travessa el turó de Sant Onofre es coneix ja des del segle passat (Cardona 1997). Aquesta muntanya de Sant Onofre està minada per sobre del nivell antic d'aigua. El seu desguassament és cap al col·lector de salmorres, on hi ha un control continu del cabal i les seves característiques químiques.

Pou de Sant Onofre (núm. 30). Aquest pou va ser construït a resultes de l'accident d'entrada d'aigua a la rampa de Sant Onofre el maig del 1985. Immediatament després de l'entrada de l'aigua es va prolongar la rampa primitiva (abandonada en el seu dia per problemes en els primers metres), i a l'altura de l'entrada d'aigua es va col·locar una bomba que encara és en el fons de sac d'aquesta galeria. També a la mateixa alçada es va excavar el pou de Sant Onofre, que té una profunditat de 25 m, i als 23 m hi ha el carst, que, per comentaris dels miners, té una forma plana, a manera de mirall, i una alçada d'uns 10 cm, amb una extensió de pocs metres. Allà es va condicionar amb brea una petita fossa on hi ha un sistema de bombeig amb les corresponents sondes, que drenen l'aigua abans de filtrar-se cap avall a la rampa (encara que està taponat l'antic pas de comunicació). En l'accident del 1985, el forat que va fer l'aigua es va taponar amb un ciment especial barrejat amb aigua saturada. Els treballadors que hi van treballar diuen que feia molta pudor, que les aigües eren fecals i que semblava que fins i tot hi havia sang de l'escorçador que desguassava al col·lector d'aigües fecals.

Font de la Mare de les Fonts (núm. 5). Aquesta font alimentava el poble antigament. El seu cabal podia ser de l'ordre dels 10.000 l/h. El sistema de captació consistia en un pou quadrat d'uns 3 m de profunditat, que es podia buidar per sota. Segons persones responsables de la xarxa d'aigües de Cardona de fa uns deu anys, l'aigua sorgia a uns 80 cm de la cota superior del pou, i quan sobreeixia entrava en el canal històric i d'aquesta manera arribava a Cardona, a la font de la plaça de la Fira. Un fet que va alterar el nivell de surgència d'aquesta font va ser l'aparició d'una esquerda considerable pels camps que hi ha a l'esplanada de sobre Cardona (davant l'actual dipòsit regulador de butà), ja que llavors va baixar la cota de surgència, es va reaprofundir uns metres més, i fins i tot es va posar una bomba per aixecar el nivell de l'aigua fins al canal. L'aigua anava a Cardona per gravetat, amb un interessant canal amb respiradors que encara es pot veure pel costat de l'estret camí que va del poble a la font. Cal observar l'intent de conduir l'aigua d'aquesta font, que per gravetat es pensava que encara arribaria al poble; la sorpresa va ser que, encara que el tub passés pel mateix lloc on antigament transcorria l'aigua, llavors no era possible. Aquest fet el pot explicar la subsidència del terreny, ja que aquesta zona és al costat de l'indret de màxima subsidència per les cavitats de la mina.

Font Calda (núm. 70). L'aigua de la font Calda alimenta un gran safareig al cantó nord de Cardona i va a desguassar directament al riu Cardener. A la rodalia d'aquesta font cabalosa, d'uns 170 l/min, hi ha dues surgències importants més d'uns 20 l/min i de 40 l/min, que serveixen principalment per regar. Al costat de tot aquest sistema de fonts hi ha un torrent per on també transcorren aigües fecals. De fet, també hi ha altres petites surgències al peu dels gresos aflorants, i antigament es van construir pous de captació fets amb voltes de pedra, una de les quals es troba al peu de la carretera que va a Solsona.

Altres observacions

A la base de la Muntanya de Sal i dins les galeries de sota de la Minilla, es van observar variacions de nivells freàtics històrics que poden tenir una explicació en enfonsaments de sostres que taponen la sortida d'aigua. Això provoca una pujada de nivell freàtic que dura fins que els materials del taponament es dissolen. El temps de tornar a recuperar el nivell original pot ser més ràpid o més lent segons el contingut en més o menys argila de la presa, i també segons que l'aigua estigui saturada o no, la recuperació serà molt diferent.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

Hi havia un fet molt important en la recàrrega de la vall: era, com ja s'ha dit, el desguàs mitjançant una canonada que hi havia fins al maig del 1997 de les aigües fecals de Cardona a la zona dels Fangassos. Aquesta canonada de formigó (segons comunicació verbal dels hortolans), tenia moltes pèrdues entre les juntes, principalment a la zona dels Fangassos. Actualment hi ha una estació de bombeig que impulsa les aigües fecals cap a la depuradora, situada aigües avall del Cardener i després de la Coromina. Però encara el 1999 quan plovia podien sobreixir les aigües pluvials i desguassar a pocs metres de la font dels Fangassos.

S'ha de recordar també un altre punt d'aigua que va tenir importància econòmica, ja que va negar l'explotació de potassa de la mina del Duc l'any 1934; va ser l'aigua que hi havia en els estrats entre la potassa i els gresos del vessant sud. Actualment està soterrada tota la mina del Duc pels materials d'origen antròpic. Una vegada va ser plena d'aigua, allà s'hi van dipositar els primers fangs abans de formar la terrera.

També es consideren importants les informacions verbals de tècnics de les mines que recorden diferents episodis d'entrada d'aigua a la rampa de Sant Onofre (vegeu Entrades d'aigua abans de 1985, en el subapartat 323).

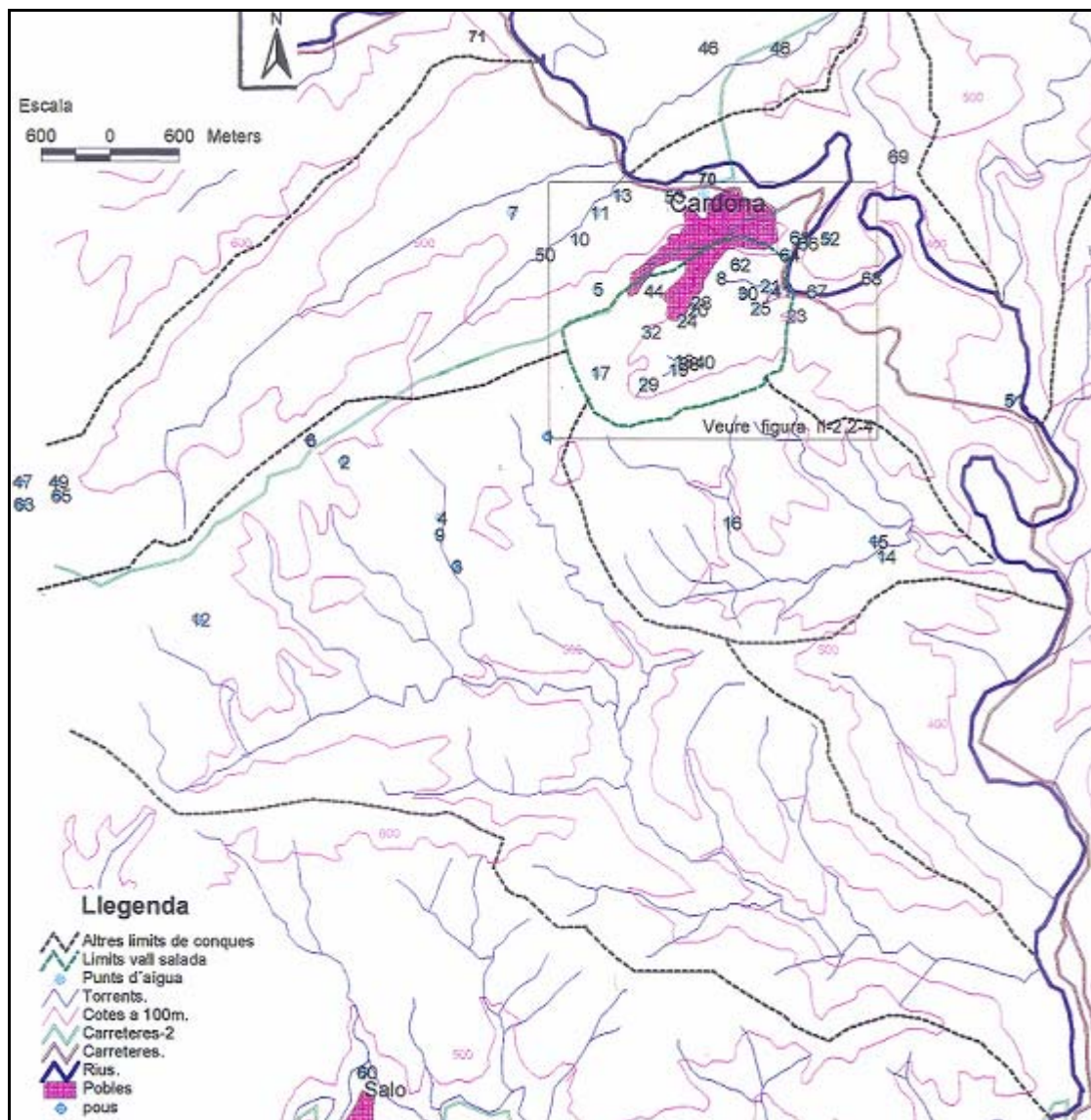


Figura núm. 111. Punts d'aigua a escala regional

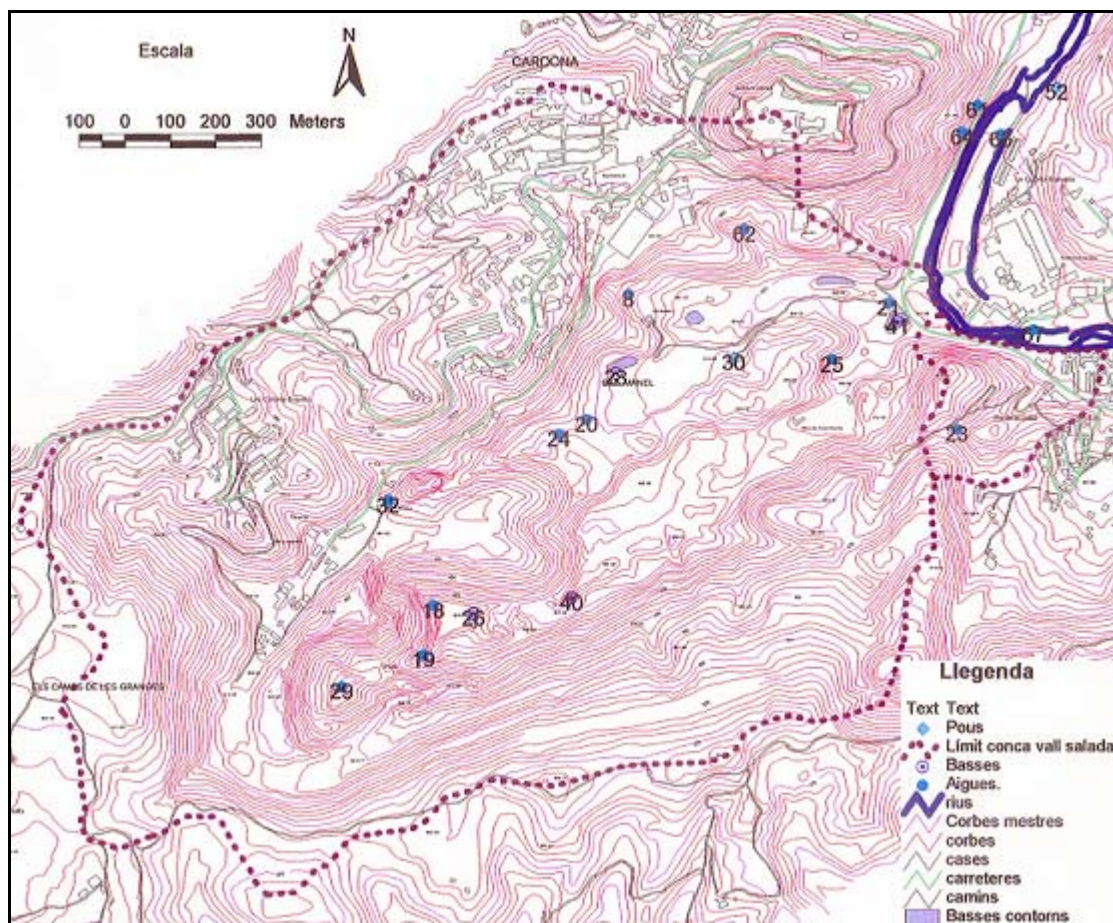


Figura núm. 112. Punts d'aigua a escala local

3.6.2. Comportament a escala regional

Piezometria, direcció del flux i gradient

En el funcionament hidrogeològic a gran escala, partint del supòsit de medi homogeni (UPC 1997), els punts de nivell freàtic més baix corresponen també als de topografia més baixa, i a l'inrevés, els punts topogràficament més alts tenen el nivell freàtic a cotes més altes. Així, els fons de les valls són punts brolladors, especialment si intersequen zones de permeabilitat més alta com les capes de gresos. Per tot això es pot dir que la superfície piezomètrica té la mateixa forma que la de la topografia, però més suavitzada, i que, a gran escala, el flux subterrani segueix el model de Tóth (1963).

Atès aquest esquema de funcionament i la distribució de cotes topogràfiques, el flux subterrani té una distribució aproximadament semiradial vist en planta: a les zones de cota més alta predomina la recàrrega, mentre que a les zones més baixes i a les vores dels contorns, la descàrrega.

D'acord amb la figura núm. 113, el riu Cardener funciona com a descàrrega no només de la zona d'estudi, sinó, òbviament, de tota el vessant NE. El flux regional al S de la vall Salada drena preferentment al barranc de Salo i al riu Cardener. Entre la vall Salada i el barranc de Salo hi ha un gradient topogràfic d'1,2 %; per tant, es pot esperar que amb aquest gradient horitzontal i amb la baixa permeabilitat dels materials, les velocitats del flux siguin més aviat baixes. Floquet (1933) assenyalava que el sondeig exploratori de la Carosa (a l'est de la fàbrica Manuela), de 500 m de fondària, era surgent.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

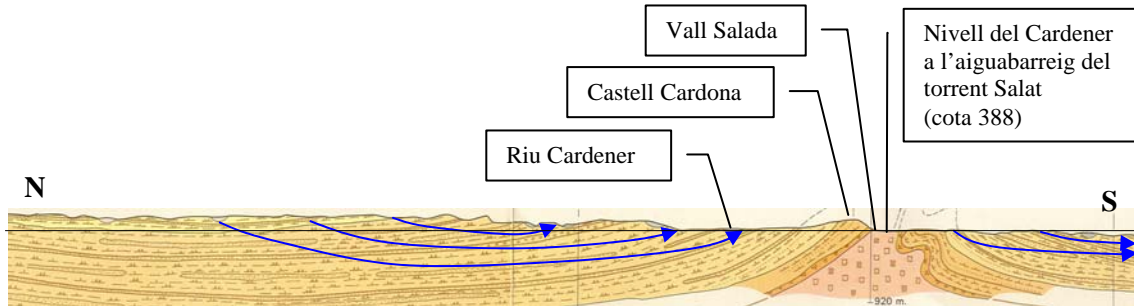


Figura núm. 113. Secció hidrogeològica a escala regional

El comportament de la piezometria a mitja escala i seguint les cotes dels nivells dels punts d'aigua representats a la figura núm. 114, es dedueix que la vall Salada no actua de descàrrega principal de fluxos regionals. La bòfia Gran, a l'extrem més occidental, exerceix un control en el sentit de redireccionament del flux subterrani local. El gradient piezomètric està controlat per la topografia i pel contrast de permeabilitats entre les formacions en fondària i les zones de descàrrega de les formacions més permeables. En aquest context cal destacar que les elevacions topogràfiques als costats de la vall Salada prevenen tant l'entrada com la sortida de fluxos de caire regional. Això té dues implicacions: primera, totes les sortides d'aigua que s'observen a la vall estan originades per recàrrega a les proximitats; segona, totes les entrades que es produïen a la vall sortien dins de la vall i anaven (abans del 1999) cap a l'al·luvial proper del Cardener.

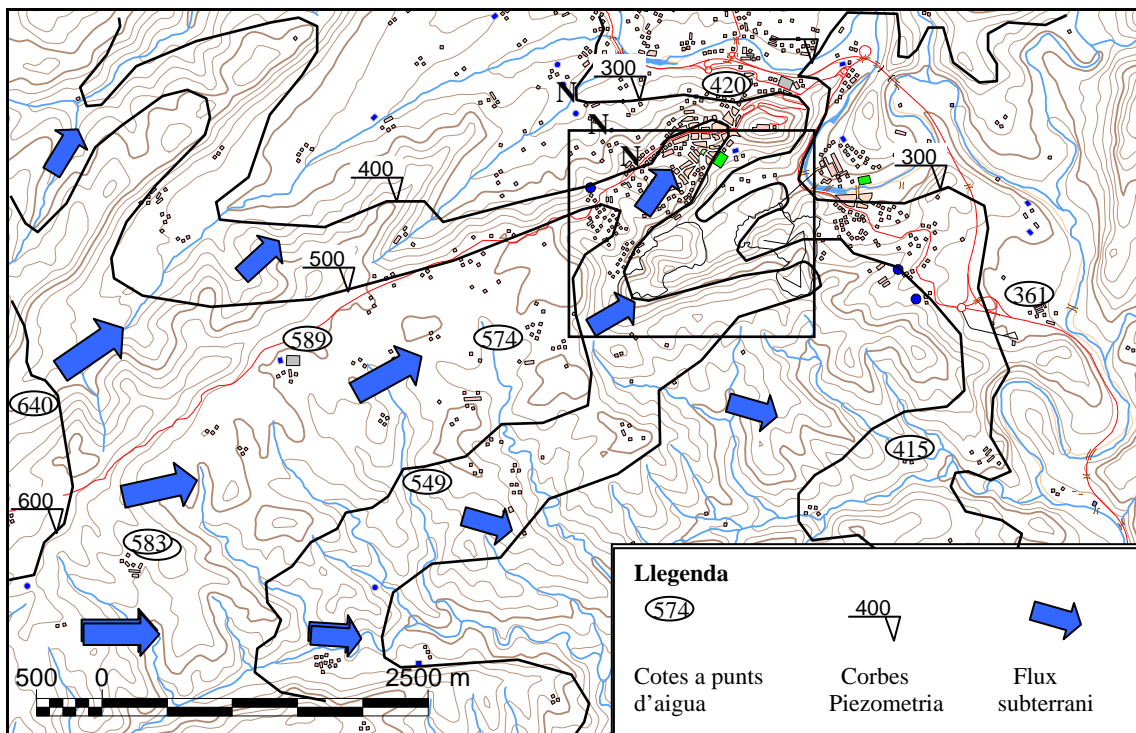


Figura núm. 114. Piezometria i flux subterrani de la rodalia de la vall Salada

Moltes de les fonts inventariades a la rodalia de la vall Salada expliquen el funcionament esmentat anteriorment. Per exemple, la font Calda (núm. 70 de l'inventari) està localitzada en la intercepció de la falla que separa el castell del nucli de Cardona amb una sèrie d'estrats inclinats de gresos. Aquests gresos tenen una recàrrega a la part superior de la vall Salada i actuen de

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

conductors seguint el vessant septentrional, passant per sota del nucli urbà fins a trobar l'esmentada discontinuïtat en el punt més baix. Un altre exemple d'aquest funcionament és el que dona lloc a la surgència de la Mare de la Font (núm. 5 de l'inventari), que antigament donava aigua al poble; en aquest cas és una depressió en el vessant septentrional que intercepta als mateixos estrats inclinats de gresos.

La distribució de la piezometria i l'avaluació de les aportacions de l'aquífer al riu permeten estimar semiquantitativament un valor global de transmissivitat d'aquest aquífer. A la piezometria s'observa que el gradient horitzontal segueix aproximadament una superfície que s'adapta a les condicions de drenatge als torrents i al riu. Se suposa que el flux està controlat pel gradient més baix, el qual és més o menys de l'ordre d' $1,5 \cdot 10^{-3}$. Es considera aquest valor com a representatiu de tota la zona de descàrrega de l'aquífer al riu. Aleshores, aplicant la llei de Darcy, es pot estimar la transmissivitat.

$$v = k \cdot \nabla h$$

$$Q = T \cdot \nabla h \cdot b$$

on v és la velocitat de Darcy, k la permeabilitat, Q és el cabal d'aigua, T la transmissivitat, ∇h el gradient piezomètric i b la base de la secció considerada de descàrrega de l'aquífer, tot en unitats coherents. Estrictament, aquesta aproximació no és vàlida perquè la superfície segueix la solució d'una rasa drenant, on els extrems són aproximadament constants. Emprant la llei de Darcy, els valors de T seran lleugerament sobreestimats. Aleshores, si $Q = 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ (la diferència entre els aforaments 2 i 3 és de $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ repartits uniformement entre els dos vessants del Cardener) $\nabla h = 1,5 \times 10^{-3}$, per un tram o base b aproximadament de 10 km (es considera tota la xarxa drenant), la transmissivitat resulta ser de l'ordre de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, que pot ser vàlida a escala regional, tot i que sembla una mica alta.

Si es fa servir la mateixa metodologia per a una escala local de la vall Salada, sent conscients que és tan sols una aproximació, per a la font Calda (núm. 70 de l'inventari), els resultats són similars, ja que: $Q = 13,5 \text{ m}^3/\text{h}$, és a dir, $3,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $\nabla h = 150 \text{ m} / 3.000 \text{ m}$, i una espessor b aproximadament de 3 m, resulta una transmissivitat també de l'ordre de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Síntesi de funcionament a escala regional

La geologia i l'orografia de la zona afavoreixen que la recàrrega dels aquífers es faci de manera dispersa, tot i ser formacions poc permeables. El flux de l'aigua es dona de les zones topogràficament més enlairades cap a les de cota menor (fonamentalment riu Cardener i barranc de Saló), que funcionen de manera permanent a la regió. Això implica que el flux sigui predominantment vertical ascendent a l'entorn dels rius, cosa que es va comprovar amb el sondeig de la Carosa (Floquet 1933). La recàrrega estimada amb dades de la vall Salada (vegeu el balanç segons evapotranspiració) pot ser de l'ordre del 10 % de la pluviometria (del 12 al 14 % segons UPC 1997), cosa que representa uns 50-80 mm/any, segons que es tracti d'anys més secs o més humits. Aquest valor és coherent amb una climatologia de tipus mediterrani continental. L'estimació a partir de la piezometria i el balanç hídric condueix a un valor de transmissivitat al voltant de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, probablement sobrevalorada per les hipòtesis simplificatives que ineludiblement s'han hagut de fer. Les aportacions de l'aquífer al riu considerant el tram de referència per sota de Cardona entre l'aforament 2 i l'aforament 3 són de l'ordre de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

L'inventari realitzat a la rodalia i a fora de la vall Salada i d'acord amb els paràmetres hidrogeològics trobats indica:

- Les aigües de l'entorn de la riera de Saló són més diluïdes que en cap altra del sistema; segurament és el resultat d'una major participació de l'escolament superficial i subsuperficial en la barreja d'aigües d'origen regional.
- La vall Salada és la principal aportació de sal al riu Cardener, on no s'han detectat altres aportacions significatives al sistema, excepte la depuradora d'aigües residuals.
- El balanç de massa al riu és coherent amb un flux permanent d'aigua diluïda des dels aquífers cap al riu, que rebaixa dràsticament el contingut de clorurs aigües avall de la vall Salada.
- En conclusió, ni el model conceptual de flux regional ni les dades hidroquímiques no indiquen dissolució profunda de la roca salina. Tot això és coherent amb el fet que la vall Salada estigui rodejada de materials poc permeables, ja que la seva estructura, encara que sigui en un plec anticlinal, s'alterna amb estrats permeables i impermeables.

3.6.3. Comportament a la vall Salada

Materials geològics

A la vall Salada es diferencien dos tipus de materials geològics ben clarament, tant per la seva naturalesa com per la seva disposició dins la vall. En les darreres desenes d'anys hi ha una gran superfície de la vall que està recoberta per materials d'origen antròpic i que han modificat molt l'estat morfològic i hidrogeològic. A continuació hi ha una síntesi obtinguda de diferents autors sobre el tema, que per ordre d'antiguitat són: Floquet (1933), Barrera (1974), Ramírez i Riba (1975), Fernández-Rubio et al. (1979), Geoconsulting (1984), Cardona (1990) i UPC (1997).

Començant pels materials de la formació Súrria i Solsona que rodegen la vall Salada a manera de corona, s'ha de considerar que estan constituïts per lutites, calcàries de gra fi i intercalacions de gresos que poden tenir gruixos d'escala mètrica. En un principi es pensava que no podien tenir gaire importància en el comportament de l'aigua subterrània, encara que se sabia que originaven la majoria de les fonts de l'entorn de Cardona i de les mateixes fonts perimetrals de la vall. Darrerament, després del 2000, s'ha pogut observar que aquests materials, directament o indirectament per les falles que els intercepten, aporten cabals d'aigua de l'ordre de 2 l/s.

Continuant amb els materials salins que es troben en bona part de la superfície de la vall Salada, s'ha de considerar com a sòcol l'halita compacta i sana. A sobre d'aquesta halita sana hi ha l'halita alterada o afectada per dissolució i recristal·lització i que pot permetre un cert flux d'aigua salada de manera difusa i en forma de galeries a manera de carst salí.

També es pensa (Floquet 1933) que hi ha trams de carnal·lita situats perifèricament per l'extrusió del diapir i entre l'halita i les margues. La carnal·lita, que gairebé no aflora amb claredat, es pot haver dissolt en fondària i pot haver format cavitats. Aquest fet pot estar d'acord amb les experiències de Joaquín del Valle (1997).

Els materials que formen el Quaternari natural de la vall Salada són les argiles, que originalment estaven intercalats amb la sal i que per dissolució d'aquesta han quedat residualment en la superfície, encara que també aquestes argiles es poden transportar i acumular en altres indrets barrejades amb altres materials. Aquests altres materials moltes vegades són col·luvions situats al peu dels vessants, encara que en el *cap rock* de la Muntanya de Sal es troben gresos, l'origen dels quals és a cotes inferiors i a causa de la pujada del diapir ara estan per sobre del seu origen.

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

El Quaternari antròpic, que és el material que sobresurt més a la vall, està format per dos tipus principals de materials: un té l'origen en l'activitat minera i l'altre en el desenvolupament urbà. D'aquesta manera es troben tres zones d'acumulació de materials salins que provenen de la fàbrica de potassa: *a)* mina de Duc, dolines i cavitats de la muntanya de Sant Onofre primerament i després a l'esplanada que hi ha entre l'antiga llera del torrent Salat i la mina del Duc, en què s'ha omplert amb llots salinitzats i estèrils; *b)* terrera Antiga o Vella, on es troba principalment el subproducte clorur sòdic juntament amb argiles i sulfats com a resultat de la separació de la potassa, encara que també s'hi van abocar residus com ferralla, pneumàtics i similars, a més de la contaminació pròpia d'altres materials emprats llavors, i *c)* terrera Nova, formada principalment pel subproducte clorur sòdic a més d'argiles i sulfats, que s'ha anat valoritzant en aquests darrers anys i es pensa exhaurir i començar a recuperar ambientalment en un parell d'anys, per començar tot seguit amb la terrera Vella. Pel que fa als materials d'origen urbà, estan compostos per materials d'enderrocs i sobrants que es van dipositar a la zona coneguda com a Hipòdrom, a l'esplanada sobre els Fangassos, i a la zona del camp de futbol, on van formar una considerable acumulació que va tapar l'originària font de can Conill, per la qual cosa es va haver de canalitzar fins a la surgència actual.

Estructura

La vall Salada és al mig del sinclinal perforat pel diapir salí. Així, els estrats del vessant meridional tenen un cabussament al nord-oest d'entre 25° i 32°, i en els del vessant septentrional, el cabussament immediat és més suau i està entre 15° i 18°. Aquests cabussaments s'accentuen en la secció natural que ha fet el riu Cardener; així, a sota del castell els angles poden anar de 37° a 70° i al talús de la carretera sobre la Coromina es troben valors de 38° a 65°.

Els materials salins del mig i del fons de la vall formen una finestra tectònica amb intensa activitat tectònica d'extrusió i fort plegament.

El diapir ha ocasionat un sistema important de falles (vegeu la figura núm. 115), unes de les famílies més destacades de les quals són les que tenen la direcció N-S. Així, hi ha la falla que separa el nucli urbà de la zona del castell, que desencaixa la vall Salada a la zona dels Fangassos i dóna lloc a fonts com la de can Conill (núm. 8 de l'inventari) i la font Calda (núm. 70). Encara que de la mateixa família segurament que hi ha altres falles, una altra d'important per al desenvolupament evolutiu del carst posterior al 2000 és la falla que va des del peu de la resclosa de la Plantada fins a sota de la terrera Nova, passant pel mig de la corba del Cardener i de l'aiguabarreig del torrent Salat. Es pensa que aquesta falla pot drenar l'aigua dels estrats de la formació Súrria i formació Solsona que intercepta i que tenen la seva recàrrega per sobre de la bòfia Gran, i que fins i tot aquesta falla pot transportar aigua directament del riu abans de passar per l'assut de derivació del túnel del riu.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

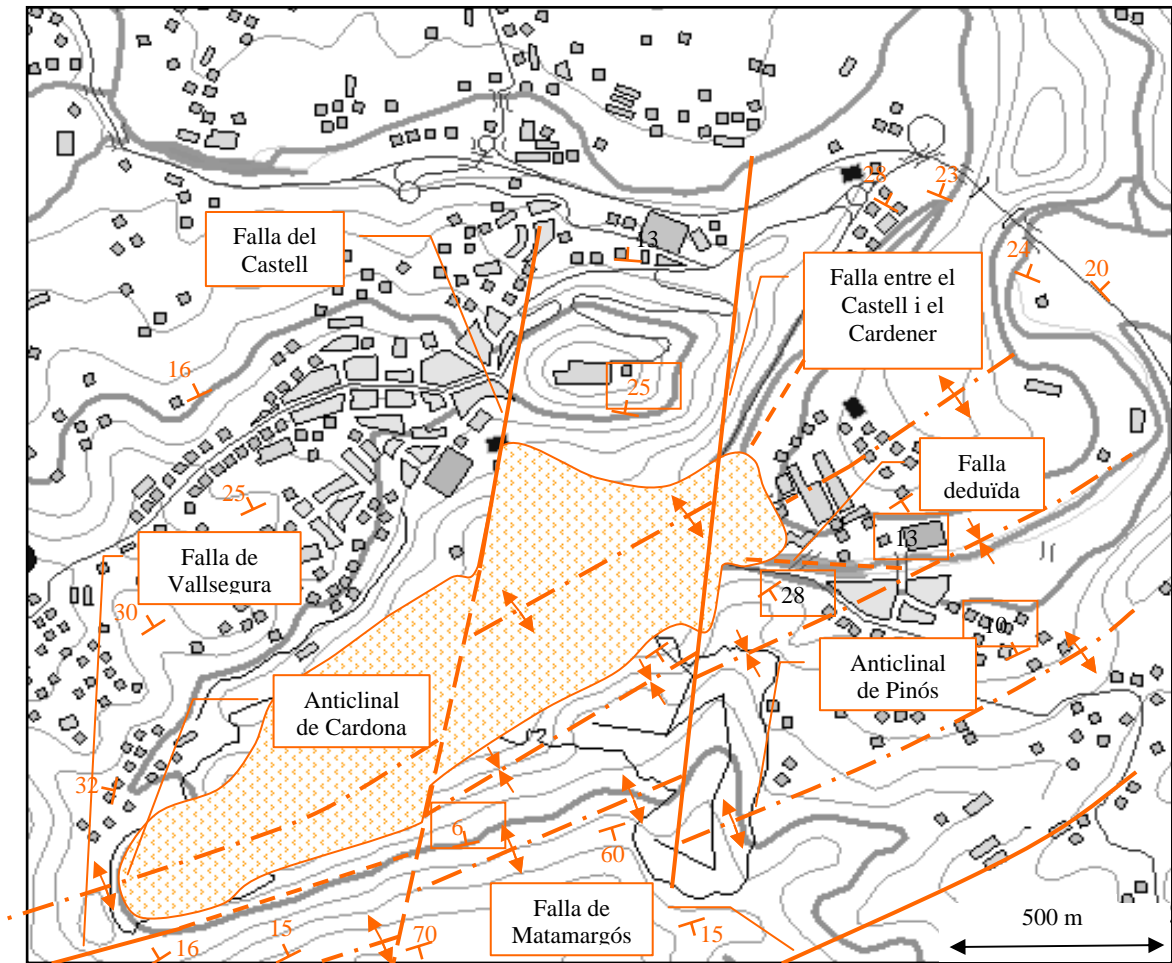


Figura núm. 115. Mapa estructural de l'entorn de la vall Salada

Altres fallades implicades en la hidrogeologia són les deduïdes que passen pel mig de la llera del riu i formen un angle de 70° amb el vèrtex en l'aiguabarreig del torrent Salat. De fet, des dels anys setanta Fernández-Rubió (comunicació personal) va anunciar la possible existència d'una falla important per sota del castell i pel mig de la llera del riu.

Distribució dels materials

Els materials que actualment es troben a la vall Salada tenen una distribució espacial que ha canviat amb el temps; primerament aquest canvi va ser motivat pel diapirisme i recentment per l'activitat humana.

Pel que fa a la distribució horitzontal dels materials dins la vall al llarg de la història, se'n pot tenir una aproximació si es consideren les cites històriques recollides per Ferran Cardona (2002):

Miguel de Elías i Marchal, en el seu document *Memoria sobre el criadero de sal gema de Cardona*, escrit el 1854, descriu –de ben segur recollint dades de Plini el Vell– com era la zona abans de l'any 78 dC, època en què els romans ja explotaven la sal: “[...] El territorio donde se hallaban las salinas era en sus primitivos tiempos un valle cóncavo muy espacioso, poblado de ricos y verdes prados, mucha parte de él atestado de robustos y frondosos nogales y hacia poniente una gran parte de bosque muy espeso de gigantescos pinos, cuyas espaciosas copas parecían llegar hasta las nubes formando una

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

muy deliciosa y fresca vega”. D’aquest text es dedueix que a principis de l’era cristiana la Vall Salada tenia una important cobertura edàfica i vegetal.

Ramon Puig de Molins, cronista de la vila de Cardona de la segona meitat del segle XIX, diu al seu llibre manuscrit *Efemérides de las Salinas*: “[...] En el siglo XVI apenas llegaba a tener sal descubierta una tercera parte de los terrenos en que hoy en día se encuentra [...]. El modo de irse descubriendo ha sido por hundimientos producidos por la disolución de las sales en términos que hay hoyos llamados bofias, o subterráneos, galerías, etc. [...]”

Gaietà Cornet i Mas, al llibre *Guía del viajero en Manresa y Cardona* (any 1860), fa esment també del fet que al segle XVII els afloraments salins estaven reduïts a la tercera part.

Alexandre de Laborde, a *Viatge pintoresc i històric* (any 1808), dibuixa la vall Salada amb el rierol Salat i el turó de Sant Onofre al mig (vegeu la figura núm. 116).

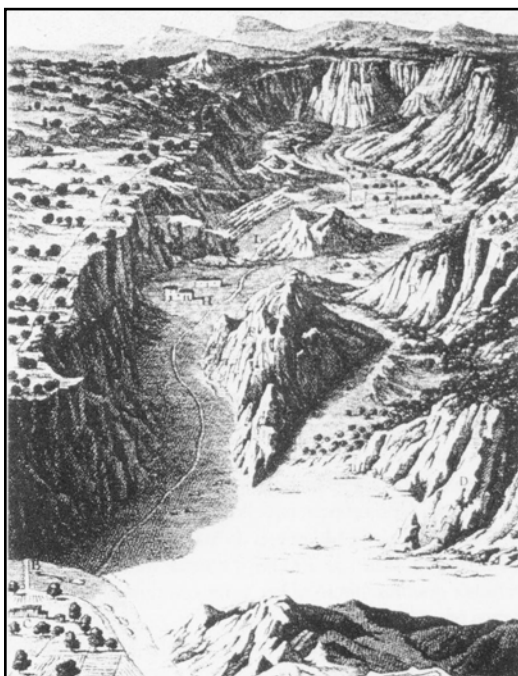


Figura núm. 116. La vall Salada el 1808, segons Alexandre Laborde

Floquet (1933) indica que el rierol Salat discorria per argiles que estaven greument afectades per dolines (bòfies), cosa que indica que la vall sud ha tingut des de començament de segle una cobertura si més no similar a l’actual. El mateix autor assenyala que aquesta distribució en dues valls és afavorida per la presència de carnal·lita a ambdós cantons de la vall i que la bòfia Gran es localitza a la zona de màxima acumulació de carnal·lita.

Barrera (1974) assenyala que, mentre que la vall nord estava recoberta d’argila a manera de *cap rock*, a la vall sud aflora la sal. Això és difícilment contrastable en l’actualitat a causa dels moviments de terres i la progressió constant de les terreres.

A partir de la situació de les primeres bòfies importants aparegudes a partir del 1999, que estaven alineades a la cinta transportadora en el riu, i de l’emplaçament de les dolines més grans que es troben adossades als marges de la vall, es dedueix que aquests fets poden tenir relació amb la dissolució de carnal·lita. La carnal·lita envolta al diapir i té una gran afinitat per l’aigua.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

Tot plegat apunta que al principi de l'era cristiana bona part de la vall Salada estava coberta de vegetació, segurament arrelada en els materials detrítics quaternaris suprasalins, amb nivells d'argila que gairebé segellaven els fluxos ascendents o descendents de l'aigua de la pluja i d'escolament de les fonts. Així mateix, sembla que la dissolució de la sal ha progressat a la vall i ha format dues subvalls separades per l'anomenat turó de Sant Onofre. Aquesta progressió erosiva pot haver estat iniciada per extraccions humanes o simplement per un període més actiu de pujada diapírica. Aquest darrer motiu explicaria també l'entrada més o menys accentuada de la corba del riu Cardener, consegüentment també les graves i sorres al·luvials, fins gairebé a tocar el peu del turó de Sant Onofre (vegeu Mapa geològic en la figura núm. 21 al subapartat 3.1).

La distribució vertical dels materials a la vall és determinada per diferents observacions. Així, tots els afloraments de sal de la vall presenten una cobertora d'argila terrosa molt poc consolidada, excepte la bòfia Gran, la Muntanya de Sal, talussos sota el turó de Sant Onofre i altres talussos a la rodalia del camí de Cardona a la Coromina. Aquesta cobertura argil·loterrosa són sediments atribuïts al Vil·lafranquià (IGME 1975) que consisteixen en estrats de materials detrítics organitzats en petites seqüències al·luvials. Aquests materials es troben plegats per efectes tectònics del diapir.

La dissolució de la sal és un procés actiu avui dia (Floquet 1933) i, per tant, la infiltració d'aigua es concentra a través de dolines o bòfies, però també es dona de forma dispersa, de manera que queda un residu com si fos un recobriment argilós. Gran part dels sediments anomenats *fons de vall* també podrien tenir aquest origen. La manca d'estructures de corrent, així com l'absència de còdols, confirmaria aquesta hipòtesi.

La sal carstificada s'estén entre aquest recobriment argilós (al sostre) i la sal dura o sense carstificar (a la base). A voltes funciona en règim d'aquífer "lliure" i a voltes pot estar totalment o parcialment confinat per l'argila (Geoconsulting 1984, 1992). Els perfils de geofísica (elèctrica) confirmen els dos tipus de sal i estableixen el sostre de la sal dura a l'entorn dels 40 m de mitjana. D'altra banda, el recobriment argilós pot tenir un gruix d'entre 5 m i 10 m (deduïts per perfils de georadar i observats amb sondejos a la vall Salada), tot i que Barrera (1974) n'estableix 14 m, deduïts per prospecció elèctrica.

El carst salí ha estat objecte de reconeixements espeleològics detallats al llarg d'aquest darrer segle. Però, a fi d'esbrinar el comportament de l'aigua subterrània pels conductes càrstics i conèixer el nivell de l'aigua dins la mina Nieves, ha estat Ferran Cardona, el 1997 i al llarg de l'any 2000, qui ha pogut demostrar i fotografiar l'evolució d'alguns conductes importants.

Les graves, sorres i llims dipositats pel Cardener en la corba davant del turó de Sant Onofre (vegeu la figura núm. 117 i 118) arriben a profunditats de més de 20 m (Geoconsulting 1984). Així mateix, els sondejos mecànics demostren (Junta d'Aigües 1999) que el contacte de les formacions salines amb les roques de les formacions continentals a sota del Cardener és gairebé vertical.

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

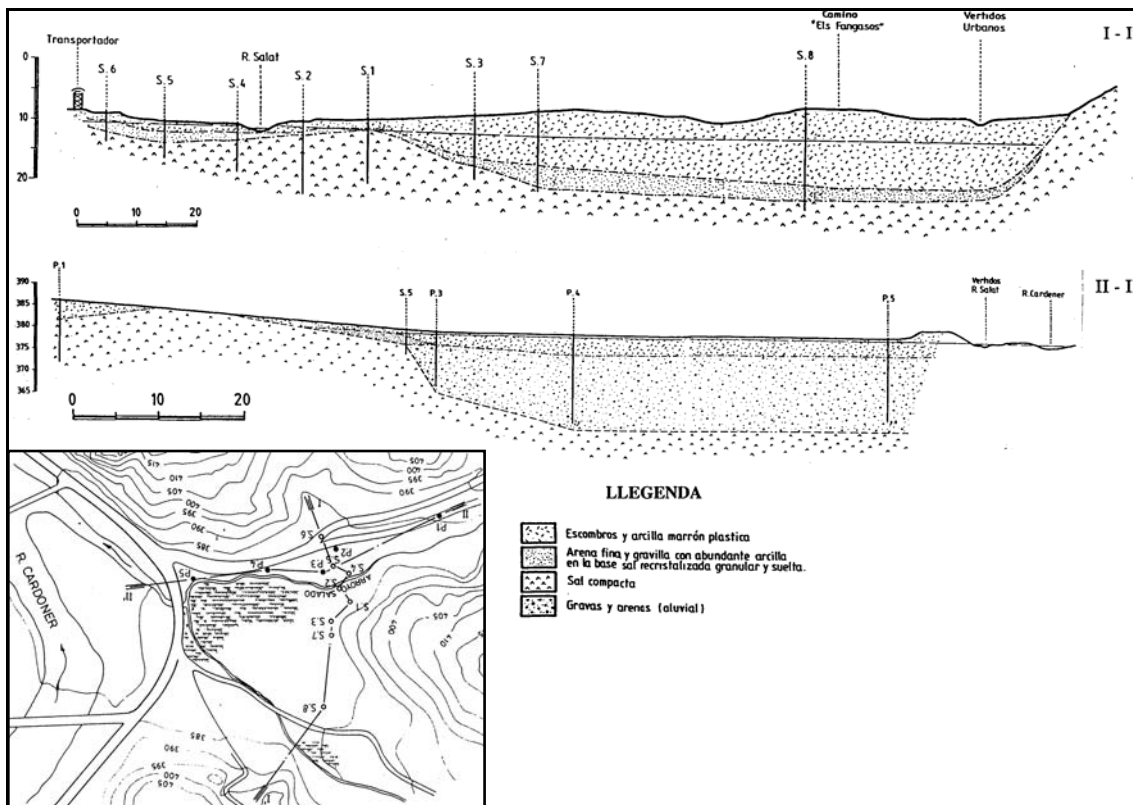


Figura núm. 117. Perfils geològics del Quaternari al·luvial en l'aiguabarreig del torrent Salat amb el riu Cardener (Geoconsulting 1984). La topografia no coincideix amb l'emprada

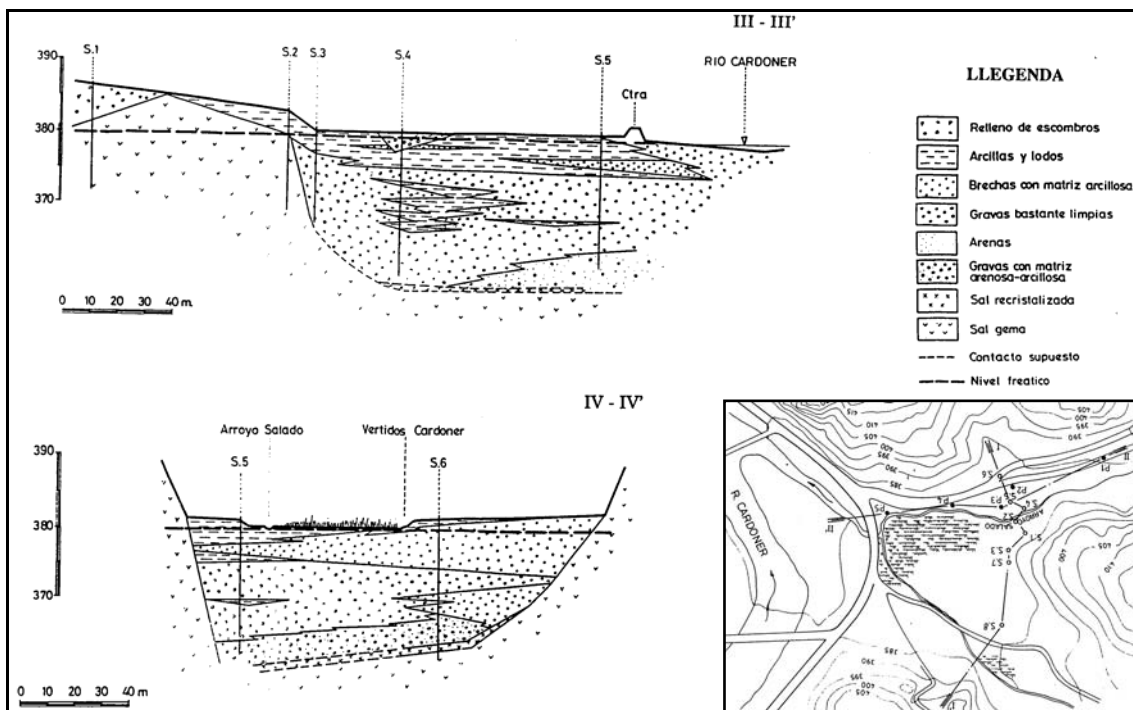


Figura núm. 118. Perfils geològics del Quaternari al·luvial en l'aiguabarreig del torrent Salat amb el riu Cardener (Geoconsulting 1984). La topografia no coincideix amb l'emprada

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

Hidràulica del medi

El comportament hidràulic de la vall Salada ha variat amb el temps i segurament tornarà a variar en el futur. En un principi la vall Salada és una vall aïllada i amb poques relacions amb el seu entorn, llevat de les fonts i surgències perimetrals, com s'ha expressat anteriorment. Es tracta, fins fa poc, d'un sistema hidràulic amb unes entrades formades per les fonts i per la precipitació, que drena en el punt més baix, que era el 2000 al riu Cardener. Però a partir del descens del nivell base, a causa de l'entrada d'aigua a l'interior de la mina l'any 2000, el punt de drenatge més baix passa de ser el riu Cardener a ser el fons de la mina.

Per altra banda, dins la vall Salada s'ha de diferenciar el comportament de la subvall nord del comportament de l'altra subvall sud, ja que, encara que el funcionament hidràulic pugui ser semblant, les seves aigües subterrànies són un reflex de les superficials. El turó de Sant Onofre fa de separador dels fluxos d'aigua.

Les aigües superficials en un principi han fluït pels dos torrents que defineixen les dues subvalls, ja que les seves lleres, formades per argiles residuals, s'han comportat com a impermeables o gairebé. El temps, la pujada diapírica, l'erosió retrògrada i la intervenció humana han motivat, primerament per difusió i després per dissolució lineal càrstica, l'aparició de fluxos subterranis importants. Darrerament, pràcticament ha desaparegut el flux superficial per ser gairebé tot subterrani. En condicions de pluviometria similar, aquestes aigües circulen preferentment en fondària per l'aqüífer salí.

Les observacions subterrànies realitzades, tant les directes mitjançant sondejos i pels espeleòlegs com les indirectes per la geofísica, donen una sèrie d'informació que porta a considerar una xarxa de conductes càrstics. Aquests carsts en els materials salins tenen un nivell freàtic variant al llarg del temps. D'aquesta manera, molts dels conductes càrstics han deixat de ser actius per passar a ser galeries obertes que amb el temps van convergint i esdevenen simples nivells amb intercalacions de materials detrítics fins.

Les explotacions mineres originen una subsidència. Paral·lelament, els moviments tectònics ascendents deguts al diapirisme indueixen un canvi constant en el nivell de base del funcionament del carst salí i de les condicions de contorn del sistema hidrogeològic. Aquest és un fenomen que deu haver funcionat en el passat, les evidències del qual es mostren en afloraments de probables paleocarsts. S'han trobat estructures al turó de Sant Onofre (a sobre de les boques d'entrada a les rampes de les mines, vegeu la figura núm. 119), així com al talús de la Muntanya de Sal, que podrien tenir l'explicació anterior. Aquesta deducció agafa més força si es compara amb els materials similars que es poden veure al fons dels conductes càrstics que recentment han quedat obsolets a l'interior del turó de Sant Onofre.



Figura núm. 119. Fins a tres nivells de paleocarsts es poden observar al turó de Sant Onofre, al mig de la vall Salada. Són proves de la pujada diapírica del fons de la vall i de l'evolució del sistema càrstic amb el temps

La inestabilitat dels materials de la vall també es pot observar en la morfologia del meandre al riu Cardener davant la vall, ja que la seva geometria és deguda a la dissolució de la sal, formació d'una petita cubeta i posterior rebliment amb materials al·luvials. Aquests materials quaternaris, amb una fondària de 20 metres, arriben avui dia fins gairebé a la vertical del turó de Sant Onofre (figures núm. 117 i 118). Les cartografies antigues indiquen que el curs del riu discorria encara més a l'est a començament de segle. Els moviments causats per la pujada de l'halocinesi i l'assentament degut a les extraccions mineres fan variar la posició del riu cap a l'est o cap a l'oest segons que domini l'un o l'altre.

El nivell freàtic de base del carst està en contínua evolució a causa dels canvis que es donen per aixecament-enfonsament del diapir que travessa. Així, veiem nivells de carst a més de 30 metres per sobre dels nivells actuals (Muntanya de Sal) i de probables paleocarsts (turó de Sant Onofre). L'explotació minera en grans cavitats que es va fer fins al 1991 va ocasionar una convergència interior i conseqüentment una subsidència en la vall (preferentment a l'oest). Aquest fet, juntament amb la pujada diapírica i la dissolució de la sal en superfície, va ocasionar una complexitat en el nivell freàtic que ha repercutit en una evolució constant i molt activa (vegeu la figura núm. 120). S'havia arribat a un autoequilibri entre la pujada diapírica i la lenta dissolució dels materials salins, que permetia la formació d'un sòl residual estable. Aquest equilibri es va trencar l'any 1999 i es va originar la inversió del nivell base del Cardener, que va passar a ser el del fons de la mina.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

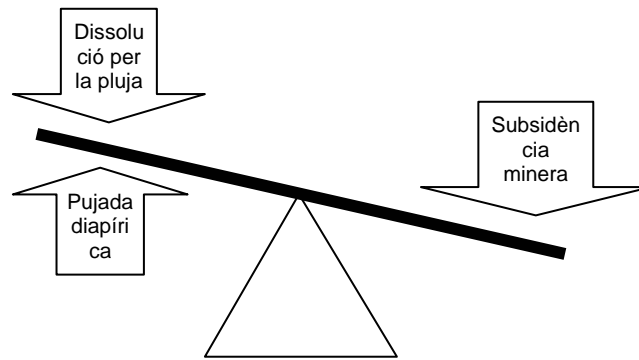


Figura núm. 120. Equilibri inestable entre la pujada diapírica, la dissolució i la subsidència minera

Pel que fa al comportament hidràulic de les terreres de sal que es troben a la vall, es pensa que a partir d'uns 20 m els seus materials són pràcticament impermeables (vegeu la figura núm. 121). L'aigua de les precipitacions i de les fonts de sota les terreres forma fàcilment uns xaragalls o conductes càrstics que ràpidament arriben a la base de la terra. Aquest fet s'ha demostrat amb les incursions espeleològiques a la cova del rierol Salat a la terrera Vella o a les surgències d'aigua saturada a mitja altura de la terrera Nova.

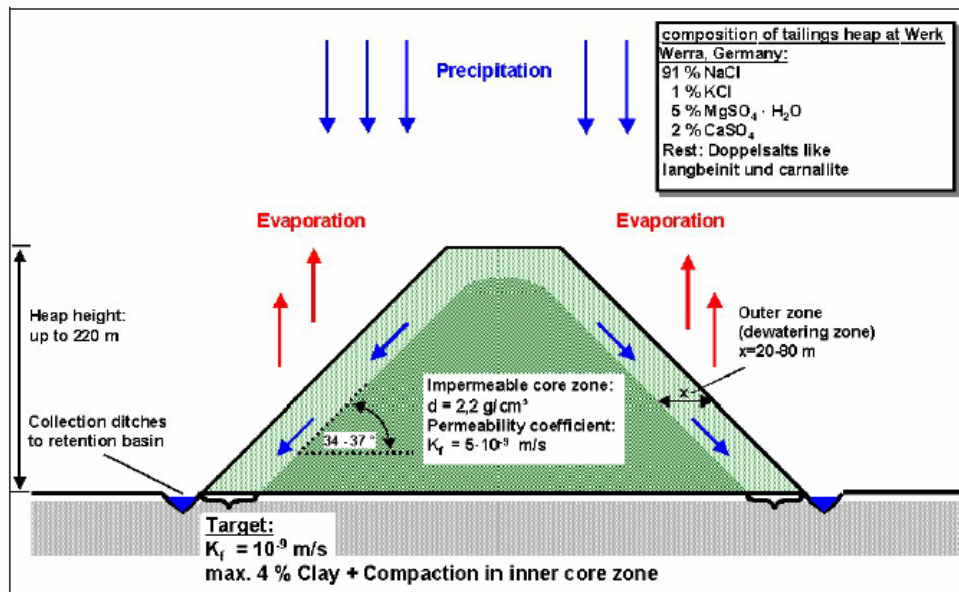


Figura núm. 121. Secció hidrològica d'una terrera tipus de clorur sòdic a Werk Werra, Alemanya

Piezometria

Una piezometria de detall de la vall Salada podria ser molt interessant per interpretar-ne el funcionament i l'evolució en el temps, però a la pràctica hi hagut molts problemes per aconseguir diferents nivells de l'aigua, així com per obtenir-los en el temps. Els problemes a què es fa esment són: falta de piezòmetres o de sondejos a la vall (principalment per les possibles dissolucions o alteracions de nivells no afectats), inestabilitat i variacions dels nivells en el temps (en poques setmanes o fins i tot en dies), enregistraments en bases topogràfiques diferents (la mina utilitza una altimetria uns 10 m per sota de l'oficial de l'Institut Cartogràfic de Catalunya) i la contínua pujada diapírica i subsidència minera del terreny (augmentada amb el secretisme de les dades). A tots aquests problemes de lectura en el camp, s'hi ha d'afegir el fet

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

del comportament càrstic a través de conductes en bona part de la vall. Tot plegat fa que sigui discutible fer nivells piezomètrics de precisió.

El factor històric en què hi hagut un nivell determinat és un dels factors més importants per a l'estudi de la piezometria, ja que, a més de l'evidència entre la piezometria de base abans del 2000 i després, també hi ha les observacions dels nivells penjats molt més pretèrits en els talussos de la Muntanya de Sal, com al turó de Sant Onofre.

Malgrat el que s'acaba d'expressar, i per l'interès de considerar la piezometria per explicar el comportament de l'aigua subterrània a la vall Salada, s'ha intentat dibuixar les dues situacions principals a la vall, abans i després del 1999. S'ha pogut fer perquè hi ha punts més fiables abans del 1999, com són les basses permanents d'aigua (vessant sud), les fonts del vessant nord, així com el nivell del pou de Sant Onofre (núm. 30 de l'inventari) i la surgència de Sant Onofre.

El sistema càrstic a la subvall nord és molt factible que s'originés al peu de l'abocament de la xarxa de les aigües superficials. Aquest sistema hi devia ser quan hi va haver l'entrada d'aigua a la rampa de Sant Onofre el 1985. També altres aportacions coincidien de forma anastomosada a la zona dels Fangassos i d'allà circulaven fins a trobar el torrent Salat després de la surgència de Sant Onofre. Posteriorment es va desenvolupar un conducte càrstic directe cap al riu (com va demostrar el reconeixement espeleològic de Ferran Cardona el 2000).

El funcionament del carst de la zona dels Fangassos (la mateixa toponímia és molt il·lustrativa) té relació amb l'aigua superficial que quedava estancada allà. Part d'aquesta aigua s'infiltrava fins a cotes impermeables dins els materials salins. Aquesta aigua, quan arribava a la sal, patia una primera fase d'alteració, i posteriorment obria un pas a manera de conducte càrstic. Aquest funcionament podia ser molt actiu quan hi havia molta aigua dolça, però segurament, quan la infiltració era suau, l'aigua es carregava de sal per la mateixa dissolució i esdevenia salmorra, amb la consegüent autoprotecció davant la dissolució. Malgrat aquesta autoprotecció davant la ràpida dissolució, sí que és factible una alteració de la sal en profunditat (sal alterada en la informació geofísica). Aquest fet és molt probable que dominés en el subsòl dels Fangassos. L'aigua salada menys densa sobreeixia cap al riu per un sòcol salí més estable, sigui per la superposició de materials detrítics en què la seva porositat dificultava el contacte amb el sòcol esmentat, sigui per l'efecte de renovació originada per la mateixa pujada diapírica.

Un nivell de la zona dels Fangassos que segurament va perdurar bastants anys (almenys des del 1985 fins al 1999) va ser la cota 390, corresponent al fons del pou de Sant Onofre (núm. 30 de l'inventari). D'acord amb un esquema acotat (amb el corresponent desfasament topogràfic de +10 m) realitzat per tècnics de la mina Nieves amb motiu de l'entrada d'aigua a la rampa de Sant Onofre el 1985, es demostra que ja van deduir que hi havia d'haver una conducte càrstic que connectava amb el nivell del riu (vegeu la figura núm. 122). Posteriorment, un altre tècnic de l'explotació Las Salinas, després de bombejar des del 1991 aigües fecals provinents del clavegueram de Cardona a la rampa 9-bis, el 1997 va fer altres anotacions molt similars (vegeu també la figura núm. 124). Finalment, l'any 2000 Ferran Cardona ratifica i grafia el conducte esmentat a uns 12 m per sota del nivell del riu.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

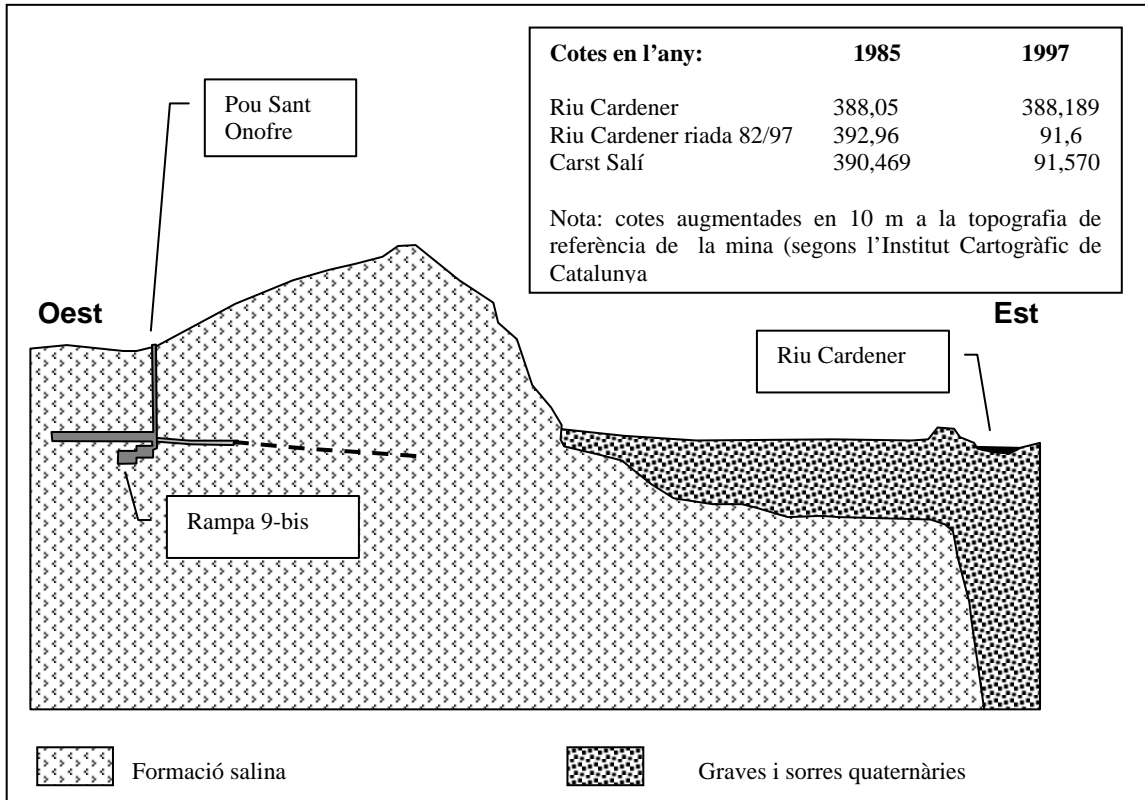


Figura núm. 122. Esquema interpretatiu a partir del realitzat pels tècnics de Mina de Cardona amb motiu de l'entrada d'aigua a la rampa de Sant Onofre el 1985 i el 1997. Està representat el pou d'intercepció al conducte càrstic trobat amb les cotes corresponents. La cota del carst salí del 1985 es pensa que es refereix al nivell actiu corresponent al bombeig (a partir de dades de Mina de Cardona 1985)

Segurament, l'anterior comportament de l'aigua expressat en la figura núm. 122 no ha estat sempre així. El pou de Sant Onofre des del 1985 tenia un nivell d'aigua en la cota 391,6 i la surgència de Sant Onofre és a una cota de 391,5, cosa que demostra l'existència pràcticament d'un sol nivell càrstic, encara que per qüestió descriptiva s'ha diferenciat en dues subvalls. Amb aquesta consideració es parlarà de sistema càrstic de la subvall nord i de la subvall sud.

El resultat de les observacions de camp, juntament amb el que s'ha dit darrerament, s'ha dibuixat un esquema de la circulació de l'aigua abans de 1999 (vegeu figura núm. 123)

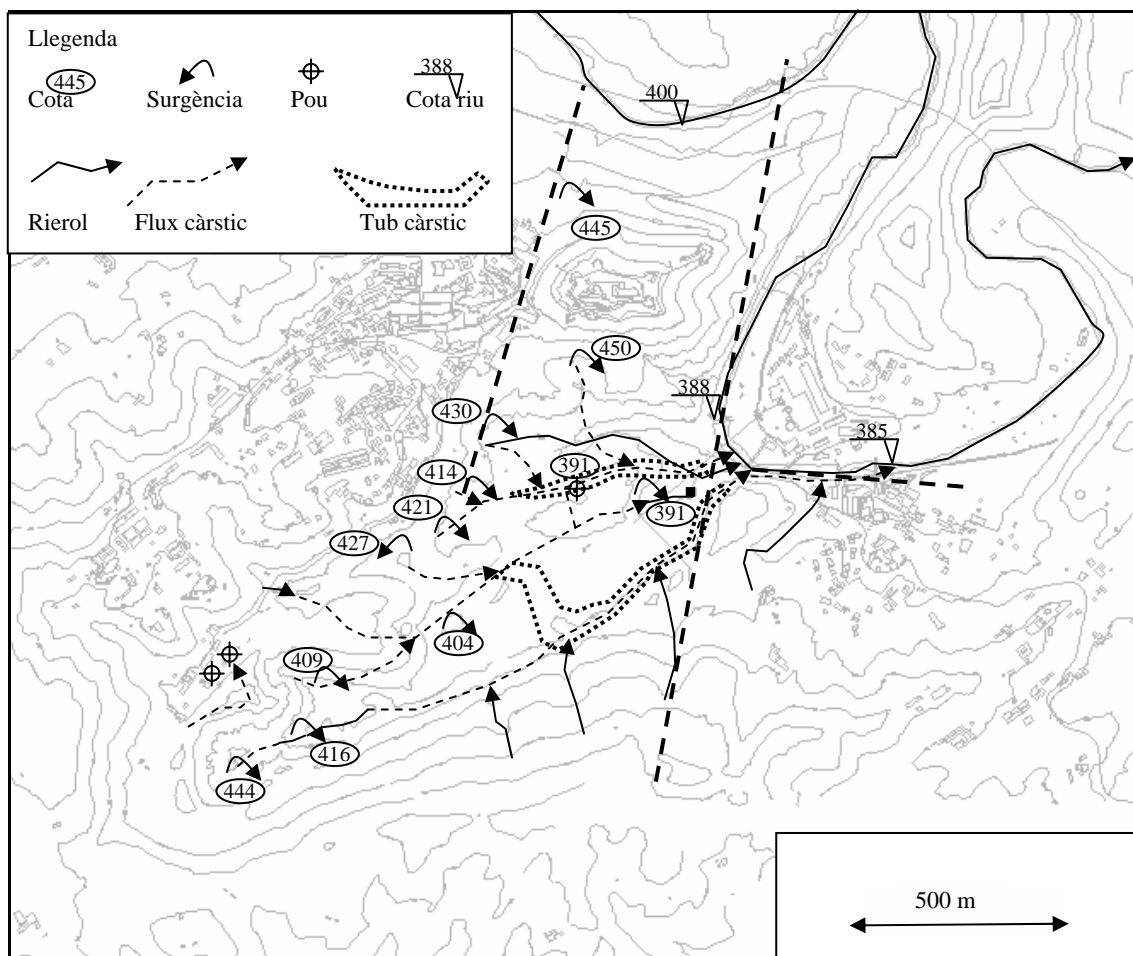


Figura núm. 123. Circulació de l'aigua superficial i freàtica abans del 2000

El sistema càrstic a la subvall sud és menys conegut per falta de controls piezomètrics, ja que tan sols hi ha registres directes de la surgència de Sant Onofre i la del riu. En l'altre extrem de la vall hi ha la cota de la sortida del forat Micó i la seva infiltració pocs metres després.

Es pensa que realment va existir un sol sistema càrstic a la mateixa subvall, com ja s'ha dit. Dóna suport a aquesta observació la comparació en una mateixa figura (vegeu la figura núm. 124) de les informacions de nivells expressats en la figura anterior núm. 122, que mostra les dades de la secció SO-NE de les galeries de la mina Las Salinas en el moment en què va entrar aigua de la zona dels Fangassos el 1998. Així, es pot observar que a la subvall nord existia fins al 1998 un nivell per als conductes càrstics a la cota 391,6 i a la subvall sud la surgència de Sant Onofre era a la cota 391,5.

Segons una comunicació verbal del tècnic de la mina Las Salinas, hi havia vegades que els miners fins i tot desviaven manualment més o menys cabal cap a la surgència de Sant Onofre o cap al pou de Sant Onofre. De fet, només hi ha una diferència de 10 cm.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

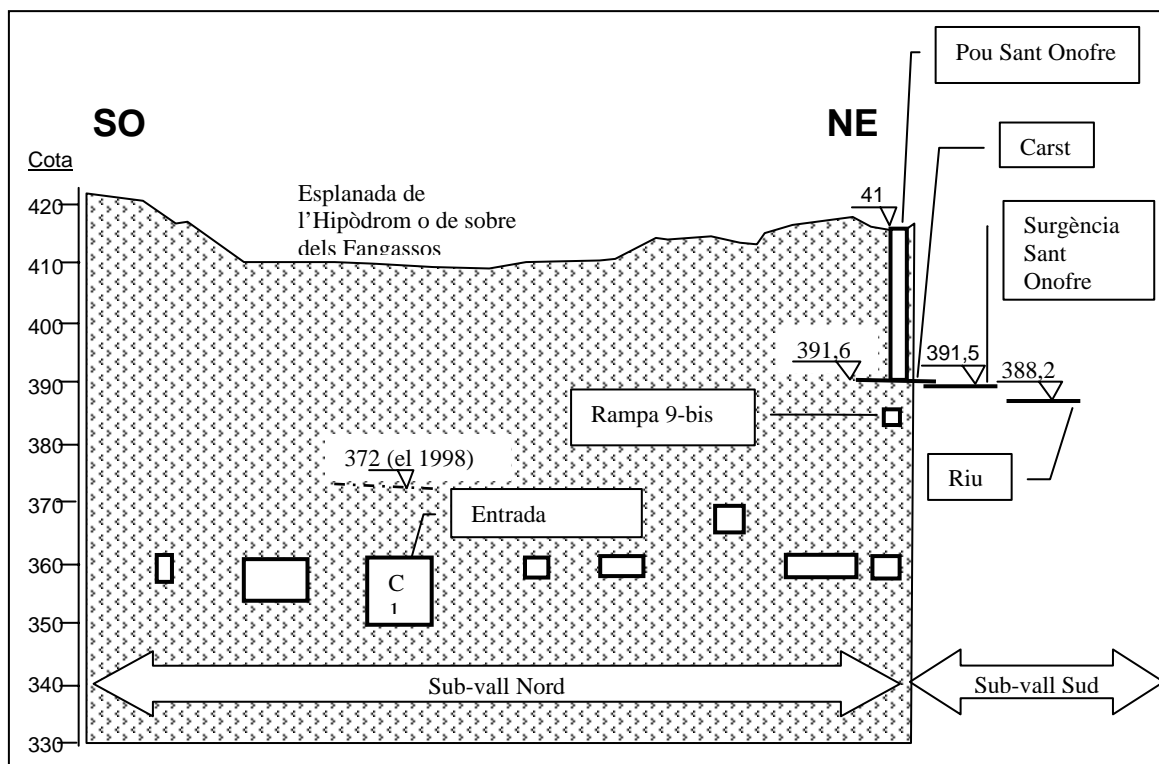


Figura núm. 124. Conjunció de la informació de la subvall nord amb la de la subvall sud. La surgència de Sant Onofre, a la subvall sud, és gairebé a la mateixa cota que el conducte càrstic de la subvall nord

En aquesta subvall sud, encara que no es coneixen fonts en el vessant sud de la vall Salada, hi ha una sèrie de petits torrents actius en períodes humits que desapareixen en els materials salins. Només hi ha registres històrics de l'existència d'aigua a la mina del Duc i el seu negament el 1934. Des del punt de vista geològic pot estar justificada l'existència d'un col·lector càrstic, excavat en la carnal·lita. Això podria explicar el drenatge parcial de l'aigua del torrent Salat, des de la infiltració de sota el forat Micó, passant paral·lel al vessant sud i desguassant al riu Cardener per sota de la zona de la cinta transportadora. Aquest conducte càrstic, d'acord amb observacions hidrogeoquímiques realitzades (Geoconsulting 1984b), podria haver estat connectat hidràulicament amb la surgència de Sant Onofre.

De manera indirecta (vegeu més endavant l'apartat 3.6.4. "Hidrogeoquímica"), també s'interpreta l'existència d'un conducte càrstic paral·lel al torrent Salat, de manera similar al comportament càrstic que hi ha a la subvall nord.

La piezometria posterior a l'any 1999 està condicionada per l'entrada d'aigua a la mina Las Salinas i pel consegüent descens de la base piezomètrica des del riu Cardener fins a l'interior de la mina, a través de la rampa de Sant Onofre. Encara que no té gaire sentit intentar dibuixar una superfície piezomètrica, per tot el que s'ha esmentat anteriorment, es pot intentar fer una xarxa de fluxos per conductes càrstics (vegeu la figura núm. 125).

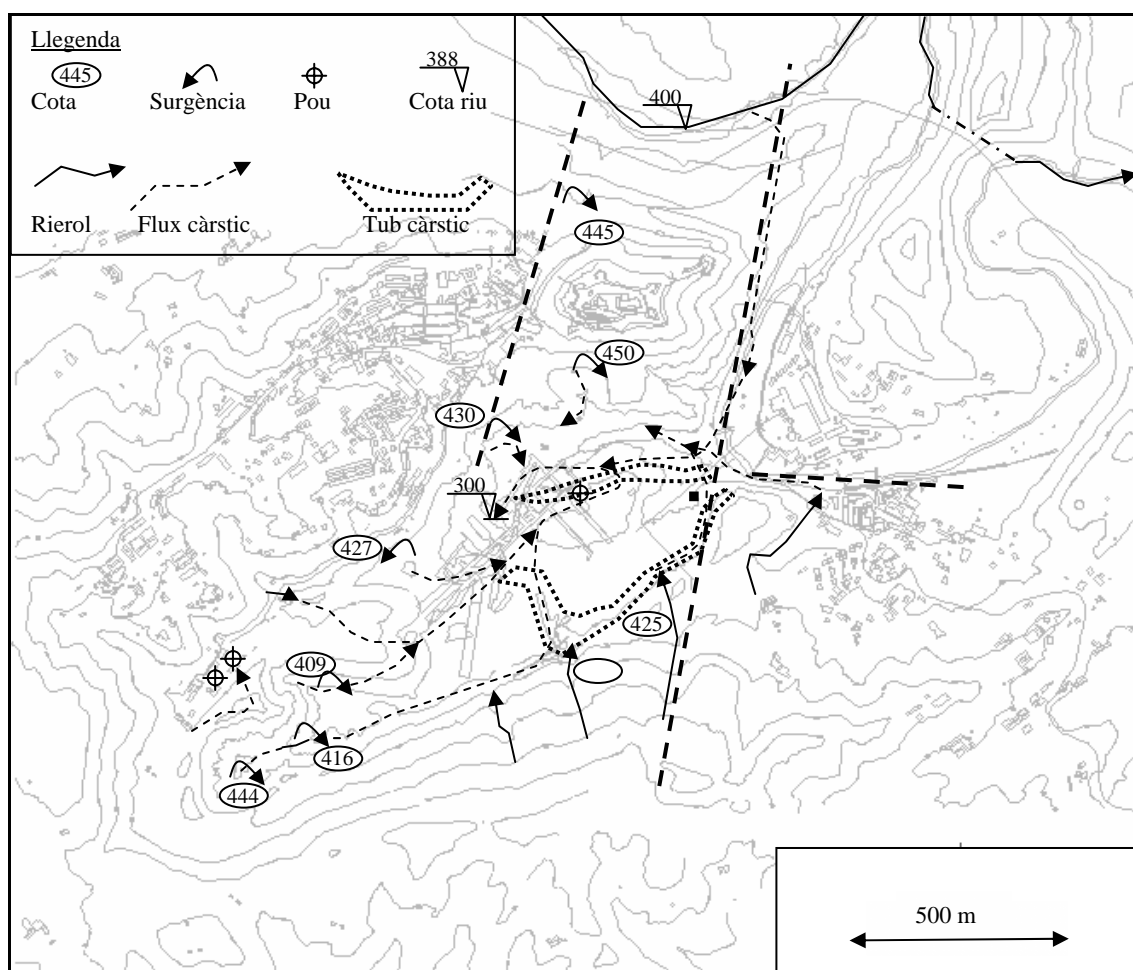


Figura núm. 125. Circulació de l'aigua superficial i freàtica després de l'entrada massiva d'aigua del riu el 1999 i després que el fons de la mina (cota 300) hagi esdevingut nivell base

Paràmetres

Els paràmetres hidràulics dels materials de la vall Salada es podrien haver obtingut mitjançant assajos de bombeig que s'haguessin realitzat en el seu moment, però aquest fet no ha estat possible a causa de la fragilitat de la vall davant qualsevol infiltració o contacte d'aigua superficial amb la sal. Encara que durant el 1997 (UPC 1997) es van realitzar diferents sondejos d'investigació, aquests pretenien interceptar els conductes càrstics i els nivells detrítics continentals, i es va obtenir una transmissivitat d' $1,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. A continuació es fa una aproximació de valors d'alguns paràmetres.

Els materials que dominen la vall, pel que fa als paràmetres hidràulics, es poden resumir en tres tipus: els gresos perimetrals, les argiles en el fons de les valls i la sal mitjançant els conductes càrstics.

Els estrats de gresos que afloren a la vall ho fan de forma perimetral. Els seus paràmetres són els mateixos que els que es troben a escala regional o similars, però pel fet de disposar d'altres observacions s'ha tornat a calcular la transmissivitat per un mètode diferent (UPC 1997). Així, pel pou Teresa s'hi escolaven de l'ordre de $18.000 - 25.000 \text{ m}^3/\text{any}$ (Arrieta 1997 com. pers.). Suposant que el flux és en règim permanent i aproximadament radial i que el descens del nivell piezomètric a l'entorn del pou és comparable amb la fondària de la capa de gresos a 80 m, aleshores:

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

$$T = \frac{Q}{2\pi \times s} \times \ln \frac{R}{r}$$

on T és la transmissivitat, Q és el cabal d'aigua, s és el descens piezomètric, r el radi del pou i R la distància radial al pou a partir de la qual el descens és negligible. Així,

$$T = \frac{20000 \frac{m^3}{a} \times \frac{a}{365d}}{2\pi \times 60m} \times \ln \frac{250m}{2,5m} = 0,66 \frac{m^2}{d} \approx 8 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

valor relativament coherent per a una capa tan gruixuda de gresos, fracturada i a la qual històricament s'han atribuït tants problemes d'aigua. De fet, suposem que la petita magnitud del flux és causada per la baixa permeabilitat del material que envolta els gresos, de manera que aquest càlcul hauria infravalorat la transmissivitat, la qual és directament proporcional al cabal. Si aquest no ha estat ben estimat, l'error es transmet directament a T .

La cobertura argilosa té una variació d'espessor i textura en sentit vertical i al llarg de la vall. Així mateix, el flux en aquests materials detrítics és un problema no lineal (el valor del paràmetre K , permeabilitat, depèn del valor de la variable h , nivell piezomètric o potencial hidràulic). Quan les basses d'entollament són planes, es pot avaluar qualitativament el flux linealitzant convenientment el problema: l'assimilem a una columna de conductivitat hidràulica constant, amb gradient unitari (nivell constant a la superfície lliure i drenant en el carst en condicions d'argila saturada). El gradient augmentarà si el carst és sec (succió a la base) i disminuirà quan aquest estigui saturat amb nivell per sobre del contacte d'argiles (condició d'aquífer confinat), però això és poc rellevant davant els valors de conductivitat hidràulica dels materials argilosos ($10^{-9} \times 10^{-11}$ m/s). Aleshores,

$$Q = k \cdot \nabla h \cdot S.$$

Si $K = 10^{-10}$ m/s, per a una bassa de 10×10 m², el cabal diari infiltrat serà de l'entorn de $Q = 10^{-10}$ m³/s/m² \times 100 m² = 10^{-8} m³/s \cong 0,8 l/d.

Els conductes càrstics es comporten com canonades buides i sense cap fregament intern. Encara que la seva secció difícilment és circular, pot tenir diferents formes, des de la simple làmina de secció gairebé rectangular horitzontal, fins a la rectangular vertical, passant per l'evolució en forma de T.

3.6.4. Hidrogeoquímica

En aquest apartat es descriuen una sèrie d'observacions relacionades amb els paràmetres químics de l'aigua que provenen de l'inventari de punts d'aigua subterrània i superficial. Posteriorment s'estudien aquelles relacions que permeten obtenir dades que puguin aportar coneixement del comportament hidrogeològic. Moltes de les dades i observacions històriques considerades provenen d'estudis realitzats amb motiu de la construcció del col·lector de salmorres (Geoconsulting 1984a, 1984b i 1985) i de l'estudi de viabilitat d'un dipòsit subterrani controlat de residus especials a l'antiga mina de sal de Cardona (UPC 1997). Dissortadament, molts dels punts on s'han recollit les mostres en campanyes anteriors al 2000 han desaparegut per efecte del descens del nivell freàtic a cota 300, així com pel desviament del riu Cardener.

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

Resultats obtinguts

A continuació s'expressen els resultats dels ions majoritaris en les mostres d'aigua obtingudes dels punts d'aigua inventariats a la vall Salada (vegeu la taula núm. 33).

N.	(mg/l)	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	(HCO ₃)	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
18	Minilla	8,6	75,0	83,6	194.539,0	6.498,0	835,0	280,0	115.095,0	6.013,0
19	Forat Micó	9,6	69,0	78,6	211.909,0	4.362,0	1.138,0	485,0	99.022,0	33.994,0
29	Bòfia Gran	10,3	76,0	86,3	202.480,0	4.600,0	1.152,0	660,0	113.540,0	10.223,0
25	Surgèn. S. Onofre	22,0	209,0	231,0	161.287,0	11.176,0	713,0	868,0	92.084,0	13.245,0
30	Pou S. Onofre	9,3	189,6	198,9	140.938,0	5.209,0	1.471,0	351,0	81.756,0	6.578,0
32	Claveg. C. Arquers	11,8	140,0	151,8	237,0	647,0	366,0	66,0	80,0	9,2
8	Font Fangassos	8,2	179,0	187,2	232,0	184,0	171,0	62,4	6,4	7,1
62	Font Pinsota	8,6	222,0	230,6	63,0	369,0	181,0	71,2	34,2	6,4
61	Surgèn. JF	9,6	106,0	115,6	702,0	268,0	192,5	72,6	241,0	36,1
21	Desguàs nord	14,4	105,0	119,4	287,0	420,0	280,5	42,5	95,4	18,6
23	Terrera Nova	20,0	151,0	171,0	195.531,0	13.836,0	25,0	1.190,0	114.518,0	11.633,0
Riu	Aforador 1	9,6	95,0	106,6	64,4	86,0	80,5	15,1	21,0	1,7
Riu	Aforador 2	13,8	117,0	130,8	265,0	76,0	73,5	11,0	136,5	7,4
Riu	Sud Coromina	26,0	96,0	122,0	1.130,0	105,0	79,6	21,2	538,0	78,7
	Valors normals	<50	50-350	<400	10-250	2-150	10-250	1-100	1-150	0,1-100
	Aigua del mar	<1	100	100	18.000	3.000	400	1.200	10.000	400
	Salmorres				220.000	200.000	50.000	<10000	110.000	100.000

Taula núm. 33. Resultats de les anàlisis dels punts d'aigua de la vall Salada i del seu entorn al riu Cardener. Valors expressats en mg/l (els clorurs a l'aigua de mar varien entre 18.000 i 21.000 ppm. Las salmorres naturals, a saturació, poden arribar a tenir 220.000 ppm)

Aquests valors de les anàlisis han estat revisats i transformats en mil·liequivalents/litre. Posteriorment, s'ha calculat l'error que hi ha entre els anions i els cations (vegeu la taula núm. 30 en l'apartat 3.5.2).

La força iònica d'algunes mostres és tan elevada que altera algunes determinacions. Amb tot i això, els balanços iònics assolits de les mostres estudiades han estat sovint per sota del 10 %. Aquests valors són lleugerament elevats (Custodio i Llamas 1982, p. 223), si bé admissibles quan es tracta de salmorres.

El mapa de la figura núm. 105 mostra la distribució de les diferents mostres a la vall Salada. Per poder representar gràficament i distribuir a l'espai totes les composicions, s'ha triat un sistema gràfic basat en les barres logarítmiques de concentracions en meq/l. També s'hi han representat aigües del riu i aigües residuals per veure'n els canvis i comparar-les.

La tipologia d'aigua més abundant és la clorurada sòdica (vegeu la taula núm. 34), que apareix a totes aquelles mostres que han estat en contacte directe amb el massís salí. Gairebé totes sobrepassen els 5.000 meq/l de clorur i de sodi, excepte una de les fonts (font de la Pinsota, núm. 62 de l'inventari, a sota del Castell), que és aproximadament un ordre de magnitud inferior; segurament és més diluïda.

Taula núm. 34 . Resum dels tipus d'aigua de la vall Salada i del seu entorn immediat

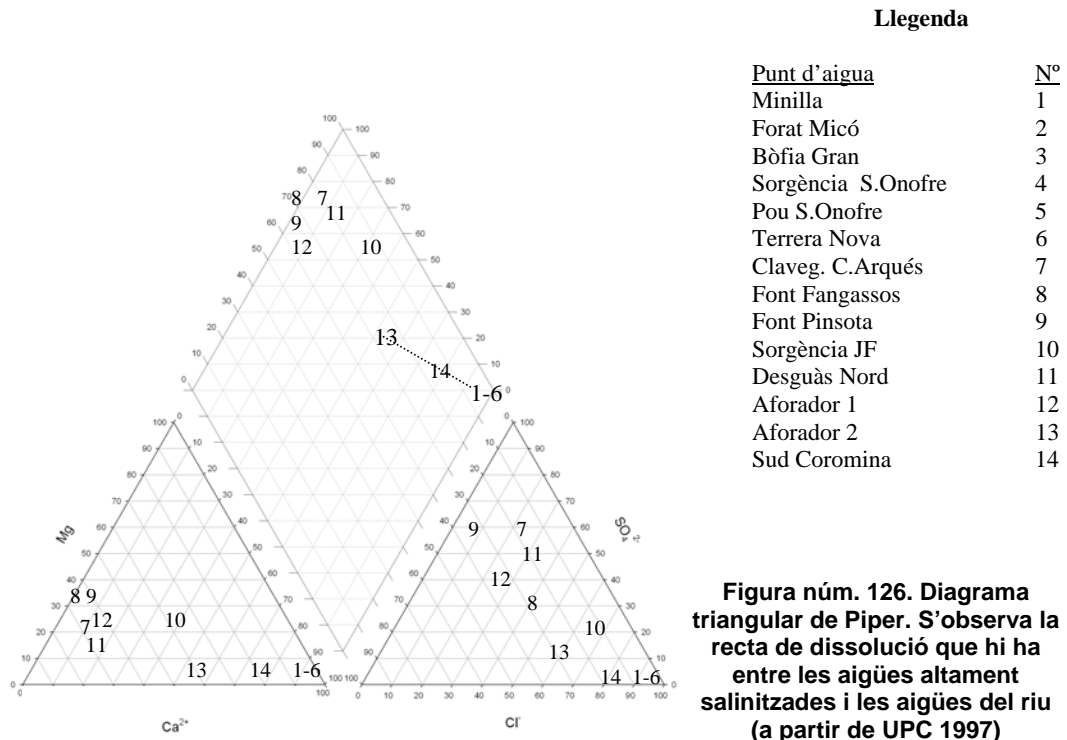
Núm. invent	Toponímia	Observacions hidrogeoquímiques
18	Minilla	Aigua salada saturada en clorur sòdic
19	Forat Micó	Aigua salada saturada en clorur sòdic
29	Bòfia Gran	Aigua salada saturada en clorur sòdic
25	Surgència de Sant Onofre	Aigua salada. Gairebé saturada. Presenta una composició lleugerament més rica en Mg ⁺⁺ i SO ₄ ⁼ i més pobre en Ca ⁺⁺ que la resta d'aigües salades
30	Pou Sant Onofre	Aigua salada. Gairebé saturada

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

32	Colònia Arquers	Correspon a aigua residual i, tot i no ser salada, té una composició diferent
8	Els Fangassos	Aigua dolça. Típic de la subvall nord
62	Font de la Pinsota	Aigua dolça. Típic de la subvall nord
61	Font JF	Raja a mig vessant, és notablement diferent, és clorurada sòdica-càlcica, molt pobra en potassi, i fins i tot és més diluïda que l'aigua del riu al canal de l'Aranyó
21	Desguàs nord	Aigua dolça. Prové majoritàriament de la font del Fangassos o de cal Conill
23	Drenatge de la terrera Nova	Presenta una composició més rica en Mg^{++} i SO_4^- i més pobra en Ca^{++} que la resta d'aigües salades
Riu	Aforador 1	Aigua dolça
Riu	Aforador 2	L'aigua del riu s'enriqueix en Cl^- i en Na^+ seguint el curs de l'aigua. Hi ha menys sulfat càlcic que abans i que després
Riu	Sud Coromina	Cada vegada hi ha més clorur sòdic. Augmenta el sulfat càlcic possiblement per aportació subterrània

Diagrames i relacions iòniques

La figura núm. 126 mostra la distribució de composicions en un diagrama triangular de Piper. Totes les mostres salades s'agrupen als vèrtexs de Cl^- i del Na^+ . Efectivament, es corrobora que les aigües de la vall nord són totes d'un mateix grup i que les mostres d'aigües del riu s'arregleren en una línia de barreja quasi perfecta. No té gaire sentit tractar d'ubicar la mostra de la colònia Arquers pel seu caràcter residual.



Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

La distribució de composicions d'aigua és prou coherent amb el que s'ha explicat als apartats de condicions de contorn i piezometria. Les aigües més representatives de recàrrega a l'aquífer salí són les de la Muntanya de Sal. No es disposa de cap anàlisi de mostres del vessant sud, només del drenatge de la terrera Nova, com a material representatiu d'una part d'aquesta banda del sistema.

Els diagrames de relacions iòniques mostren les relacions entre les concentracions dels diferents ions en dissolució. Se n'han escollit tres com a més il·lustratius: Cl^-/Na^+ , SO_4^{2-}/Ca^{2+} , Cl^-/K^+ . Els diagrames inclouen les mostres de la vall Salada (quadres) i els d'escala regional (cercles) per tal de facilitar-ne la comparació. Tots els diagrames de relacions presenten unes característiques comunes: les aigües salades s'agrupen de manera ben diferenciada de les dolces, i la mostra presa al riu sota la cinta transportadora apareix entre ambdós grups.

Les figures núm. 127 mostren que les relacions clorur-sodi i clorur-potassi es mantenen constants a tota l'àrea estudiada. La font dels Fangassos és l'excepció per a la clorur-sodi, i el toll d'aigua residual per a la clorur-potassi. Aquesta distribució és coherent amb un model de barreja aigua dolça - aigua salada, on la procedència de la sal es concentra a les salmorres de la vall Salada. La relació sulfat-calci (figura núm. 128) també és bastant constant per a totes les mostres, excepte la de la terrera Nova, que presenta un valor de calci molt baix. Per a aigües salades, el sulfat està en excés respecte al calci (figura núm. 129), cosa que indica que es deu equilibrar amb un altre catió. En canvi, les mostres d'aigua dolça presenten un excés de calci que es justifica amb el contingut de bicarbonat (menys de 4 meq/l). El ventall de concentracions és més reduït que per al clorur, sodi i potassi.

Les relacions clorur-magnesi i clorur-magnesi i potassi no mostren cap alineació clara, sense una solució de continuïtat senzilla com els casos anteriors. Finalment, la relació clorur-sulfat també és força variable.

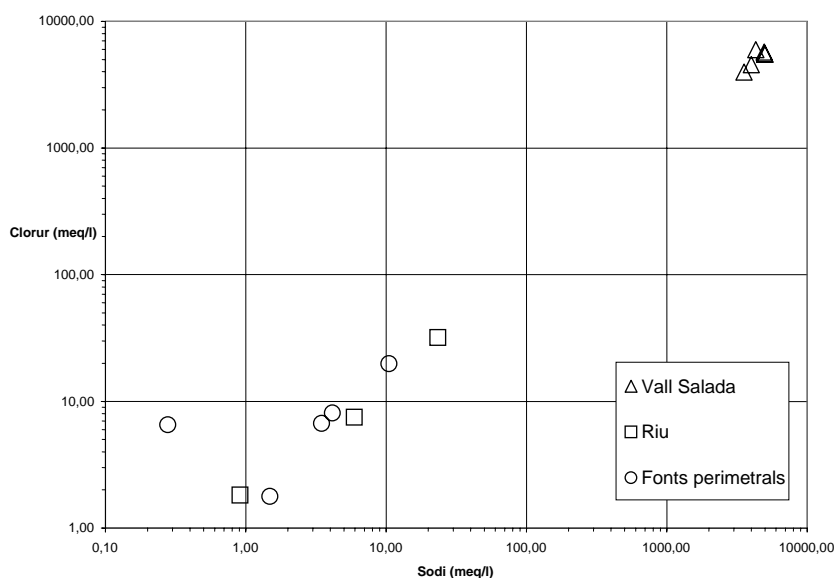


Figura núm. 127. Diagrama de concentració de sodi i de clorur. El valor anòmal correspon a la font dels Fangassos i podria ser indicador de barreja amb aigües de les xarxes de Cardona (potable i de sanejament)

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

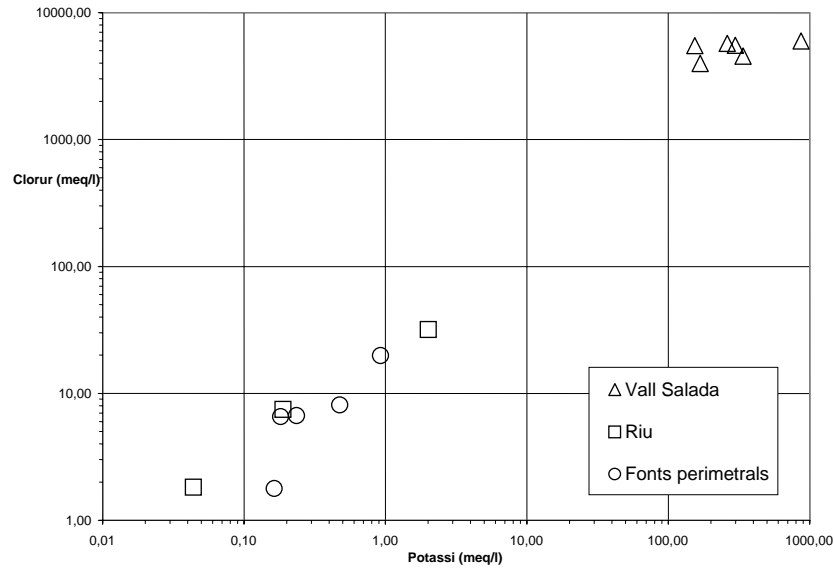


Figura núm. 128. Diagrama de concentració de potassi i de clorur

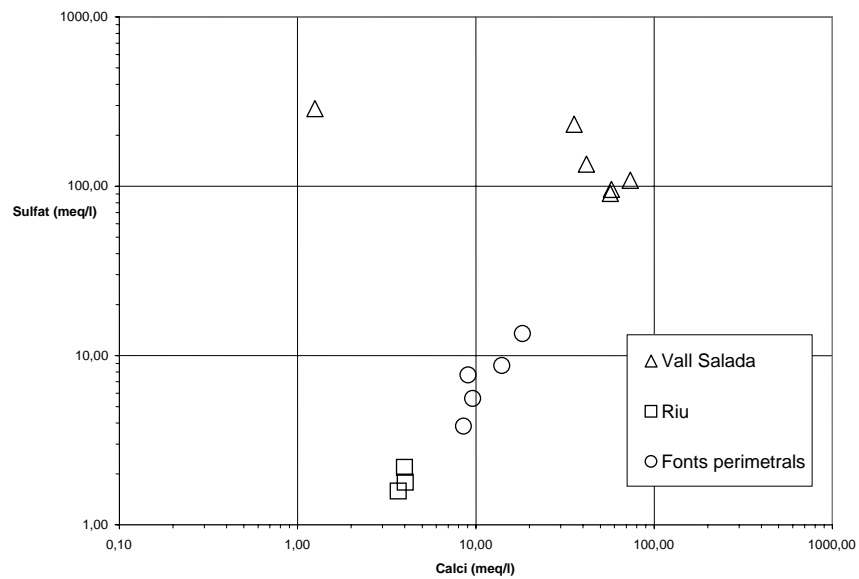


Figura núm. 129. Diagrama de concentració de calci i de sulfat. El valor anòmal correspon al drenatge de la terrera Nova

Balanços de clorurs

Basant-se en la suposada inalterabilitat d'alguns ions (Custodio i Llamas 1982, p. 1036), com és el clorur, si es té una aigua amb un contingut C que es barreja amb altres dues de continguts C_1 i C_2 ($C_1 < C < C_2$) i existeix una fracció x de l'aigua 1 i $1-x$ de l'aigua 2, s'ha de complir:

$$C = C_1 x + C_2 (1 - x)$$

Això permet determinar una de les variables un cop conegudes les altres.

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

D'aquesta manera, l'aigua del pou de Sant Onofre (PSO), que és el núm. 30 de l'inventari, era molt similar a la de l'àrea de recàrrega salada (representada per la surgència de la bòfia Gran, núm. 29 de l'inventari). Per això sembla coherent pensar que totes les aigües que drenen aquest pou eren de procedència d'aquesta àrea, lleugerament diluïda amb aigua de la subvall nord (els clorurs de la Colònia Arquers, núm. 32 de l'inventari, i els de la font dels Fangassos o can Conill, núm. 8 de l'inventari, són pràcticament els mateixos).

Per això, per a una barreja pura, entre les dues aigües, es té:

$$\begin{aligned}Cl_{\text{vall nord}} &= 6 \text{ meq/l} \\Cl_{\text{capçalera}} &= 5700 \text{ meq/l} \\Cl_{\text{PSO}} &= 3970 \text{ meq/l}\end{aligned}$$

$$3970 = 5700 x + 6 (1 - x)$$

és a dir,

$$x = 0,696 \sim 70 \%$$

És a dir que aproximadament un 30 % de l'aigua del pou de Sant Onofre és de l'àrea de la subvall nord. En realitat, l'aigua de la subvall nord que capta el pou de Sant Onofre arriba a una concentració més alta de Cl^- perquè durant el trànsit és esperable que dissolgui la sal. Això implica que aquest factor del 30 %, i per tant la contribució de la subvall nord, és més alt.

Si s'aplica el mateix mètode amb els sulfats, tenim que a la surgència de Sant Onofre hi conflueix gran part de l'aigua subterrània de la vall sud. No es descarta que hi pugui haver aportacions també de la vall nord. L'enriquiment en SO_4^{2-} que presenta, respecte de les aigües salades en capçalera, es podria explicar amb aportacions de la terrera Nova, que tenen un contingut de 288 meq/l SO_4^{2-} . Si l'aigua de la surgència de Sant Onofre fos una barreja simple d'aigua de la terrera seria:

$$\begin{aligned}[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{terrera Nova}} &= 288 \text{ meq/l} \\[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{capçalera}} &= 110 - 130 \text{ meq/l} \\[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{surgència Sant Onofre}} &= 223 \text{ meq/l}\end{aligned}$$

$$223 = 288 x + (110 \text{ a } 130) (1-x)$$

$$x = 0,7 \text{ a } 0,65 \%$$

cosa que implica que cap a un 65 % de les aigües de la surgència de Sant Onofre poden venir de la terrera Nova i probablement també dels llots residuals.

Aquesta possibilitat extreta a partir dels sulfats pot tenir més d'una explicació (UPC 1997), ja que la perforació de sondejos, alguns dels quals amb recuperació de testimoni, ha permès altres hipòtesis geoquímiques. Efectivament, dins de les argiles del Vil-lafranquià que recobreixen la sal, hi ha nombroses crostes carbonatades i sulfatades. Especialment, en el contacte amb la sal es troben cristalls del sulfat càlcic (guix) idiomòrfics i que engloben fragments d'anhidrita i argila. Això es pot interpretar pel fet que aquests nivells de guixos han crescut en una falsa llacuna amb poca làmina d'aigua que permet l'evaporació intersticial. La presència d'anhidrita implica que l'aigua intersticial era salina, ja que si no s'hauria dissolt. L'anhidrita deu provenir

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

de la dissolució de la sal, que en conté com a inclusions. Probablement la llacuna fangosa estava situada sobre la sal, tal com la trobem ara.

Quantificació de les sortides de sal de la vall

Una vegada establerta la manera precisa com el flux subterrani d'aigua de la vall Salada va a parar al riu Cardener, se'n quantifica la magnitud. Aquesta tasca ha estat feta altres vegades per Fernández-Rubio et al. (1979), Geoconsulting (1984) i UPC (1997). L'objectiu d'aquests treballs és determinar l'aportació de sal al riu Cardener. La metodologia és senzilla: es tracta d'establir un balanç de massa entre dos punts, tenint en compte tots els termes, de manera que la suma dels productes de cabals i les concentracions de les entrades sigui igual a la de les sortides. D'aquesta manera s'han elaborat les figures núm. 130 a la 134.

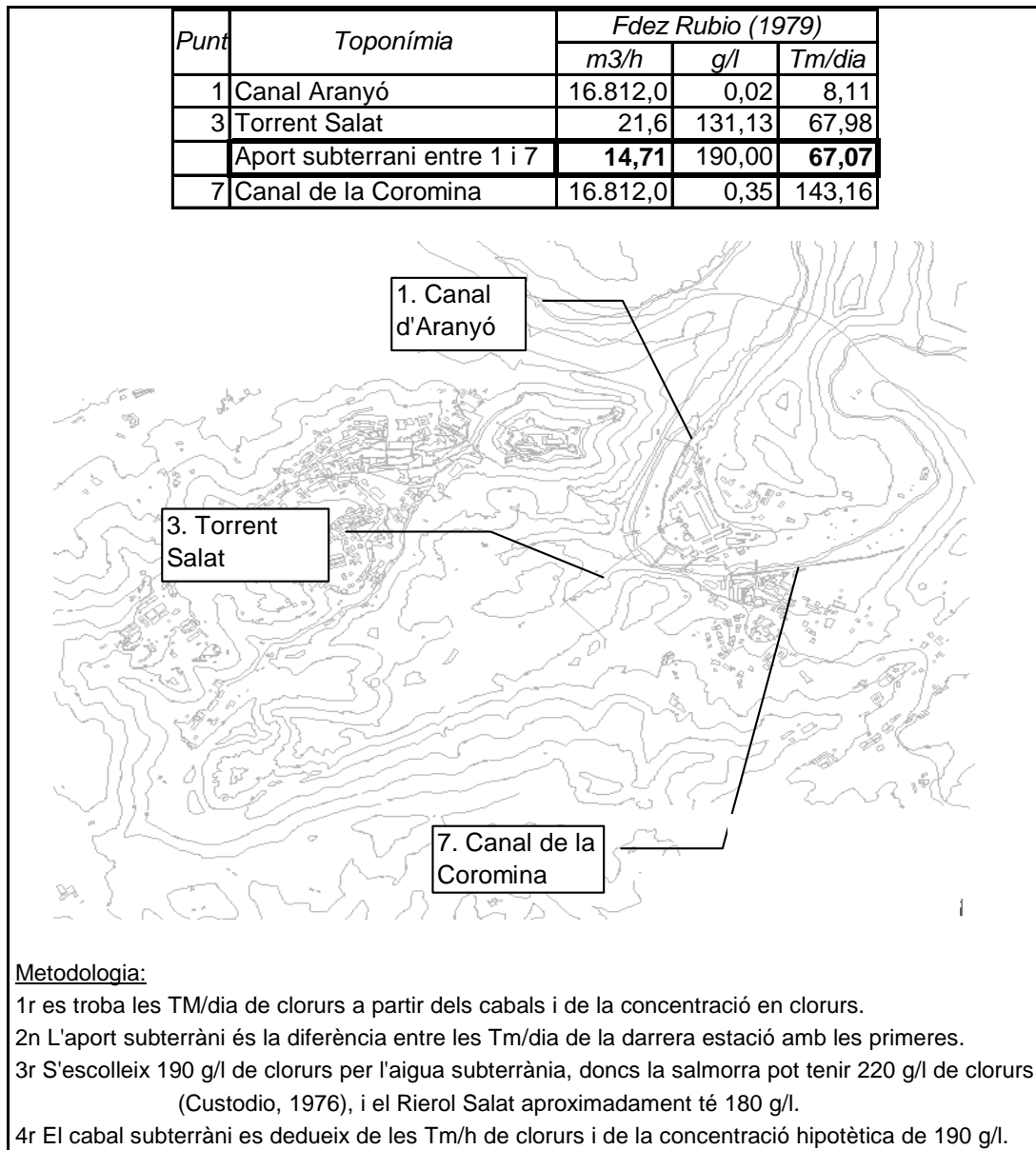


Figura núm. 130. Primera quantificació de les sortides de sal de la vall Salada al riu Cardener, segons dades de Fernández-Rubio et al. (1979)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

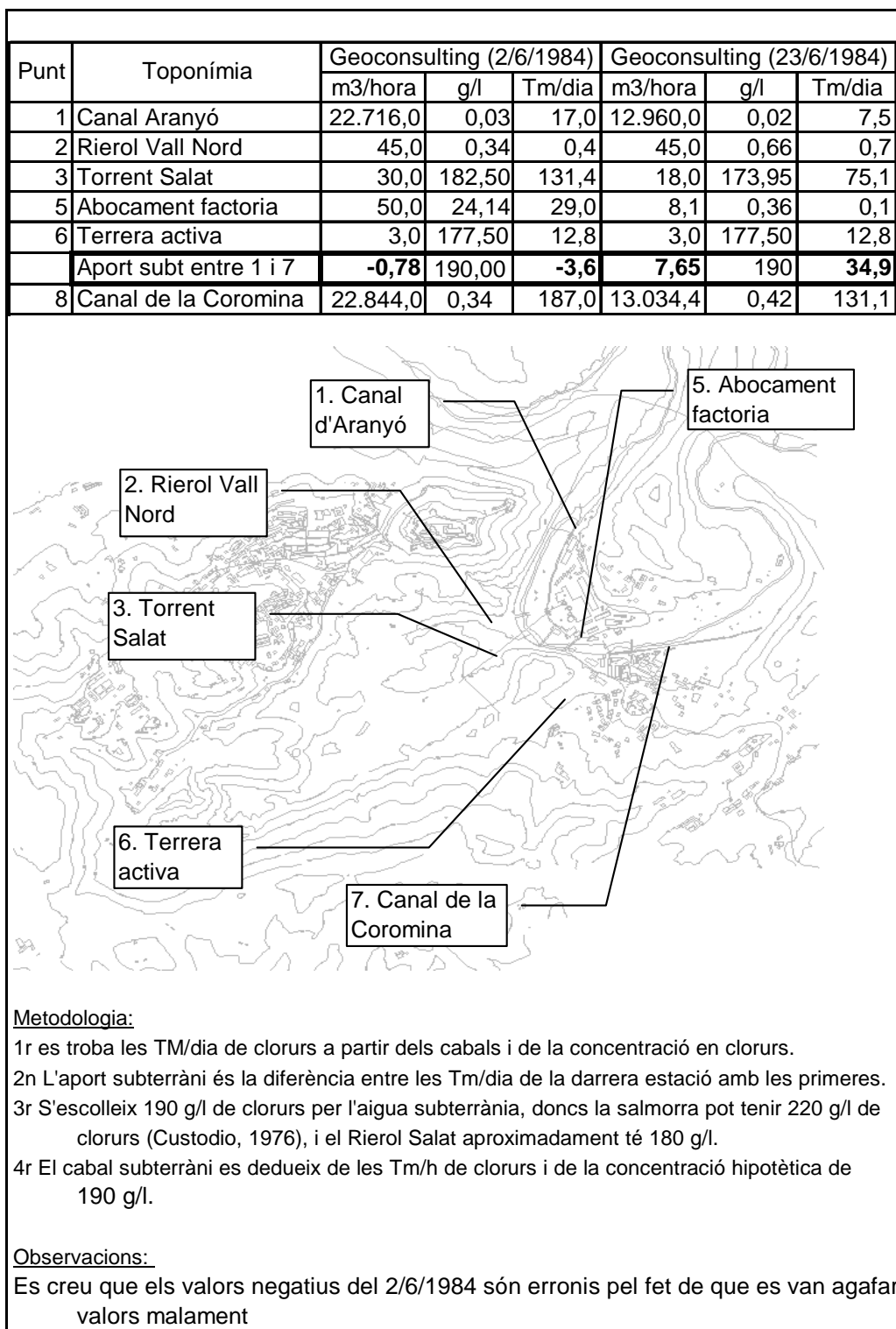


Figura núm. 131. Quantificació de les sortides de sal de la vall Salada al riu Cardener, segons dades de Geoconsulting (2 i 23 de juny de 1984)

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

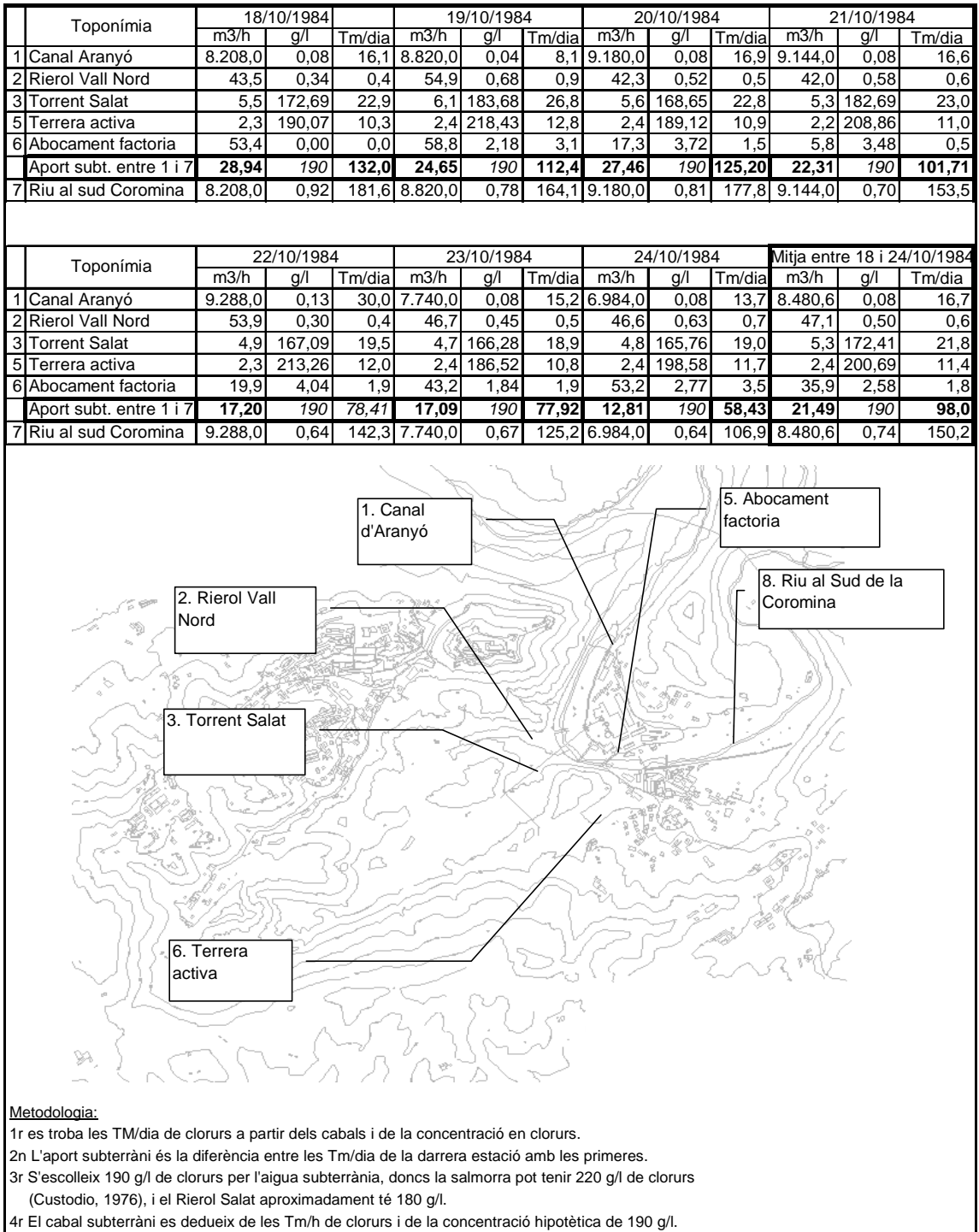


Figura núm. 132. Quantificació de les sortides de sal de la vall Salada al riu Cardener, segons dades de Geoconsulting (del 18 al 24 d'octubre de 1984)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

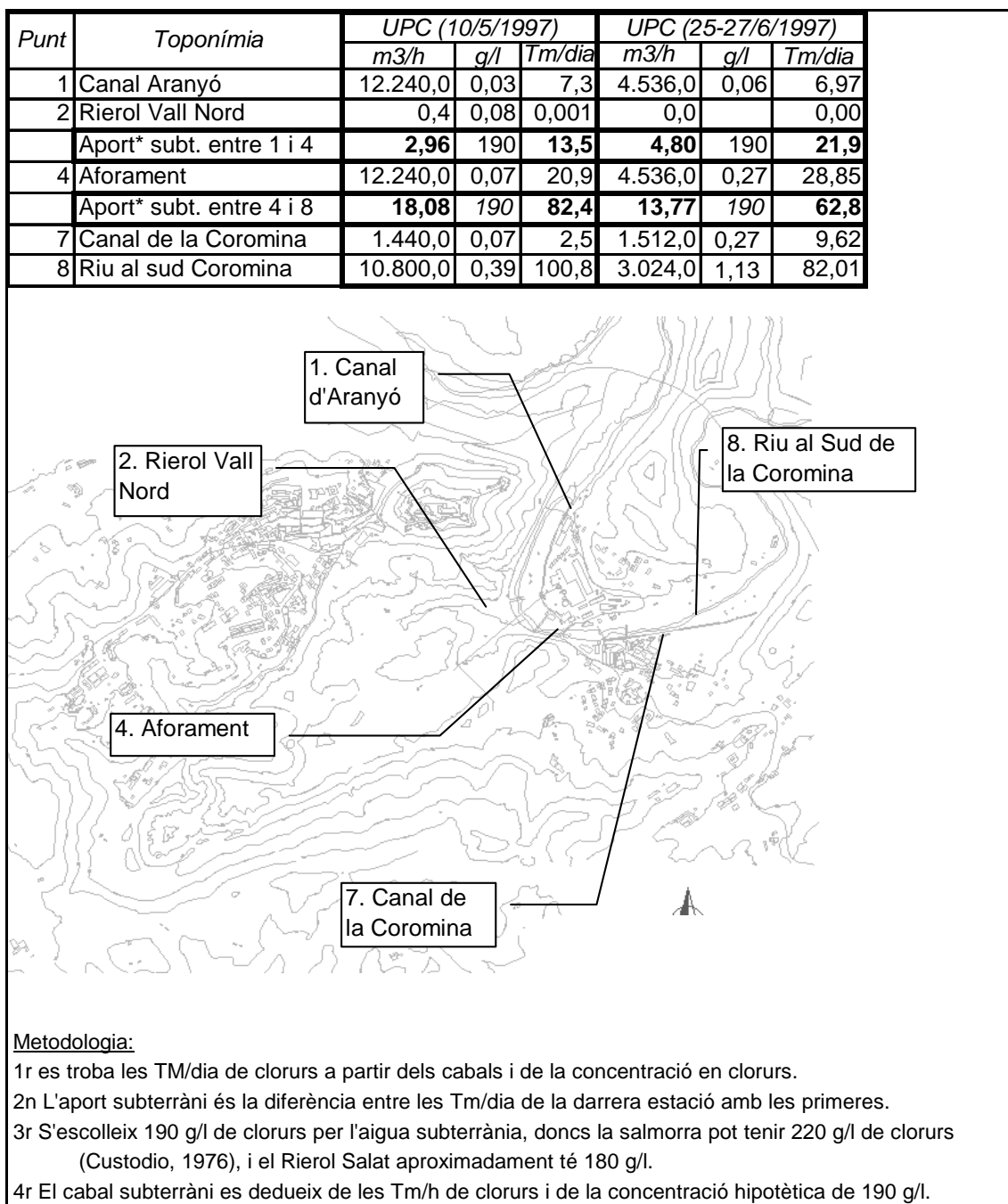


Figura núm. 133. Quantificació de les sortides de sal de la vall Salada al riu Cardener, segons dades d'UPC 1997

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

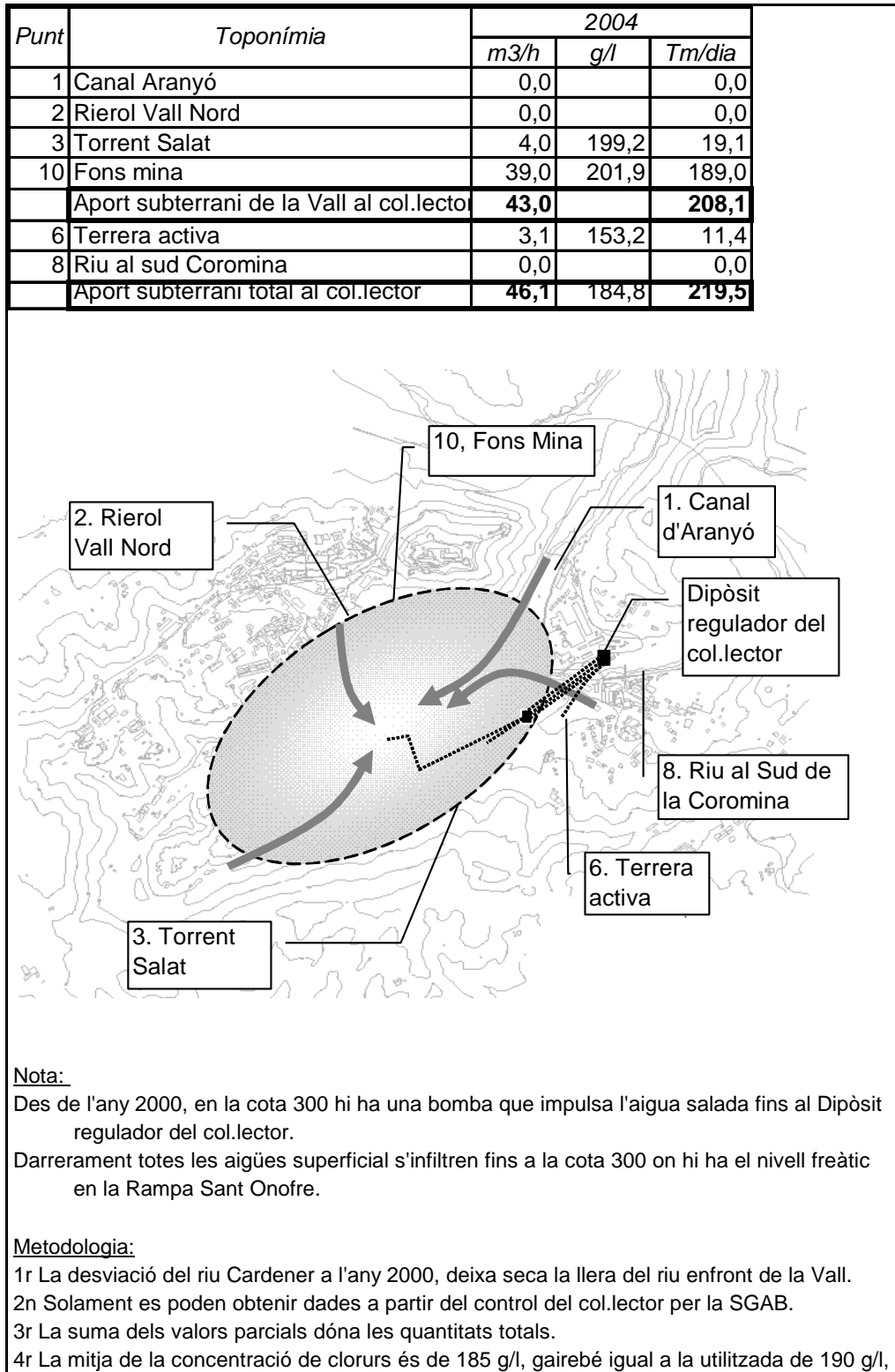


Figura núm. 134. Quantificació de les sortides de sal de la vall Salada al col·lector de salmorres (2004)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

L'anterior i darrera quantificació de les sortides de sal de la vall Salada al col·lector de salmorres corresponent a l'any 2004 s'ha pogut realitzar amb les dades de cabals i contingut de clorurs del col·lector que drena la vall (vegeu la figura núm. 135, realitzada a partir de les dades de l'SGAB). S'ha de considerar que, a partir de l'any 2000, és a dir, posterior a l'entrada d'aigua del riu a la mina amb el conseqüent descens del nivell base, tota l'aigua de la vall va a parar al fons de la mina i per tant cap al col·lector.

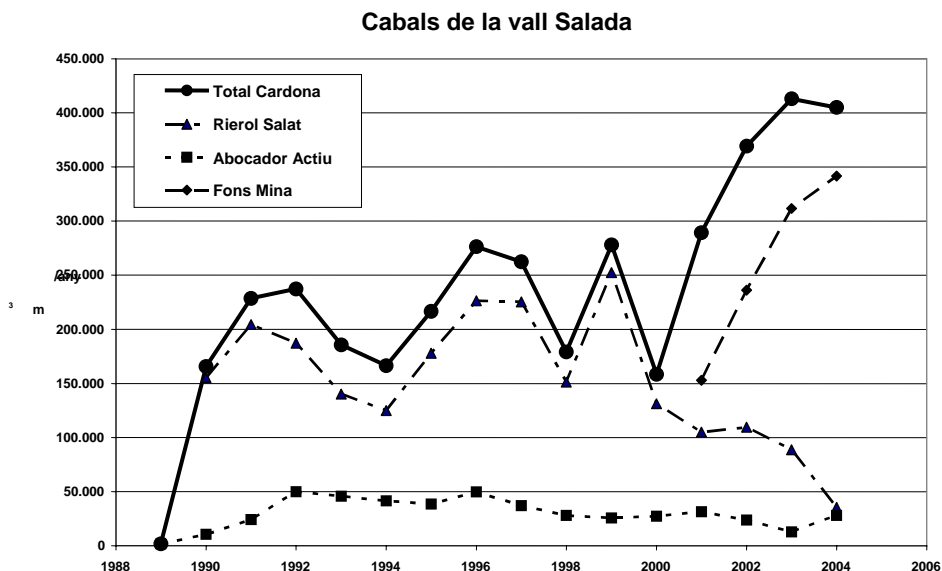


Figura núm. 135. Cabals de les diferents aportacions de la vall Salada al col·lector de salmorres a Cardona. S'observa l'eixugament del rierol Salat, però és important ressaltar l'augment progressiu del cabal del fons de mina

En resum, es pot considerar que la quantitat d'aigua salada que ha sortit de la vall Salada en aquests darrers anys (vegeu la taula núm. 35), per una banda cap al riu Cardener, d'acord amb els càlculs anteriors, i per altra banda cap al col·lector de salmorres, segons dades de l'SGAB, ha augmentat progressivament (vegeu la figura núm. 136).

Fons de les dades	Any	Al riu Cardener		Al col·lector salmorres		Total	
		m ³ /h	tm/dia	m ³ /h	tm/dia	m ³ /h	tm/dia
Fernández Rubio	1979	14,71	67,1			14,71	67,1
Geoconsulting	1984 a	7,65	34,9			7,65	34,9
Geoconsulting	1984 b	21,49	98,0			21,49	98,0
SGAB	1990	14,62	66,7	36,53	166,6	51,15	233,2
UPC + SGAB	1997 a	18,08	82,4	29,96	136,6	48,04	219,0
UPC + SGAB	1997 b	13,77	62,8	29,96	136,6	43,73	199,4
SGAB	2004			46,24	210,9	46,24	210,9
		Mitjana =		68,6			

Nota:

- El 1990 entra en ple funcionament el col·lector de salmorres
- Les aportacions al Cardener el 1990 s'han obtingut com a mitjana de les dades anteriors

Taula núm. 35. Resum de les dades de sortides de clorurs de la vall Salada

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

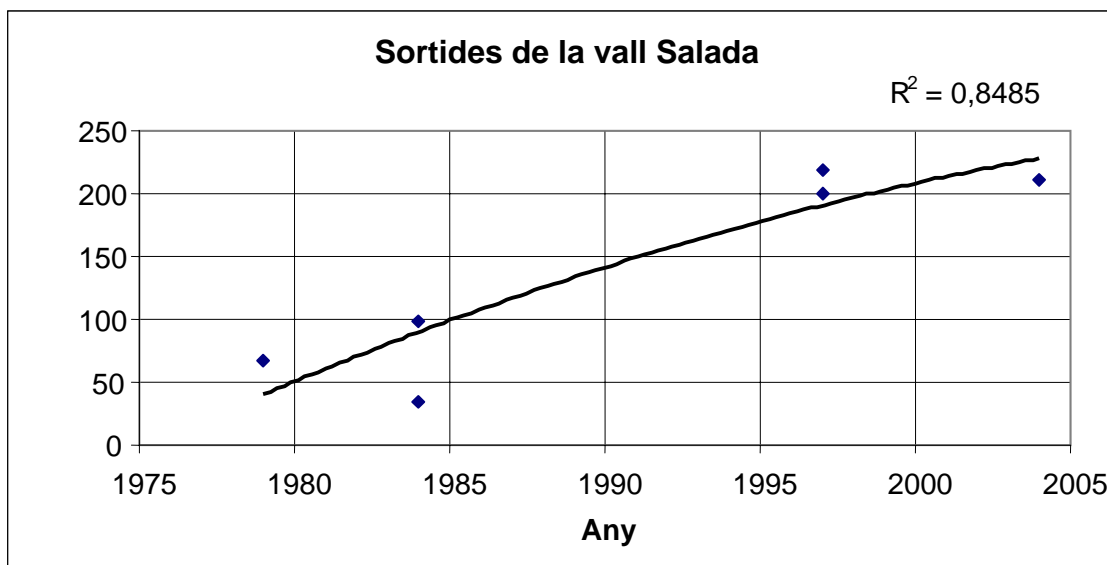


Figura núm. 136. Avaluació de les sortides de sal de la vall Salada d'acord amb els valors deduïts, en què s'observa un creixement logarítmic. (No s'ha considerat el valor corresponent al 1990, que és fruit de la mitjana d'anys passats)

Les conclusions d'aquest subapartat són que fins a l'any 2000 hi va haver una aportació mitjana de sal al riu Cardener d'unes 68,6 tm/dia i que hi ha una progressió continuada d'augment de clorurs. Aquestes dades les corroboren els controls de clorurs que s'han realitzat aigües avall de Cardona, a l'estació de Súria, encara que s'ha de tenir en compte que aquest punt de control rep clorurs de la riera d'Hortons i són dades puntuals (vegeu la figura núm. 137).

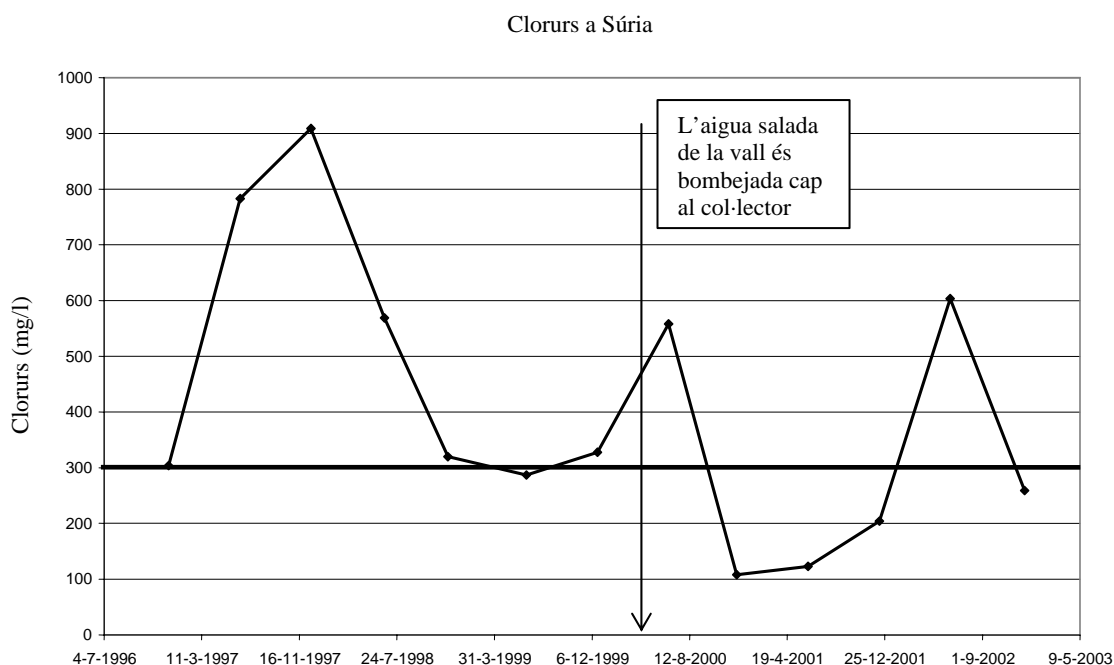


Figura núm. 137. Evolució dels clorurs al Cardener aigües avall de Cardona (estació de Súria). Encara que hi ha aportacions de sal per la riera d'Hortons, es pot observar que, sense considerar els pics, hi ha un descens per sota dels 300 g/l de clorurs a partir de l'any 2000. Aquesta data coincideix amb el descens del nivell base fins a l'interior de la mina, amb la consegüent impulsió i conducció de tota l'aigua salada pel col·lector de salmorra. (Gràfic a partir de dades del web del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

Tot això podria portar a considerar un nou sistema de recàrrega de la vall Salada, ja que l'augment progressiu del cabal del fons de mina pot estar relacionat amb una aportació extra de cabals laterals a la vall, a l'altura de la llera abandonada del Cardener. Aquestes aportacions poden provenir dels aquífers que formen els gresos fracturats laterals del diapir. Fins i tot el seu origen deu ser el mateix riu Cardener, l'aigua del qual, des de la zona de l'assut de la Plantada, passa per la falla de sota el castell fins a arribar al fons de la mina. Encara que aquesta falla ja hi era en temps pretèrits, a partir del 2000, quan el nivell base ha baixat al fons de la mina, hi ha hagut un desenvolupament progressiu del pas de l'aigua per la zona de la formació salina.

Aigua superficial i subterrània en l'aiguabarreig al Cardener

Pensem que és interessant considerar les dades obtingudes per Geoconsulting durant els dies següents que van anar des del 18 fins al 25 d'octubre de 1994, quan es van mesurar cabals del riu Cardener i salinitats del mateix riu, a fi de deduir possibles relacions entre l'aigua superficial i la subterrània.

Per deduir possibles relacions (Geoconsulting 1984b), en aquest cas es representen amb un diagrama (vegeu la figura núm. 138) els cabals del Cardener i els cabals subterranis deduïts anteriorment a partir de la salinitat (considerant una aportació de 190 g/l de sal) i corresponent als mateixos dies.

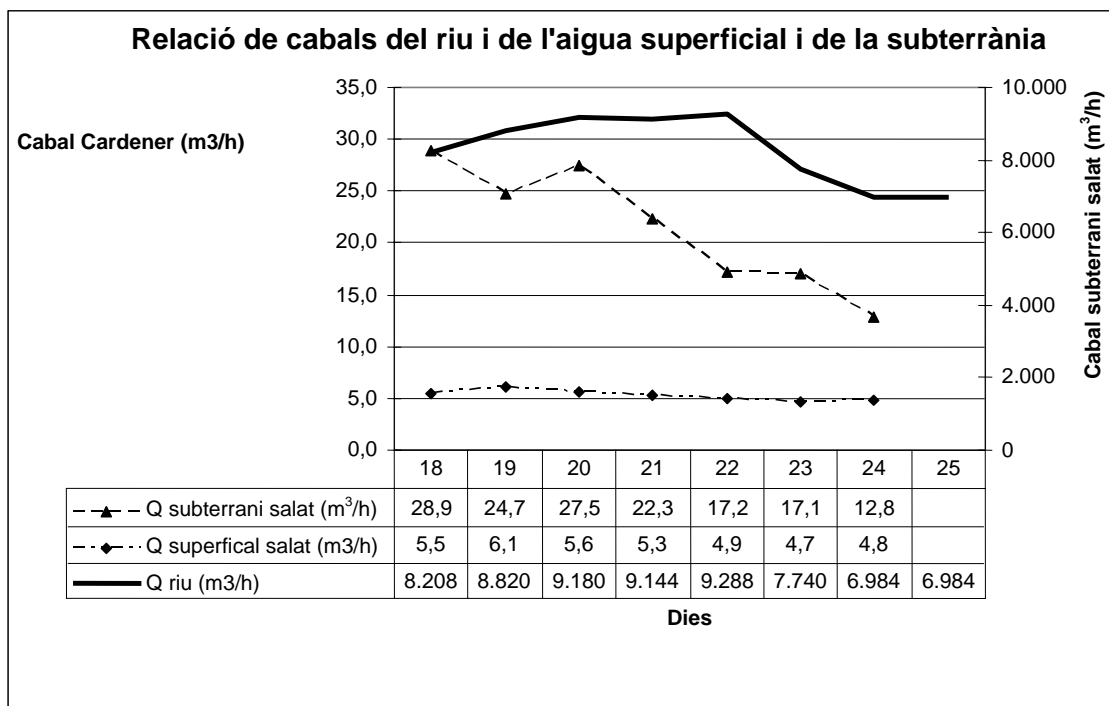


Figura núm. 138. Diagrama que relaciona el cabal del riu Cardener i el cabal salat subterrani deduït a partir dels balanços de clorurs, corresponents als mateixos dies. (A partir de les dades de Geoconsulting 1984b)

Per veure la possible relació entre els cabals superficials i els subterranis, es fa un desfament de dos dies i la relació resulta més evident (vegeu la figura núm. 139).

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

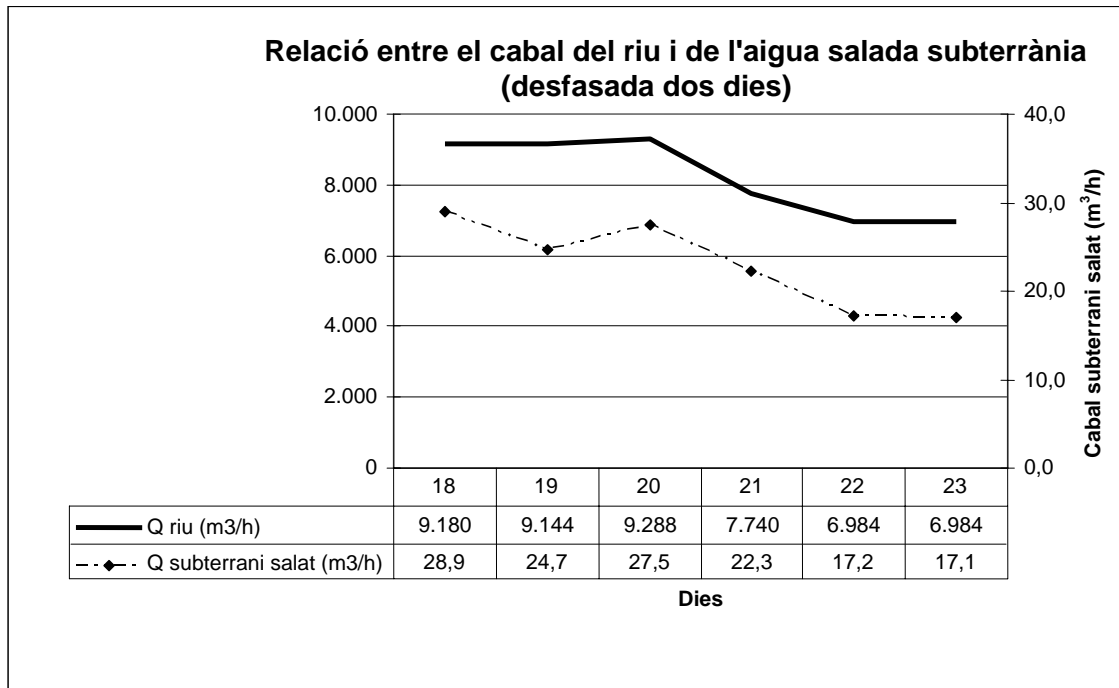


Figura núm. 139. Relació entre el cabal superficial del riu Cardener i el subterrani salat deduït que surt de la vall Salada. En aquest cas, s'ha desfasat la relació en dos dies d'endarreriment de l'aigua subterrània (a partir de les dades de Geoconsulting 1984b)

Aquest fet es pot apreciar encara més si es relacionen directament els cabals superficials i els subterranis desfasats dos dies (vegeu la figura núm. 140).

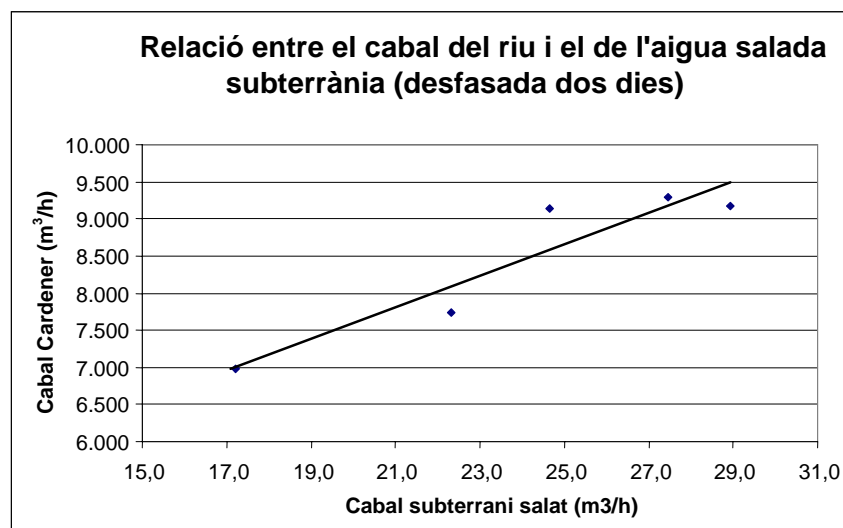


Figura núm. 140. Relació directa entre els cabals d'aigua superficial i els subterranis, amb un desfasament de dos dies (a partir de les dades de Geoconsulting 1984b)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

Paral·lelament a aquesta observació, es pot suposar que hi ha una relació inversa entre les aportacions d'aigua salada subterrànies que sortien de la vall cap al Cardener, deduïdes anteriorment i els cabals que portava el riu Cardener (vegeu la figura núm. 141).

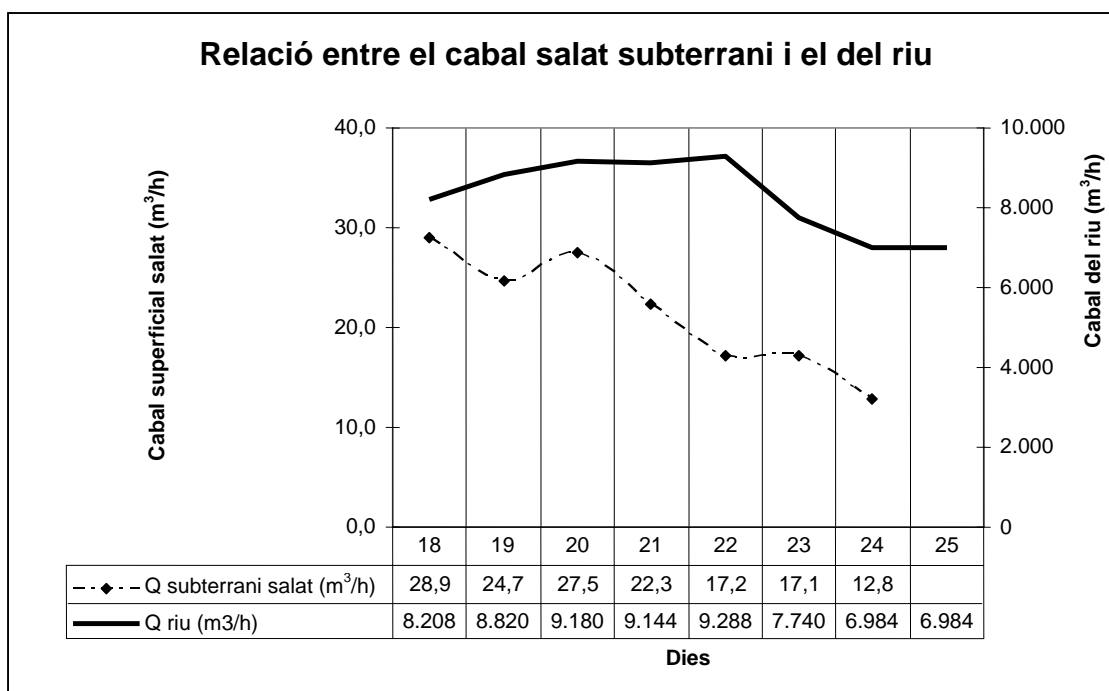


Figura núm. 141. Relació entre el cabal salat subterrani deduït i el cabal del riu Cardener. El cabal subterrani respon inversament al cabal o nivell del riu (a partir de les dades de Geoconsulting 1984b)

Una possible explicació d'aquesta relació, malgrat els pocs dies que va durar el control fet per Geoconsulting el 1984, podria ser que el nivell del riu actués a manera d'autoregulator en el sistema de desguàs de la vall cap al riu, en què hi havia una connexió de l'aigua salada superficial amb la subterrània.

De la mateixa manera que es va intuir i dibuixar el 1985, després de la primera entrada d'aigua a la rampa de Sant Onofre, que hi havia un conducte càrstic paral·lel i per sota del rierol de la subvall nord, i que posteriorment s'ha pogut demostrar espeleològicament l'any 2000 (Cardona 2002), ara també es podria associar un comportament similar a la subvall Sud. Aquest comportament deduït explicaria el sistema de desguàs subterrani i superficial de la salmorra relacionat amb el nivell del riu (vegeu la figura núm. 142). És a dir que, quan el cabal del riu, i per tant el seu nivell, augmentava o pujava, feia una pressió sobre la salmorra del conducte càrstic que repercutia disminuint el cabal subterrani i augmentant el cabal que circulava superficialment.

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

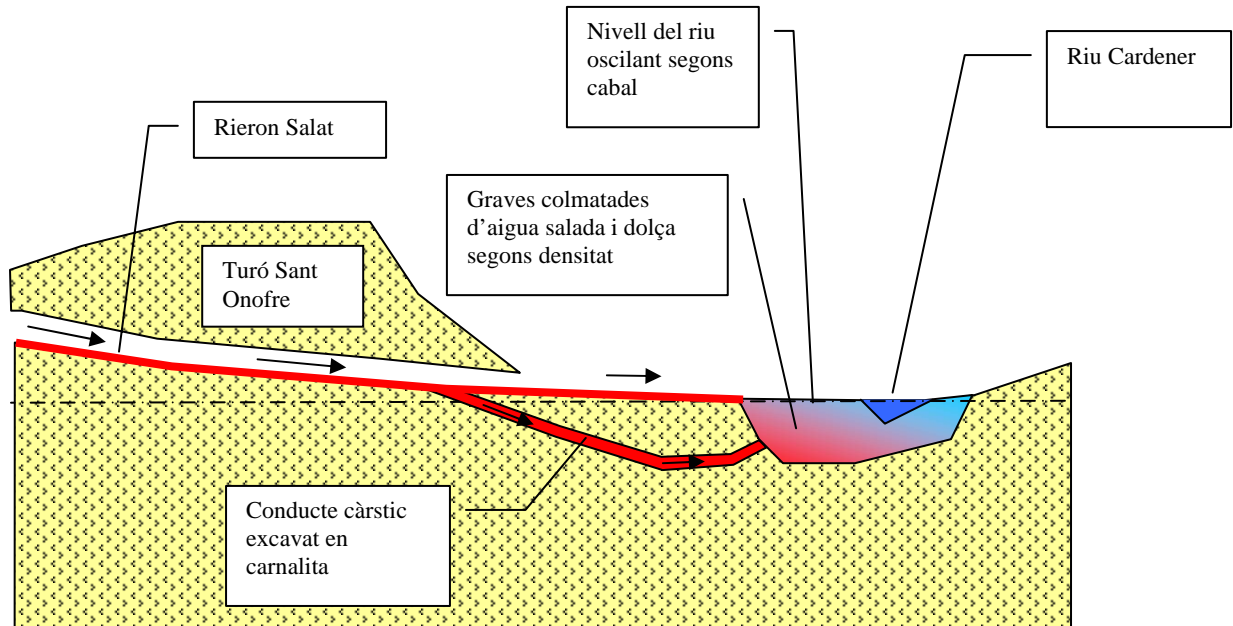


Figura núm. 142. Possible mecanisme natural d'autoregulació de l'afluència subterrània i superficial de la salmorra del rierol Salat en l'aiguabarreig amb el riu Cardener. Pujava el nivell del riu i automàticament hi havia una disminució en l'aportació subterrània, fet que repercutia en un augment de l'aportació superficial

Funcionament de l'aqüífer salí al riu Cardener

A fi de descriure com i on surt l'aigua de la vall Salada al riu Cardener, es van fer mesures de conductivitat elèctrica a l'aigua del riu (UPC 1997), a diferents fondàries i a diferents distàncies del marge (perfils), sense obtenir diferències en els valors atribuïbles a sortides concentrades. Els resultats es mostren a la figura núm. 143. La conductivitat elèctrica (CE) va ser molt variable segons el cabal que circulava pel riu (els punts de l'1 al 21 són mesures realitzades el 25/6/97, amb un cabal d'1,26 m³/s, i els punts *a*, *b* i *c* corresponen a les mesures realitzades el 10/5/97, amb un cabal de 3,46 m³/s).

Els resultats de la conductivitat elèctrica mostren que fins a l'entrada de les colònies (punts 1 a 7 del mapa) la conductivitat és extraordinàriament constant (0,48 mS/cm). Al punt 8, en un toll davant d'una fractura al talús de la carretera, la CE augmenta en un factor 3 i ja no tornarà a recuperar-se. A l'entorn del carst de la carretera (punts 11 a 13) es produeix un augment lleuger (0,7 - 1,0 mS/cm) que fa augmentar el contingut fins a aigües avall, just a la passarel·la de la fàbrica (punt 14). El punt 15 correspon a sortides difuses en el meandre i són aigües clarament salades (50 - 90 mS/cm). La salinitat augmenta progressivament fins a un valor mitjà d'1,5 mS/cm fins a aigües avall de l'assut de la Coromina, on l'aigua és marcadament més salina (~ 3 mS/cm). A partir del punt 20 (3-2 mS/cm), mesura presa uns metres aigües avall de la sortida de la depuradora, l'aigua del riu es diluïa.

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

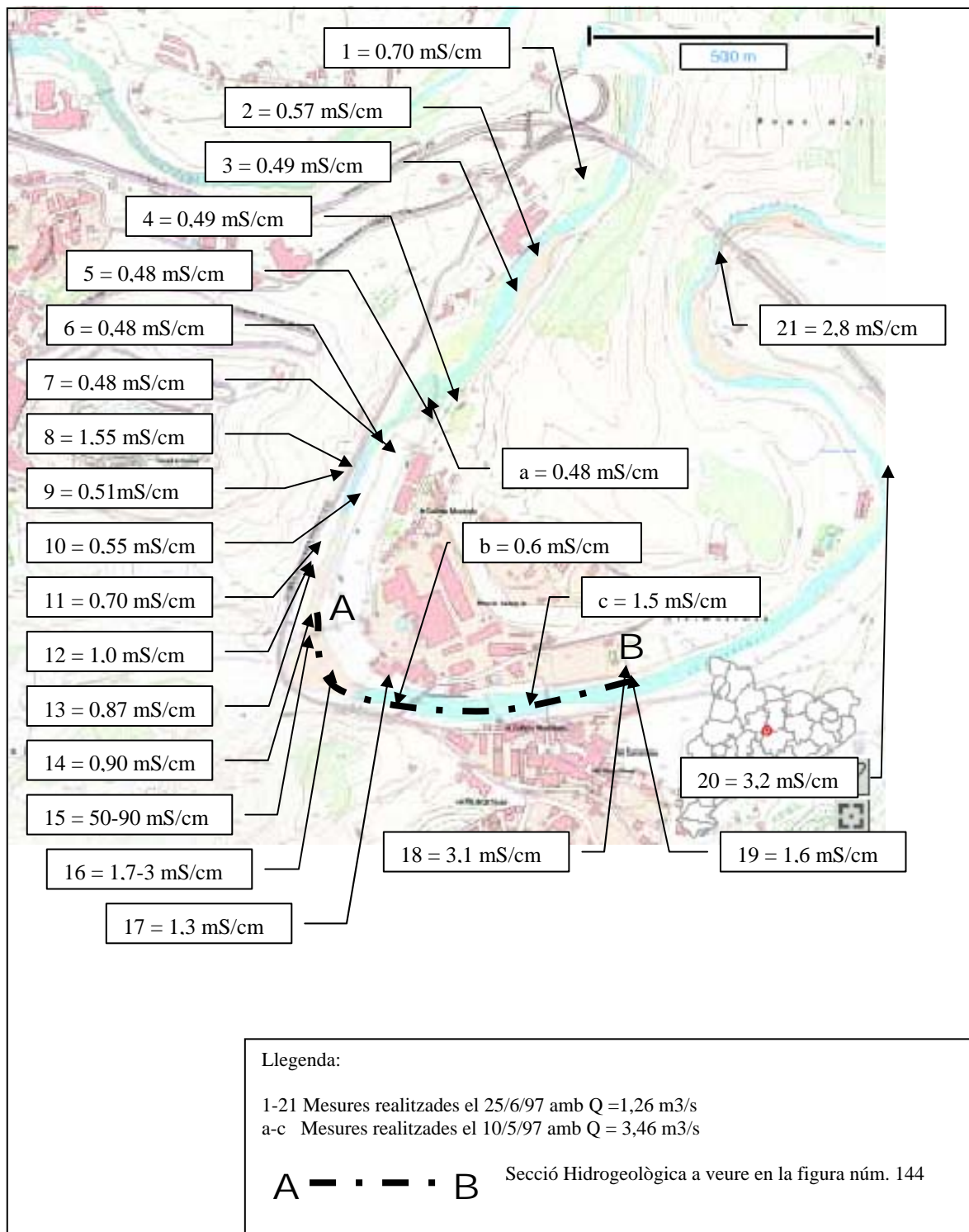


Figura núm. 143. Conductivitat elèctrica de les aigües del riu Cardener, abans i després de l'aiguabarreig de les aigües de la vall Salada (a partir de dades UPC 1997)

3.6. Avaluacions hidrogeològiques

Cal ressaltar que hi ha un augment de la conductivitat elèctrica de les aigües superficials més avall de l'aiguabarreig superficial. Aquest fet es podria explicar per diferents motius: per la densitat de la sal, per l'aportació extra de salmorres de la terrera Nova i per la permeabilitat dels gresos (potenciada per una falla paral·lela al riu). La permeabilitat dels gresos ha estat comprovada posteriorment en uns sondejos realitzats el 2004, que permetien bombejar un cabal de 2 l/s.

La formació d'una falca de salmorra sota l'aigua dolça és important també pel fet que protegia el massís salí. La salmorra fluïa i, a més, el medi és força heterogeni, per la qual cosa es fa difícil determinar la posició del contacte aigua dolça - salmorra. La que es mostra a la figura núm. 144 s'ha d'interpretar qualitativament. De totes maneres, els perfils de salinitat obtinguts als sondejos que es van perforar en aquesta zona confirmen el funcionament qualitatiu descrit aquí.

Les salmorres de l'al·luvial no sembla que estiguin totalment saturades en sal (halita). Tot i amb això, la seva capacitat per dissoldre sal és petita, per la qual cosa es pot concloure que la salmorra protegia el massís salí sota l'al·luvial del Cardener.

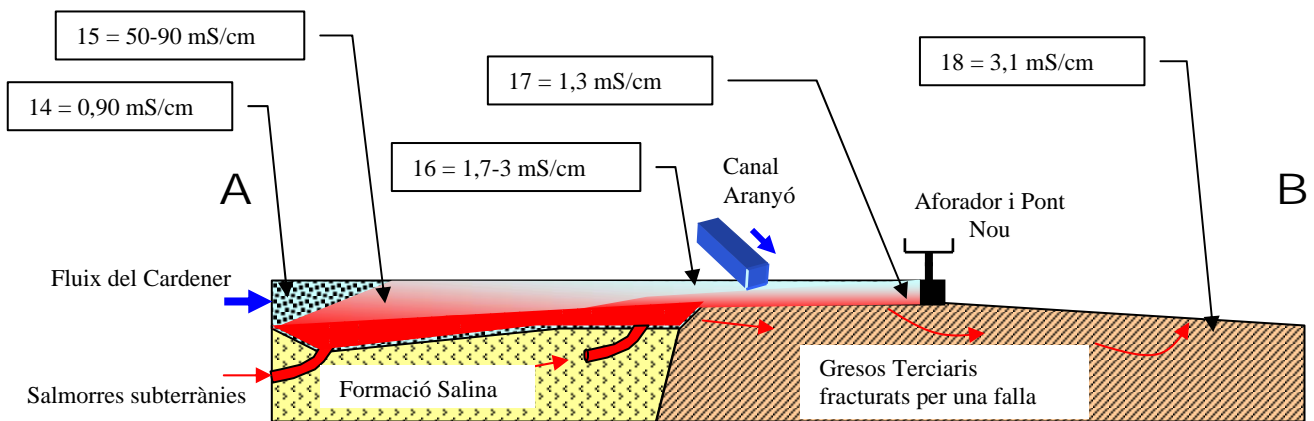


Figura núm. 144. Secció esquemàtica hidrogeològica A - B de la figura núm. 143, en què s'explica la conductivitat de les aigües del riu Cardener en l'aiguabarreig de les aigües subterrànies de la vall Salada (a partir de les dades d'UPC 1997)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS