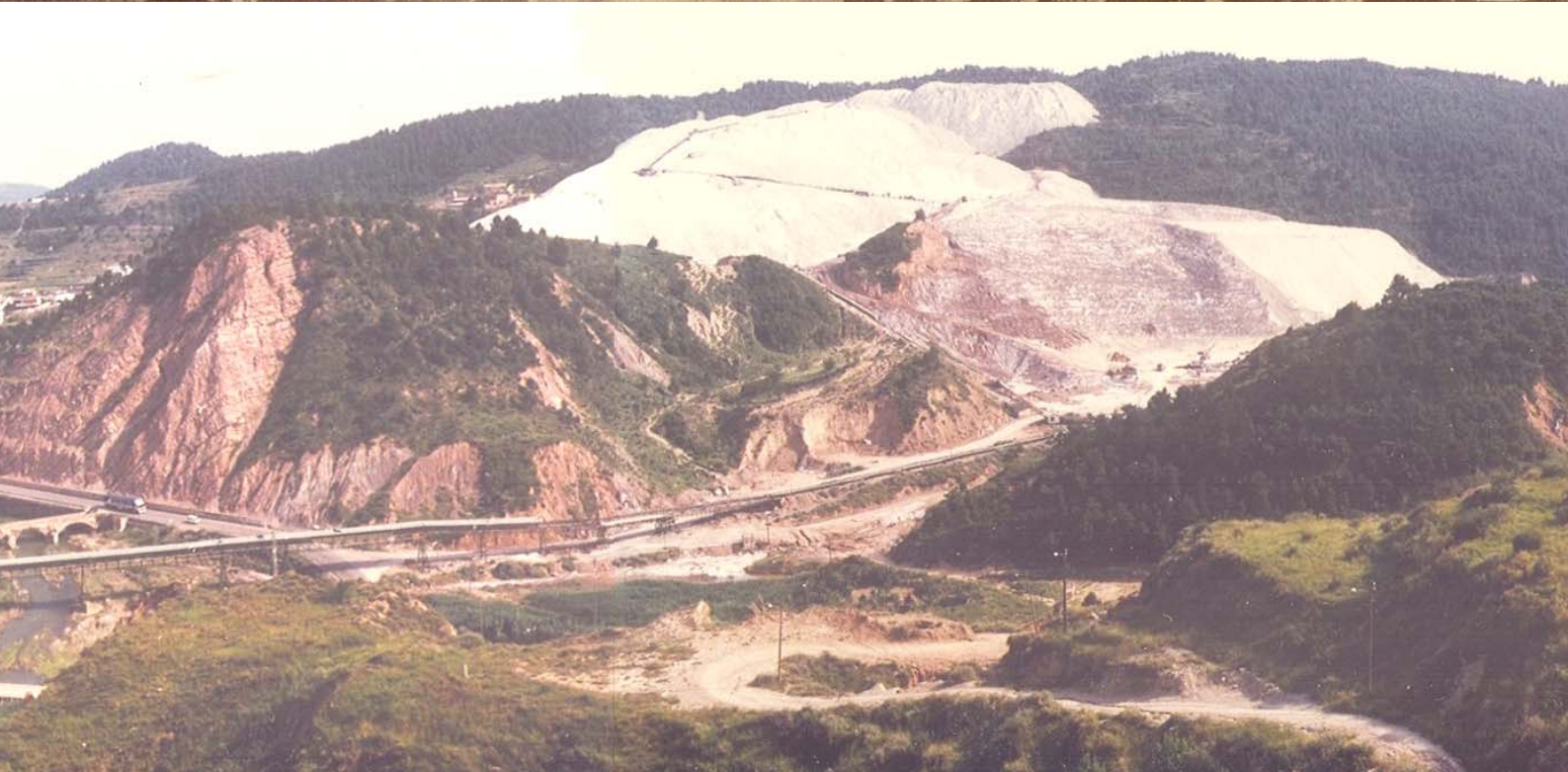




Comportament de l'aigua subterrània a la vall Salada de Cardona



Josep Font Soldevila



Figura de la primera pàgina. Vistes panoràmiques de l'aiguabarreig de la riera Salada amb el riu Cardener fetes als anys 1925 (dalt), 1992 (mig) i 2005 (baix).

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

A la Maria i a les meves filles,
l'Ariadna i la Laura.

*El valor d'una civilització no es mesura pel
que sap crear, sinó pel que sap conservar.*
Edouard Herriot

Índex

Capítol 1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. Propòsit	2
1.2. Objectius	2
1.3. Motivació	2
1.4. Abast	3
1.5. Justificació.....	3
1.6. Etapes i metodologia emprada.....	4
1.7. Comentari sobre documentació consultada.....	7
1.8. Síntesi dels documents principals	7
Capítol 2. ESTAT DE LA QÜESTIÓ	19
2.1. Introducció	20
2.2. Característiques de la sal gemma i de la potassa	21
2.2.1. Característiques de la sal.....	22
Antecedents de la sal.....	22
Caracterització fisicoquímica de la sal.....	23
2.2.2. Característiques de la potassa.....	23
Antecedents de la potassa.....	23
Caracterització fisicoquímica de la potassa.....	25
2.2.3. Dissolució relativa entre els diferents minerals salins	25
Dissolucions de les sals segons Joaquín del Valle	25
Experiències de dissolucions al laboratori	26
Distribucions d'aigües salades a la Catalunya central	28
2.3. Mineralogia	35
2.4. Gènesi estratigràfica	39
2.5. Altres jaciments salins	42
2.6. Aplicacions dels minerals salins.....	45
La sal.....	45
La potassa.....	47
2.7. Explotacions potàssiques	49
2.7.1. Arreu del món	50
2.7.2. A la Península i al Bages	51
2.7.3. Explotacions de potassa a Cardona	53
Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS	61
3.1. Reconeixement geològic	61
3.1.1. Introducció al reconeixement geològic.....	62
3.1.2. Estratigrafia.....	64
3.1.3. Estructura geològica	66
3.2. Geomorfologia i activitat minera.....	71
3.2.1. Relació de les valls amb l'estructura.....	72
3.2.2. Moviments de pujada diapírica i subsidències	72
3.2.3. Carstificació	72
Rasclers o karrens	73
Subsidències i bòfies	75
Conductes	76
3.2.3. Mineria i el seu rastre	78
Entrades d'aigua abans del 1985	82
Entrada d'aigua del 1985.....	83
Entrada d'aigua del 1998.....	84
Resum de les observacions catastròfiques ocorregudes	88

3.3. Prospeccions.....	91
3.3.1. Prospecció geolèctrica.....	92
Introducció a la prospecció.....	92
Metodologia emprada	92
Recopilació de dades geolèctriques històriques	94
Sondeig paramètric	97
Campanya geolèctrica del 1997	98
Campanya geolèctrica del 2003	100
Campanya geolèctrica del 2004	106
3.3.2. Georadar	108
Introducció	108
Georadar a la vall Salada.....	108
Georadar al peu de la Muntanya de Sal.....	112
3.3.3. Sísmica de reflexió i refracció.....	114
Introducció a la prospecció sísmica	114
Metodologia emprada	114
Sísmica de refracció.....	114
Sísmica de reflexió.....	115
Equips utilitzats, treball de camp i situació dels perfils geofísics.....	115
Resultats obtinguts.....	117
Conclusions de la sísmica	126
3.3.4. Prospecció electromagnètica.....	128
Introducció a la prospecció electromagnètica.....	128
Metodologia emprada	128
Material	129
Treballs realitzats.....	129
Resultats obtinguts i conclusions	131
3.3.5. Prospecció gravimètrica.....	134
Introducció a la prospecció gravimètrica	134
Mètode gravimètric.....	134
Principi del mètode	134
Material emprat.....	135
Resultats obtinguts i interpretació de les dades	135
Comparació entre la prospecció gravimètrica i la electromagnètiques	135
Conclusions	136
3.3.6. Sondejos mecànics	138
Sondejos històrics	138
Sondejos a la vall entre el 1984 i el 1992.....	139
Sondejos a la vall el 1993.....	139
Sondejos pel dipòsit controlat de residus el 1997.....	140
Piezòmetres al costat del canal de l'Aranyó el 1999.....	141
Sondejos inclinats	141
Sondejos a la llera abandonada del Cardener el 2004.....	142
3.3.7. Assajos amb traçadors	143
Introducció als assajos amb traçadors	143
Primers assajos amb traçadors.....	143
Assajos de traçadors el 1997	143
Assajos de traçadors el 1999	145
Assaig de traçador el 2004	147

3.4. Climatologia.....	149
3.4.1. Introducció a la climatologia	150
3.4.2. Pluviometria.....	150
3.4.3. Instal·lació d'un pluviògraf i limnígraf	152
3.4.4. Diagrama ombrotèrmic.....	153
3.4.5. Balanç d'aigua segons precipitació i evapotranspiració.....	154
3.5. Hidrologia superficial.....	157
3.5.1. Avaluacions quantitatives.....	158
Riu Cardener.....	158
Vall Salada.....	159
3.5.2. Avaluacions qualitatives.....	161
Riu Cardener.....	161
Vall Salada.....	163
3.5.3. Col·lector de salmorres i altres.....	166
3.5.4. Desviament del riu Cardener	169
3.5.5. Projecte de restauració integral de la vall Salada	170
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'aqüífer salí al riu Cardener	213
Capítol 4. SÍNTESI I EVOLUCIÓ EN EL TEMPS.....	217
4.1. Abans i al principi de la història de Cardona.....	218
4.2. Al començament de la mina el 1934.....	220
4.3. Després de la construcció de la rampa de 1973	222
4.4. Primera entrada d'aigua a la rampa el 1985	224
4.5. L'entrada d'aigua a la mina de sal el 1998.....	226
4.6. La captura del Cardener el 1999	228
4.7. El darrer estat l'any 2004	231
4.8. El futur de l'aigua a la mina	233
Capítol 5. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS	237
Bibliografia	241

Estructura i capítols de la tesi

Aquest treball s'inicia amb una introducció, seguidament hi ha una recopilació de l'estat de la qüestió sobre les sals i les potasses, posteriorment trobem el cos de la tesi, amb els treballs de camp i reconeixements de la vall Salada, després hi ha una síntesi dels fets trobats ordenats en el temps, i al final hi ha les conclusions i les recomanacions a què s'ha arribat.

Pel que fa a la forma de presentació, el treball està estructurat en sis capítols. A cada capítol s'hi ha inclòs el seu índex. D'altra banda, en les parts de la memòria que són síntesis de documents fonamentals revisats o que fan referència a metodologies utilitzades, s'ha fet servir una lletra més petita.

Els capítols que formen la tesi són:

Capítol I. Introducció. Primer capítol, en què es defineixen les justificacions i els objectius que emmarcaran la tesi. Així mateix, s'hi descriuen les diferents etapes mitjançant les quals s'ha confeccionat el treball i la metodologia emprada.

Capítol II. Estat de la qüestió. Aquest capítol és una recopilació de les característiques químiques i geològiques, les aplicacions de les sals i potasses i la seva història, l'estat general en el món, així com explotacions mineres existents i en concret el marc miner de Cardona.

Capítol III. Resultats hidrogeològics. Aquí es descriuen, de manera ordenada i resumida, totes les observacions sobre el camp, les prospeccions geofísiques realitzades i consultades, les recopilacions d'altres treballs, informes o similars. Tots aquests materials presentats en aquesta tesi són la base en què ens hem fonamentat per detallar el funcionament de l'aigua subterrània a la vall Salada. En aquest capítol, i per a una major claredat, també s'ha inclòs en cada subcapítol un subíndex.

Capítol IV. Síntesi. Els resultats del capítol anterior s'han utilitzat per descriure la història hidrogeològica al llarg dels anys. La manera com es descriu aquesta història hidrogeològica és mitjançant una sèrie de blocs de diagrames històrics, tots dibuixats en les mateixes seccions en què els fets hidrogeològics han estat més intensos.

Capítol V. Conclusions i recomanacions. En aquest capítol es resumeix el comportament de les aigües subterrànies i es recomanen una sèrie d'accions que caldria realitzar en el futur.

Capítol VI. Bibliografia. Finalment, en aquest capítol s'inclouen les referències bibliogràfiques que s'han trobat i en què ens hem basat per a l'elaboració del treball.

Agraïments generals

En la vida hi ha poques vegades en què es puguin fer agraïments formals a aquelles persones que t'han ajudat, de manera directa com a resposta a la teva demanda o indirecta mitjançant el seu interès, la seva comprensió o el seu ànim. Davant de treballs com el que es presenta a continuació, hom reflexiona que sol no pot fer res, que gràcies a les persones i al seu coneixement alguns només podem recopilar informació i afegir alguna idea més sobre un tema que demà estarà superat. L'experiència científica ha valgut la pena, però la humana també.

Dit això, voldria donar les gràcies:

Al director de la tesi, Josep Maria Mata-Perelló, més que director, company en tots els sentits, persona admirada per la seva gran activitat científica, que desborda el seu propi entorn, ja que no n'ha tingut prou amb l'estudi geologicominer de la seva Catalunya que, després de continuar amb la Península, ha necessitat arribar a Llatinoamèrica.

A Xavier de las Heras, cap del Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals, al qual no només admiro pel fet de ser una persona que sap on porta el departament, sinó també pel fet de formar part de la classe alta d'investigadors que dona vida a una universitat i fa créixer una ciutat. De fet, si és gran com a científic encara ho és més com a persona.

A Maura Sans, que a més de fer amb molt rigor la tesi sobre diapirisme, em va facilitar molta bibliografia sobre el tema. La seva visió m'ha ajudat en la meva tesi.

A Joaquín del Valle, gran geòleg i coneixedor de la mineria de la sal. Va confiar en mi i em va ajudar amb material important de la zona, moltes vegades inèdit, i fins i tot va haver d'escriure pàgines per a una millor comprensió per part meva.

A Guillermo Arrieta, enginyer i director de les mines de Cardona. Les discussions en el seu despatx de la mina em van fer reconsiderar moltes coses.

A Ramon Arnau, professor de l'Escola, cardoní per excel·lència, director de la planta de tractament de la mina de Cardona i company de despatx. Malauradament ens va deixar fa uns anys. Ell em va fer ser coneixedor i admirador de la seva Muntanya de Sal, i sempre que podia em transmetia els seus coneixements. Segurament ell deu ser el desencadenant d'haver començat aquesta tesi.

A Fèlix Teixidor, primer alumne de Mines que ja sobresortia a l'Escola, posteriorment director tècnic de la mina de sal Las Salinas de Cardona i darrerament ascendit a gerent de la seva empresa. Ha hagut de patir tot l'enrenou de l'entrada d'aigua, des de les primeres inundacions que es va trobar un dilluns al matí a la cambra número 1 fins a la inundació definitiva i el rebliment de la rampa de Sant Onofre. Ell és de les poques persones que han tingut i tenen les idees clares sobre l'aigua a la mina de Cardona.

Gràcies principalment al geòleg i company de Geologia l'espeleòleg Ferran Cardona, el qual, sigui pel seu cognom, sigui pel seu gran interès en el reconeixement del subsòl, ha recorregut bona part de la rampa i darrerament els camins subterranis fets per les aigües del Cardener en el seu recorregut cap a l'interior de la mina. En Ferran també és d'aquells que, a més d'estar sempre disponible per donar informació, formen part de les persones que saben de veritat el que ha fet l'aigua a la vall Salada. Ell ha vist, ha palpat, el que ha passat allà a sota.

A l'enginyer de mines José Luis Mieza, gran tècnic que va treballar i conèixer la mina de Cardona abans del seu tancament. Ell també em va facilitar i transmetre molta informació tècnica d'aquell entorn que segurament hauria desaparegut. Com ell, a vegades hi ha persones que veus que col·laboren d'una manera activa, més enllà del que simplement haurien de fer.

Al professor i company Barragan de l'Ecole des Mines d'Ales. Coneixedor de la geologia i mineria de mig món, m'ha informat de les característiques de les explotacions subterrànies de sal per lixiviació i altres de França.

Al director de les mines de Saint Joseph d'Alsàcia a Mulhouse, pel fet de permetre'm la visita a les explotacions de sal d'allà i informar-me de les problemàtiques que van patir i de les solucions que hi han aplicat.

Al director de les mines de Subiza de Pamplona, per les seves explicacions i per haver-me facilitat tanta documentació de les entrades d'aigua a les seves mines, que ja estan tancades. De ben segur les seves experiències podran algun dia fer-se servir per a altres indrets.

També vull recordar molts dels minaires, tècnics, capatassos i treballadors en general que han facilitat informació a vegades amb detall de plànols i altres vegades a manera d'observacions o anècdotes succeïdes al fons de la mina. En són mostres els senyors Caballero i Pepín Álvarez, persona amb seny de la qual sempre recordaré el seu fill, alumne de la nostra escola que va morir en una voladura.

Així mateix, agraeixo la paciència i el suport que m'han donat els meus companys del Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals al llarg de tants anys. Ells han hagut de patir les meves insistències, les presses..., la falta d'atenció que es mereixen. Això va per a la Llúcia Reixac, que amb la seva comprensió m'ha facilitat el dia a dia; per a en Jordi i la Xesca, del Laboratori, pels seus dibuixos i les seves explicacions dels programes informàtics; també per a en Josep Manel, de la Factoria, amb qui hem passat moltes hores fent els gràfics en relleu fotogràfic. També mereix un record el nostre becari Jonatan Collado, que ha col·laborat més enllà de la tasca que li pertocava. A tots els companys en general que m'han esperonat per fer arribar a bon port aquesta tesi.

Finalment, i no per això menys important, vull donar gràcies a la meva família, que m'ha ajudat a tirar endavant en els moments de desànim, i també per les hores i dies que no he pogut estar amb tots plegats i han permès que em tanqués quan el treball m'ha captivat.

A tots, de veritat, moltes gràcies.

Resum

Aquest treball tracta dels diferents comportaments que ha tingut l'aigua subterrània a la vall Salada de Cardona i en el seu aiguabarreig amb el riu Cardener. Aquesta aigua subterrània, en passar pels materials salins de la vall Salada, esdevé salmorra; en barrejar-se amb les aigües del Cardener, augmenta la seva salinitat. Aquest riu, a causa del fet que s'hi afegeixen diferents aportacions de clorurs al llarg del seu recorregut, ha arribat a ser problemàtic per les seves conseqüències ambientals i de potabilitat en les xarxes públiques de Barcelona i l'àrea metropolitana.

La vall Salada és un impressionant aflorament de materials salins en forma de diapir, en el qual hi ha diferents aportacions d'aigua superficial i subterrània. A la base i al peu dels marges d'aquesta vall hi afloren els materials salins. A l'extrem occidental de la vall hi ha la Muntanya de Sal amb un *cap rock*. La Muntanya de Sal separa la vall de la bòfia Gran, en el fons de la qual transcorre un petit rierol que s'infiltra pel forat Micó cap al subsòl. L'aigua de la pluja, en aquest aflorament natural que forma la Muntanya de Sal, ha modelat una esplèndida superfície càrstica formada per canals de diferents grandàries, formes i colors.

La dissolució dels materials salins per l'aigua dolça és el primer motor que altera la fisonomia de la Muntanya de Sal i també la morfologia de la vall. Tant l'aigua superficial com la interna han provocat esfondraments dels materials superiors a manera de bòfies. En tota aquesta dinàmica de dissolució dels materials salins, hi ha un procés de protecció natural amb la salmorra resultant, que actua sempre que no hi ha un flux exterior prou important per retirar-la. D'aquesta manera, en les zones amb materials salins, propenses a la dissolució per l'aigua, es forma una capa de salmorra a les parts baixes, a manera de cubeta autoprotegida en la base. Aquest procés és el que ha tingut lloc en l'aiguabarreig de la riera Salada amb el riu Cardener; encara que està sobre materials salins, el riu Cardener no els havia dissolt.

De ben segur, si no hi hagués hagut l'interès miner del segle passat, la vall Salada hauria restat pràcticament igual que en els darrers temps geològics. Però l'excavació de les galeries a cotes inferiors a la base del riu Cardener, i principalment en els llocs més fràgils per l'entrada d'aigua, com són els accessos interns que formen els pous i la rampa (encara que emplaçats estratègicament a les parts altes de la Vall), ha provocat que això fos una porta d'entrada a l'aigua superficial. L'alteració dels materials salins per l'aigua dolça, en indrets a sota dels quals hi ha poca potència fins a les cavitats mineres, ha produït unes entrades d'aigua al massís salí cap a les cavitats mineres. L'última, el 1998, ha estat irreversible.

Malgrat la bellesa d'aquest entorn, catalogat com a paratge natural protegit en la figura de PEIN per la Generalitat de Catalunya, encara queden a la vall terreres de les mines. Concretament, des d'un punt de vista positiu, queden vestigis de la terrera Nova, que ha estat reutilitzada com a font de clorur sòdic i aviat ja es podrà restaurar. Seguidament es començarà amb la terrera Vella, de més dificultat en l'aprofitament de la seva sal. Des del punt de vista negatiu, encara queden els llots residuals resultants de la reutilització de les terreres, dipositats al marge sud de la subvall del rierol Salat i a l'interior de les cavitats de la mina Las Salinas. També resten altres materials salins residuals dipositats a l'antiga mina del Duc. A la vall Salada no només hi ha problemàtica minera, ja que fins i tot s'hi troben materials d'enderrocs urbans dipositats al marge nord, a tocar del nucli urbà. Dintre d'aquest apartat negatiu, també cal esmentar els abocaments urbans que hi ha hagut de la xarxa de clavegueram i d'aigües pluvials que durant molts anys desembocaven sobre la font dels Fangassos, també al marge nord. Aquest conjunt d'aigües dolces ha estat un dels motius de l'alteració dels materials salins, que darrerament ha facilitat la inversió del nivell piezomètric.

Una de les primeres observacions documentades de grans variacions que fan les aigües a la vall Salada és la del rierol Salat. En un principi les aigües que s'infiltraven pel forat Micó sortien una vegada havien travessat la muntanya de Sal i llavors transcorrien per la superfície, fins a la cova de Sant Onofre. A la dècada del 1990 aquest rierol desapareix de la superfície. Localment aquest rierol també es coneix com a Arroyo Loco.

Els fets més importants pel que fa al comportament de l'aigua subterrània a la vall Salada han estat les entrades d'aigua a la mina. Així, l'entrada del 17 de maig de 1985 va ser ocasionada per processos d'alteració dels esmentats anteriorment, però l'aigua que va entrar per la rampa era la que hi havia a les cubetes excavades a la sal. En la darrera i més greu entrada d'aigua a la mina Las Salinas (14 de març de 1998), el seu procés inicial va ser similar: l'alteració dels materials salins situats sobre la mina es va anar estenent i aprofundint fins a interceptar el sostre de la cavitat subterrània a uns 50 metres de la superfície. Però en aquest cas hi havia un lleuger llinard entre les cubetes d'alteració i la del riu Cardener. Una vegada desprotegit aquest llinard per l'escolament de les salmorres residuals, les aigües dolces dissolen aquesta barrera natural i arriba un moment (a principis de gener del 1999) que les aigües del riu Cardener es desplacen cap a l'interior de la mina seguint el gradient més favorable. D'aquesta manera comença una ràpida dissolució dels materials salins per les aigües del riu i es comença a inundar la mina Nieves, fins que el nivell quasi arriba a la mina Las Salinas (finals de novembre del 2000). Afortunadament, durant els darrers mesos l'Administració s'afanyà a construir un túnel pel riu, de manera que s'anul·là el meandre del Cardener al seu pas pels materials salins de la vall Salada.

Posteriorment a la construcció del túnel de derivació del Cardener, amb la concentració de les diferents aportacions de salmorra de la vall al fons de la mina i amb el consegüent bombeig cap al col·lector, sembla que s'hagi trobat la solució gairebé definitiva a la salinització de l'aigua del riu. Però el cabal que recull la bomba al fons de la mina no disminueix, més aviat sembla que augmenta. Es fan hipòtesis d'altres possibilitats de recàrrega a l'aquífer pels laterals del diàpir. S'han fet mesures de georesistivitat elèctrica i es poden obtenir dades de pous als laterals del diàpir i dins la llera antiga del riu; això permet demostrar que encara entren cabals similars als que es bombegen a l'interior de la mina.

A partir d'aquestes dades es reconstrueix el futur hidrogeològic de la vall Salada. Així doncs, es pensa que aquest cabal residual que entra a la vall serà cada vegada més gran, pel fet que l'aigua dolça dissoldrà cada vegada més el llinard dels laterals. Llavors s'esdevindrà un gradient més accentuat, cosa que produirà esfondraments per falta de material als laterals. D'altra banda, si algun dia finalitza l'explotació minera de Las Salinas i deixa de funcionar la bomba, el nivell de salmorra de l'interior de la mina pujarà fins al nivell natural de la antiga llera del riu. En aquesta zona es podrà formar per dissolució un llac d'aigua salada. Segurament, a més llarg termini, a escala geològica, la pujada diàprica dels materials salins més el sobrepès de la salmorra frenaran progressivament l'avenç d'aquest procés i es podrà tornar a tenir unes condicions similars a les que la vall Salada havia tingut.

Resumen

Este trabajo trata de los diferentes comportamientos que ha tenido el agua subterránea en el valle Salado de Cardona y en su intersección con el río Cardener. Esta agua subterránea al pasar por los materiales salinos del valle Salado se transforma en salmuera, lo que al mezclarse con las aguas del Cardener aumenta su salinidad. Este río, al sumarse distintas aportaciones de cloruros a lo largo de su recorrido, ha llegado a ser problemático por sus consecuencias ambientales y de potabilidad para su uso en las redes de aguas públicas de Barcelona y su área metropolitana.

El valle Salado es un impresionante afloramiento de materiales salinos en forma de diapiro, en el que hay distintas aportaciones de aguas superficiales y subterráneas. En su base y en las laderas de este valle afloran los materiales salinos. En el extremo occidental del valle se encuentra la Montaña de Sal con un *cap rock*. La Montaña de Sal separa el valle de la Bòfia Gran, y en su fondo transcurre un pequeño riachuelo que se infiltra hacia el Forat Micó. La lluvia, en esta afloramiento natural de sal que forma la Montaña de sal, ha modelado una espléndida superficie cárstica formada por canales de distintos tamaños, forma i colores.

La disolución de materiales salinos por el agua dulce es el primer motor que altera la fisonomía de la Montaña de Sal y también la morfología del valle. Tanto el agua superficial como la subterránea han provocado hundimientos de los materiales superficiales en forma de depresiones, (primeramente por disolución de la sal y posteriormente por colapso de los materiales superficiales, que localmente se denominan bõfies). En toda esta dinámica de disolución de los materiales salinos, existe un proceso de autoprotección natural con la salmuera resultante, ya que actúa siempre y cuando no exista un flujo importante para su eliminación. De esta manera en las zonas con materiales salinos, propensos a su disolución por el agua, se forma una capa de salmuera en las zonas más bajas, a manera de cubeta autoprottegida. Este proceso es el que ha ocurrido en la confluencia de la riera Salada con el río Cardener, pues aunque el río fluye sobre materiales salinos, no los había disuelto.

Seguramente que si no hubiera existido un especial interés minero en el siglo pasado, el Valle Salado estaría prácticamente igual que en los últimos tiempos geológicos. Pero la excavación de galerías a cotas inferiores a la base del río Cardener y principalmente en lugares frágiles a la entrada del agua, como son los pozos y la rampa (aun que se emplazaron estratégicamente en las partes altas del Valle Salado), han sido una puerta de entrada del agua. La alteración de los materiales salinos por el agua dulce, en aquellos lugares en que había poca potencia hasta las cavidades mineras, ha producido unas entradas de agua al macizo salino. La última entrada de agua en 1998 ha sido irreversible.

A más de la belleza de estos lugares, catalogados coma paraje natural protegido en la figura de PEIN por la Generalidad de Cataluña, aun quedan en el valle escombreras salinas de las minas. Concretamente, desde un punto de vista positivo, quedan vestigios de la escombrera Nueva, pues ha sido reutilizada como recurso minero de cloruro sódico y próximamente este entorno se restaurará paisagísticamente. Seguidamente se empezará con la escombrera Vella, con más dificultad para el aprovechamiento de su sal. Desde el punto de vista negativo, aun quedan lodos residuales resultantes del reaprovechamiento anterior, los cuales han sido depositados en la ladera derecha del valle (por donde transcurría el riachuelo Salado, a más de su acumulación en el interior de la mina Las Salinas. También quedan otros materiales salinos fangosos en la antigua mina del Duque. En el Valle Salado no solamente existe la problemática minera, pues incluso se encuentran restos de demoliciones urbanas depositadas en la ladera norte. Dentro de este apartado negativo, también se ha de considerar los aportes durante muchos años de la red de saneamiento urbano y de las aguas pluviales que desembocaban sobre la zona de los Fangazos, también en la ladera norte. Así, este conjunto de aguas más bien dulces, ha sido uno

de los motivos de la alteración de los materiales salinos que últimamente ha facilitado la inversión del nivel piezométrico.

Una de las primeras observaciones documentadas de las grandes variaciones del curso de las aguas en el Valle Salado, está en el riachuelo Salado. En un principio estas aguas se infiltraban en el Forat Micó y afloraban una vez habían atravesado la Montaña de Sal, entonces transcurrían por la superficie del valle. Curiosamente también se conocía a este riachuelo con el topónimo de riachuelo Loco.

Los hechos más importantes referentes al comportamiento del agua subterránea en el Valle Salado, han sido las entradas de agua a la mina. Así, la entrada del 17 de mayo de 1985, que fue ocasionada por procesos de alteración como los mencionados anteriormente, entró agua por la rampa de la mina y era la que había en las cubetas excavadas en la sal. La última y más grave entrada de agua en la mina La Salinas (el 14 de marzo de 1998), su proceso inicial fue muy similar, pero esta vez la alteración de los materiales salinos situados sobre la mina se fue extendiendo y profundizando hasta interceptar el umbral de las cubetas de alteración con el río Cardener. Una vez desprotegido este umbral por la eliminación de las salmueras residuales, las aguas dulces disolvieron esta barrera natural. Llegó un momento (principios de enero de 1999) que las aguas del Cardener se desplazan hacia el interior de la mina siguiendo el gradiente más favorable. De esta manera empieza una rápida disolución de los materiales salinos por las aguas del río y se empieza a inundar la mina Nieves, hasta que el nivel casi llega a la mina Las Salinas (finales de noviembre de 2000). Afortunadamente, durante los últimos meses, la Administración se apresuró a perforar un túnel para el río, de manera que se anulaba el meandro del río Cardener a su paso por los materiales salinos del Valle Salado.

Posteriormente a la construcción del túnel de derivación del río Cardener, se concentran las distintas aportaciones de salmuera del Valle Salado en el fondo de la mina (con los consecuentes bombeos hacia al colector de salmueras ya existente). De esta manera, en aquel momento pareció que se había encontrado la solución casi definitiva de la salinización de las aguas del Cardener. No obstante el caudal que se recogía con la bomba del fondo de la mina no disminuía, más bien se incrementaba. Se hacen distintas hipótesis de otras posibilidades de recarga del acuífero por los laterales del diapiro. Se realizan prospecciones geoelectricas y se estudian pozos recientemente construidos en dichos laterales del diapiro, demostrando que aun entran caudales laterales de agua similares a los que se bombean desde el interior de la mina.

A partir de estos datos se reconstruye el futuro hidrogeológico del Valle Salado. Así pues, se cree que este caudal de agua residual será cada vez más grande, por el hecho de que el agua dulce disolverá cada vez más el umbral salino lateral. Entonces, habrá un gradiente más acentuado, produciéndose hundimientos por falta de material en los laterales del diapiro. Por otro lado, cuando finalice la explotación minera de Las Salinas y deje de funcionar la bomba del fondo de mina, el nivel de la salmuera de la rampa subirá hasta el nivel natural del antiguo lecho del río. En esta zona podrá formarse por disolución un lago de aguas saladas. Seguramente, a más largo tiempo, a escala geológica, el empuje diapírico de los materiales salinos conjuntamente con el sobrepeso de la salmuera, frenarán progresivamente el avance de este proceso y tenderá a existir unas condiciones hidrogeológicas similares a la que el Valle Salado había tenido.

Résumé

Ce travail traite des différents comportements de l'eau souterraine dans la "Vall Salada de Cardona", Vallée Salée de Cardona, et de son intersection avec le Cardener. Lorsque cette eau passe au travers des matériaux salins de la Vall Salada, elle devient saumure. Se mélangeant ensuite avec les eaux du Cardener, elle commence à en augmenter la salinité. Dans cette rivière, les apports de chlorures tout au long de son parcours sont devenus problématiques. Leurs conséquences sur l'environnement et la potabilité de l'eau posent notamment problème quant à l'utilisation de cette eau pour le réseau public de Barcelone, et d'autres urbanisations..

La Vall Salada est un impressionnant affleurement de matériaux salins en forme de diapir, dans lequel s'infiltrent différentes arrivées d'eau superficielle et souterraine. A la base et au pied des rives de cette vallée, des matériaux salins affleurent. Du côté occidental de la vallée, on trouve la "Muntanya de Sal", la Montagne de Sel, avec un "cap rock". La "Muntanya de Sal" divise la Vallée de la Bòfia Gran, et au fond de cette vallée s'écoule un petit ruisseau qui s'infiltré par le "Forat Mico", le Trou Mico, jusqu'au sous-sol. Les eaux de pluies, sur cet affleurement naturel que forme la Muntanya de Sal, ont dessiné une splendide "karst" formée de canaux de différentes grandeurs, formes et couleurs.

La dissolution des matériaux salins dans l'eau douce est la première cause d'altération de la physionomie de la Montagne de Sel, et de la morphologie de la vallée. Cette altération est autant superficielle que interne, et provoque des effondrements des matériaux supérieurs. Dans toute cette dynamique de dissolution, il existe un phénomène de protection naturelle grâce au saumure résultant, qui agit en permanence car il n'y a pas de flux suffisant pour l'enlever. Ainsi dans les zones riches en matériaux salins, propices à la dissolution, il se forme une couche de saumure dans les parties inférieures, à la manière d'une cuvette auto-protectrice à la base. Ce phénomène est celui qui s'est produit à l'intersection de la rivière Salada avec le Cardener, car bien qu'il soit sur des matériaux salins, le Cardener ne les a pas dissout, le saumure les a protégé.

Assurément, s'il n'y avait pas eu un intérêt minier durant le siècle passé, la Vall Salada serait quasiment identique que dans les derniers temps géologiques. Cependant l'excavation de galeries à un niveau inférieur au lit du Cardener, et principalement dans les endroits plus sensibles aux entrées d'eau (comme par exemple les accès internes que forment le puits et la rampe, bien que placés stratégiquement dans les parties hautes de la Vallée), ont été une véritable porte d'entrée pour l'eau superficielle. L'altération des matériaux salins, situés en dessous de couches de faibles épaisseurs, et au dessus des cavités minières, a engendré des entrées d'eau dans le massif salin pénétrant jusqu'aux cavités minières. La dernière entrée d'eau fut irréversible.

Malgré la beauté de cet environnement, en 1998, catalogué comme parc naturel protégé de PEIN par la Generalitat de Catalunya, il reste encore les terrils de l'exploitation minière. Concrètement, d'un point de vue positif, il ne reste que les vestiges du terril Nova, qui a été réutilisé comme source de chlorure sodique, et le site sera bientôt restauré.

A l'avenir, il faudra faire face à plus de difficultés avec le terril Vella pour exploiter son sel. Du point de vue négatif, il subsiste les boues résiduelles engendrées par la réutilisation des terrils disposées du côté sud de la sous-vallée du ruisseau Salat, mais aussi à l'intérieur des cavités de la mine "Las Salinas". En outre, il reste aussi d'autres résidus salins disposés dans l'ancienne mine du Duc. Il n'y a pas seulement une problématique minière dans la Vall Salada, on trouve même des matériaux d'encombrement urbain déposés dans la partie Nord, juste à côté du centre urbain. Il faut de plus mentionner que durant de nombreuses années, les déchets urbains issus du réseau d'égouts et d'eau pluviale aboutissaient à la source des Fangassos, située également du

côté Nord de la vallée. Ainsi, cet ensemble d'entrées d'eaux douces fut une des raisons principales de l'altération des matériaux salins, et a récemment facilité l'inversion du niveau piézométrique.

Une des premières observations documentées des grandes variations des eaux de la Vall Salada fut au niveau du ruisseau Salat. Au début, les eaux qui s'infiltraient par le Trou Mico, sortaient une fois qu'elle avaient traversé la Montagne de Sel, et ensuite passaient par la surface, jusqu'à la grotte de Sant Onofre. Durant les années 90, ce ruisseau disparut de la surface. Localement, ce ruisseau est aussi appelé le "Ruisseau Fou".

Les faits les plus importants relatés quant au comportement de l'eau souterraine de la Vall Salada furent les entrées d'eau dans la mine. Ainsi, l'entrée d'eau du 17 mai 1985 fut provoquée par des processus d'altération tels que mentionnés précédemment, mais l'eau qui entra dans la mine provenait des cuvettes d'altération. La dernière et plus grave entrée d'eau dans la mine "Las Salinas" est celle du 14 mars 1998, le déclencheur fut similaire, l'altération des matériaux salins situés au dessus de la mine progressa vers le bas jusqu'à atteindre le plafond de la cavité souterraine à 50 mètre de la surface. Dans ce cas cependant, il y avait un léger dénivelé entre les cuvettes d'altération et la rivière Cardener, si bien qu'une fois menacé par l'écoulement du saumure résiduel, les eaux douces dissolurent cette barrière naturelle jusqu'au moment où (début janvier 1999) les eaux du Cardener se dévièrent vers l'intérieur de la mine tout en suivant la pente favorable. De cette manière, une rapide dissolution des matériaux salins commença, parallèlement à une inondation de la mine "Nieves", à tel point que le niveau atteint presque la mine "Las Salinas" (fin novembre 2000). Cependant, durant les derniers mois, l'administration s'est empressée de construire un tunnel de dérivation Cardener, afin de couper le méandre du Cardener qui traversait les matériaux salins de la Vall Salada.

Avant que soit construit le tunnel de dérivation du Cardener, il semble qu'avec les différents apports de saumure de la Vallée au fond de la mine, et avec le conséquent pompage au niveau du collecteur, il s'était établi la solution presque définitive de la salinisation du Cardener. Mais par contre, le débit qu'évacue la pompe du fond de la mine ne diminue pas, il semblerait plutôt qu'il augmente. Il existe des hypothèses sur le rechargement de l'aquifère par les cotés du diapir. On réalise des mesures de géorésistivité électrique, et on peut ainsi obtenir des données des puits situés à côté du diapir et de l'intérieur de l'ancienne voie de la rivière. Cela permet ensuite de démontrer qu'il entre encore dans la mine des débits similaires à ceux qui sont pompés.

A partir de toutes ces données, on peut imaginer quel sera le futur hydrogéologique de la Vall Salada. Ainsi, on peut dire que le débit résiduel qui entre dans la Vallée sera de plus en plus grand, du fait que l'eau douce dissolva chaque fois un peu plus les cotés.

A ce moment là, le gradient sera plus accentué encore, et se produiront des effondrements par manque de matière sur les cotés. D'un autre côté, si un jour on décide d'arrêter l'exploitation de la mine "Las Salinas" et qu'on arrête la pompe, le saumure dans la mine augmentera jusqu'au niveau de l'ancienne voie du Cardener. Il pourra donc se former un lac d'eau salée par dissolution. Probablement, à plus grande échelle de temps, à échelle géologique, la montée diapirique des matériaux salins ainsi que le surpoids de saumure, freineront progressivement l'avancement de ce processus, et on pourra alors retrouver des conditions similaires à celle de la Vall Salada au tout début.

Abstract

This work treats various subsoil water reactions in "Vall Salada de Cardona", Vallée Salted of Cardona, and its intersection with Cardener. When this water goes through saline materials of Vall Salada, it becomes brine. Mixing then with water of Cardener, it starts to increase his salinity. In this river, the chloride contributions throughout its course became problematic. Their effects on the environment and the potability of water pose in particular problem as for the use of this water for the network public of Barcelona, and other urbanizations.

Vall Salada is an impressive saline material outcrop with a shape of diapir, in which various surface and underground water arrivals infiltrate. With the base and the foot of banks of this valley, saline materials level. On the west side of the valley, we find the "Muntanya de Sal", the Mountain of Salt, with a "rock cap". The "Muntanya de Sal" divides the Valley of Bòfia Gran, and at the bottom of this valley a small brook runs out which infiltrates by "Forat Mico", the Mico Hole, to the basement. The rainwater, on this natural outcrop which form Muntanya de Sal, drew splendid "a karst" made of channels of various sizes, forms and colors.

The dissolution of saline materials in fresh water is the first cause of deterioration of the aspect of the Salt Mountain, and the morphology of the valley. This deterioration is surface as much than intern, and causes collapses of higher materials. In all this dynamics of dissolution, there is a resulting phenomenon of natural protection thanks to the brine, which acts permanently because there is not a sufficient flow to remove it. Thus in the zones rich in saline materials, favourable with dissolution, it is formed a layer of brine in the lower parts, with the manner of a autoprotective basin at the base. This phenomenon is that which occurred with the intersection of the Salada river with Cardener, because although it is on saline materials, Cardener does not dissolve them.

Undoubtedly, if there had not been a mining interest during the century spent, Vall Salada would be almost identical that in last geological times. However the excavation of galleries on a level lower than the bed of Cardener, and mainly in the places more sensitive to the water entries (as for example accès the interns whom the well and the slope train, although strategically placed in the high parts of the Valley), were a true door of entry for surface water. The deterioration of saline materials, located below layers low thicknesses, and the top of the mining cavities, generated water entries in the saline solid mass penetrating to the mining cavities. The last water entry was irreversible.

In spite of the beauty of this environment, catalogued like natural reserve protected from PEIN by Generalitat de Catalunya, there remain still the spoil heaps of mining. Concretely, from a positive point of view, there remain only the vestiges of the Nova spoil heap, which was re-used like sodic source of chloride, and the site will be restored soon. In the future, it will be necessary to face more difficulties with the Vella spoil heap to exploit its salt. From the negative point of view, there remains the residual muds generated by the re-use of the spoil heaps laid out of the with dimensions south of the under-valley of the Salat brook, but also inside the cavities of the mine "Mow Salinas". Moreover, it also remains of other saline residues laid out in the old mine of the Duke. There are not only one mining problems in Vall Salada, one finds even materials of obstruction urban deposited in the Northern part, just with with dimensions of the urban centre. It is necessary moreover mention that during many years, urban waste resulting from the rain water and sewerage system ended in the source of Fangassos, also located with dimensions North of the vallée. Ainsi, this whole of fresh water entries was one of the principal reasons of the deterioration of saline materials, and recently facilitated the inversion of the piezometric level.

One of the first documented observations of the great variations of water of Vall Salada was on the level of the Salat brook. At the beginning, water which infiltrated by the Mico Hole, left

once that it had crossed the Salt Mountain, and then passed by surface, until the cave of Sant Onofre. During the Nineties, this brook disappeared from surface. Locally, this brook is also called the "Insane Brook".

The most important facts reported as for the subsoil water reaction of Vall Salada were the water entries in the mine. Thus, the water entry of May 17, 1985 was caused by processes of deterioration as previously mentioned, but the water which entered the mine came from the basins of deterioration. The water last and more serious entry in the mine "Mow Salinas" is that of March 14, 1998, the release was similar, the deterioration of saline materials located at the top of the mine progressed downwards until reaching the ceiling of the underground cavity. In this case however, there was light made uneven between the basins of deterioration and the Cardener river, so that once threatened by the residual flow of the brine, the fresh waters dissolvent this natural barrier until the moment when (at the beginning of January 1999) water of Cardener was deviated towards the interior of the mine while following the favorable slope. In this manner, a rapid dissolution of saline materials started, parallel to a flood of the mine "Nieves", so much so that the level reaches almost the mine "Mow Salinas" (at the end of November 2000). However, during the last months, the administration hastened of building tunnel Cardener a by-pass, in order to cut the meander of Cardener which crossed saline materials of Vall Salada.

Before either built the tunnel of Cardener, it seems that with the various brine contributions of the Valley underground in the mine, and with consequent pumping on the level of the collector, he was establishes the almost final solution of the salinisation of Cardener. But on the other hand, the flow which the pump of the bottom of the mine evacuates does not decrease, it would seem rather than it increases. There are assumptions on the recharging of the aquifer by the sides of the diapir. we carry out measurements of electric georesistivity, and we can thus obtain data of the wells located by the side of the diapir and interior of the old way of the river. That then makes it possible to show that it still enters the mine of the similar flows to those which are pumped.

From all these data, we can imagine which will be the future hidrogeologic of Vall Salada. Thus, we can say that the residual flow which enters the Valley will be increasingly large, owing to the fact that the fresh water will dissolve each time a little more the sides. At this time there, the gradient will be still accentuated more, and will occur collapses for lack of matter on the sides. Of another dimensioned, if one day one decides to stop the exploitation of the mine "Mow Salinas" and that the pump is stopped, pickles it in the mine increases up to the level of the old way of Cardener. It will be able thus to be formed a water lake salted by dissolution. Probably, on a large scale of time, on geological scale, the diapiric rise of saline materials as well as the brine overweight, will gradually slow down the advance of this process, and one will be able to then find similar conditions with that of Vall Salada to the whole beginning.