

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

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

3.1. Reconeixement geològic

Índex

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

3.1.1. Introducció al reconeixement geològic

La vall Salada de Cardona està geològicament emplaçada a la part catalana de la conca terciària de l'Ebre, també coneguda per Depressió Central Catalana i conca potàssica de Catalunya, i presenta les característiques litoestratigràfiques que es resumeixen a la figura núm. 25- 33 i a la taula núm. 17 (Anadon et al. Busquets et al. 1985, de Larragan 1923, de las Cuevas 1996, Marin 1919?, 1923, 1932, 1950, Menedez i Puget 1923, Pueyo i Saez 1986, Riba 1983, Wagner 1971 i UPC 1997).

Els materials que es consideren en aquesta tesi pertanyen a l'Eocè continental i marí i al Quaternari. Aquests darrers materials cobreixen parts de la Muntanya de Sal i també els podem trobar a les lleres dels fluxos d'aigua a manera de terrasses o dipòsits al·luvials.

D'acord amb el full de Cardona de l'IGME (Ferrer, Rosell i Reguant 1968; Reguant 1967, i Riba 1967), la regressió marina de l'Eocè superior que va tenir lloc després que es dipositessin les margues d'Igalada va comportar la deposició de la potent formació salina de Cardona, que es va originar en un lagoon connectat encara amb el mar, en una zona de forta subsidència. Després de la formació salina de Cardona succeeix un interval continental denominat formació complex lacustre de Sanahuja, amb fàcies detrítiques turbidítiques, calcàries primes, margues versicolors i fins i tot alguns guixos. Posteriorment se sedimenten les molasses fluvials amb paleocanals conegudes com a formació molassa de Solsona, que en el sector sud originen la formació molassa d'Artés.

La particularitat principal de la vall Salada està en el fet que aflora la formació salina pròpiament dita. Encara que aquests materials es troben fortament replegats, tenim una aproximació de les seves característiques dimensionals gràcies als nombrosos sondejos i a les mateixes tasques mineres per la conca potàssica catalana.

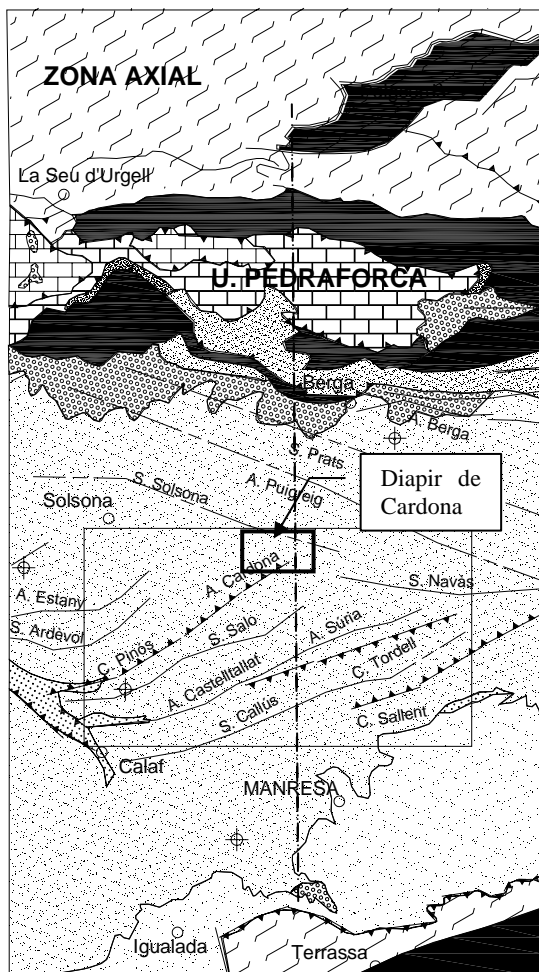
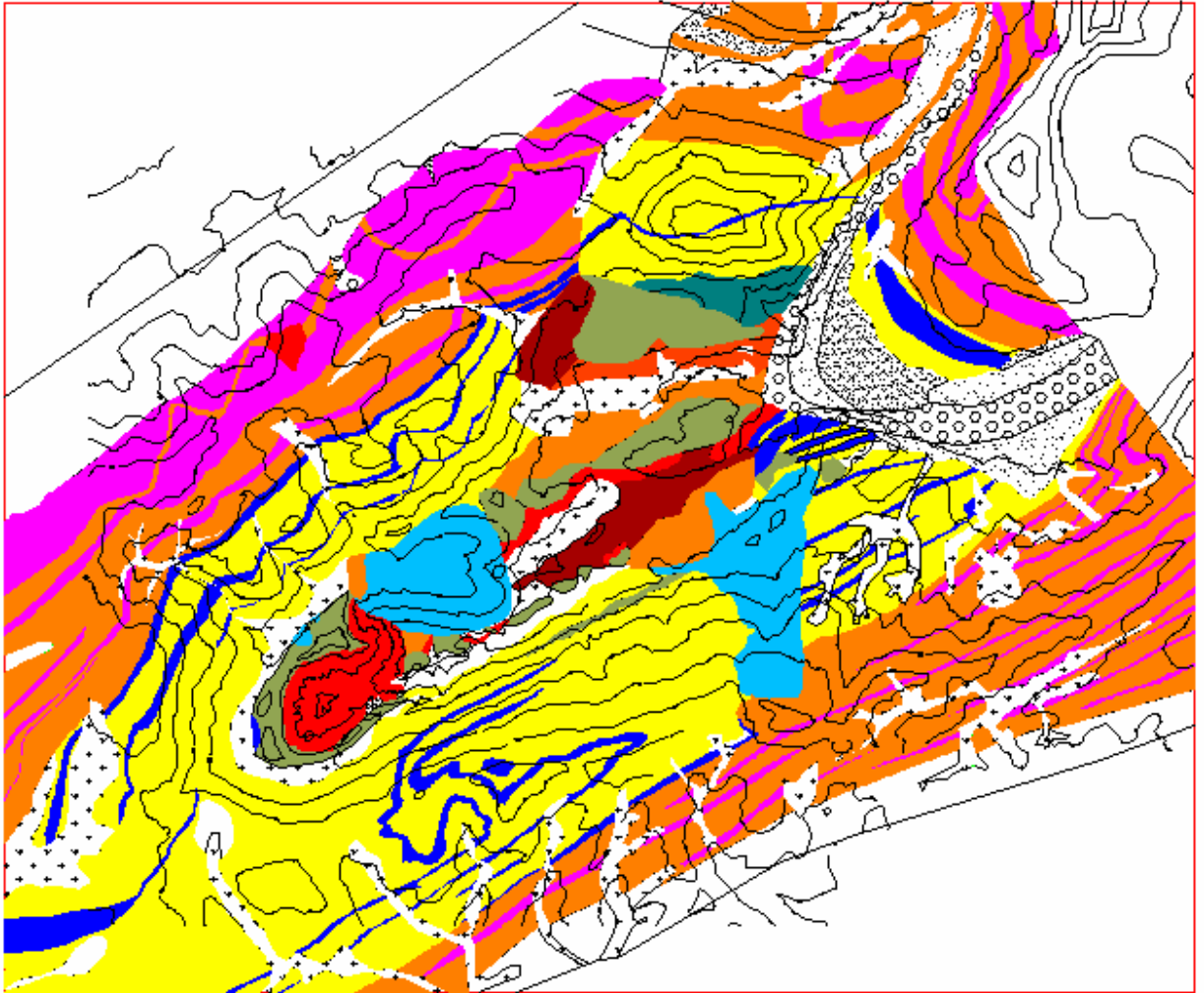


Figura núm. 25. Situació del diapir de Cardona entre les serralades del Pirineus i la Prelitoral

Llegenda	
	Paleozoic dels Pirineus i de les Cadenes Costeres Catalanes
	Mesozoic-terciari de la Unitat del Cadí
	Mesozoic-terciari de la Unitat de les Serres Marginal
	Mesozoic-terciari de la Unitat del Montsec
	Eocè
	Formació Guixos de Barbastro
	Eocè terminal - Oligocè (microconglomerats, arenisques, lutites, margues i calices)
	Conglomerats oligocènics marge pirinenc
	Miocè
	Sondeig de petroli
	Secció figura 29
C.	Cavalcament
S.	Sinclinal
A.	Anticlinal

3.1. Reconeixement geològic



Llegenda












-  Dipòsit de runes urbanes i llots salins
-  Terreres salines
-  Terrasses al·luvials
-  Sols quaternaris
-  Argiles i llims "cap rock"
-  Gresos i limolites
-  Margues i limolites
-  Limolites i gresos rojos
-  Argiles verdoses i gresos rojos
-  Margues groguenques amb guixos en la base
-  Sal

Figura núm. 26. Materials geològics en les rodalies de la vall Salada de Cardona (a partir de UPC 1997)

3.1.2. Estratigrafia

La sèrie estratigràfica general on està inclosa la formació salina de Cardona és, de base a sostre:

- A. Margues d'Igualada, de més de 500 m de gruix, encara que no afloren en la zona estudiada.
- B. Formació salina de Cardona, que solament aflora a la vall Salada (segons Rosell 1990 i SGC 1992):
 - Anhidrita
 - Sal vella, halita de color gris blanc dins d'argila.
 - Sal bruta, halita de color blanc rosat amb intercalacions de capes primes d'argila.
 - Unitat potàssica, alternança de microcicles de silvinita i halita rosada blanca i capes primes d'argila.
 - Unitat carnal·lítica, alternança de microcicles de carnal·lita i halita rosa i capes primes d'argila grisa.
 - Sal de sostre, alternança d'anhidrita amb capes argiloses.
 - Membre de transició, margues llimoses amb cristall d'halita.
- C. Formació complex lacustre de Sanahuja, diferenciat en dos trams:
 - Litofàcies margoses de color gris blavós molt salobres i amb guixos impermeables que formen el sostre de la sal. Tenen una potència de 116 m a 150 m. (Fm. Barbastre i Súria).
 - Litofàcies argil·loarenosa vermella, amb estructures associades a corrents i altres característiques turbidíftiques (estratificació gradual, *groove cast*, *brush cast*, *bounce cast*, laminació convoluta, ripples de corrent, marques de sobrecàrrega, etc.), amb una forta activitat *burrowing* que arriben a esborrar les estructures internes precedents. De 321 a 400 m d'espessor. (Fm. Castelltallat).
- D. Formació molassa de Solsona, constituïda per margues i limolites calcàries de color marró groguenc, alternades amb capes grosses i bancs de gresos amb algun microconglomerat poc continu lateralment. Tenen estructures sedimentàries com estratificació creuada, amb ripples i laminació paral·lela, i també amb activitat *burrowing*.

Darrerament, i des d'un punt de vista regional, es pot considerar que les formacions evaporítiques de la zona sud-est dels Pirineus (Sans et al. 1996), Beuda, Cardona i Barbastre, són en una zona triangular de la deformació pirinenca. A la part central d'aquesta zona triangular, la formació salina de Cardona, d'edat bartoniana i priaboniana, està fallada i plegada en direcció longitudinal de NE-SO.

La formació Cardona ha estat estudiada des del punt de vista estratigràfic, sedimentològic i petrogràfic (del Sant et al. 2000, Pueyo 1975; Ayora et al. 1995; Rosell i Pueyo 1997) i més recentment també ha estat estudiada estructuralment (Sans et al. 1996; Miralles i Sans 1996; Sans 1999). És important considerar els treballs sobre el diapir de Cardona realitzats per Wagner et al., 1971 i Riba, 1983. És per tot això que es pot resumir que la formació Cardona a la zona central de la conca (Pueyo 1975) té una espessor de 300 m, i es poden considerar tres unitats: *a*) una base d'anhidrita; *b*) una unitat baixa de sal, i *c*) una unitat superior de sal amb sals potàssiques. Aquesta formació de Cardona té per mur la formació Igualada d'origen marí i per sostre les formacions continentals de Barbastre i Castelltallat (lacustres) amb la formació Solsona i Artés (ventall al·luvial).

3.1. Reconeixement geològic

Sèrie	Estatge	Formació	Unitat (milions d'anys)	Espessor (m)	Característiques sedimentàries
Oligocè	Catià	Fm. Solsona Fm. Artés		2.000-2.500	Formacions de gresos que han estat interpretades com a dipòsits de ventalls al·luvials terminals (Sáez 1987). Els materials de les serralades costaneres catalanes han originat la fm. Artés, i els del Pirineus els de la fm. Solsona (que han passat cap al sud a la fm. Súria de gresos).
			28,7 Ma		
	Rupelià	Fm. Castelltallat		100-200	Margues i limolites lacustres.
Eocè	Priaborià	Fm. Barbastre i Súria	34,0 Ma 37,2 Ma	30	Guixos amb intercalacions de lutites lacustres, que passen cap a dalt i cap al SO a gresos (Sáez 1989).
	Bartonià	Fm. salina de Cardona	Unitat salina superior	50-100	Unitat de carnal·lita: 40-80 m de capes (10 cm a 2 m) de carnal·lita, alternades amb fines capes d'halita i argila.
			Unitat salina inferior	130-200	Unitat de silvinita: dues capes enriquides de silvinita amb una capa de metre de sal. Capas decimètriques d'halita blanques i grises (Busquets et al. 1985).
			Anhidrita basal	4-5	Laminacions d'anhidrita.
		Fm. Igualada		500	Margues blavoses.

Taula núm. 17. Resum de l'estratigrafia de l'entorn de Cardona (a partir de Pueyo 1975; Ayora 1995; Busquets et al. 1985; Sans 1999)

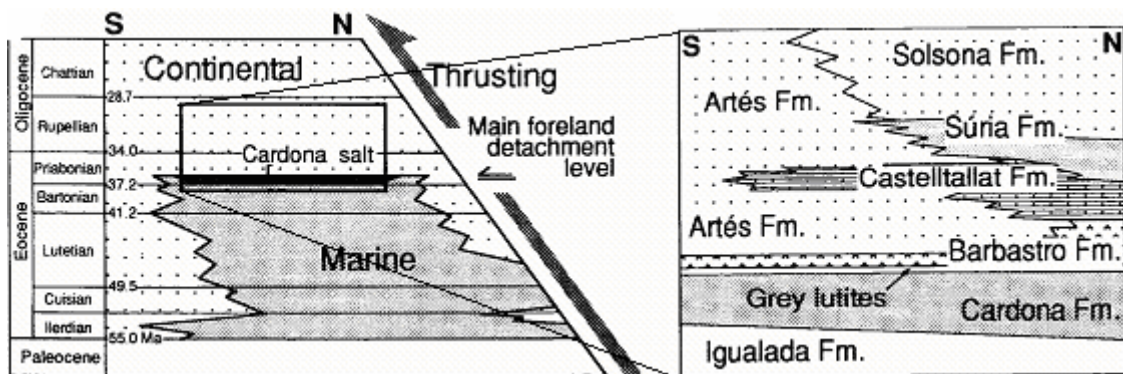


Figura núm. 27. Distribució sedimentària (Maura 1999)

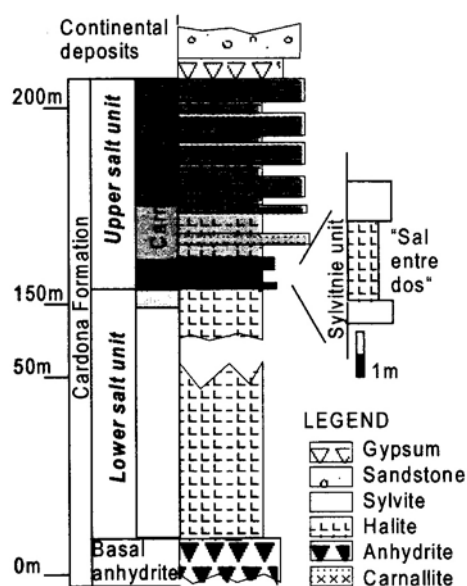


Figura núm 28. Sèrie estratigràfica de la formació Cardona (Maura 1999)

Dins el Quaternari es poden diferenciar els materials del Pleistocè i els de l'Holocè. Dintre del Pleistocè, i corresponent al que en altres llocs forma la terrassa alta, aquí a la vall Salada hi ha la formació detrítica que es troba principalment rodejant la Muntanya de Sal formant un collar (IGME, full 330) a manera d'un sinclinal perifèric format per uns 20 m de margues de color gris verdós, en alguns llocs salobres, amb passades de sorres i graves monogèniques, amb algunes lleties de guixos i òxids de ferro. A la part inferior també es troba una capa de blocs de gresos locals que arriben a estar en cotes superiors al seu origen, cosa que demostra l'aixecament que hi ha hagut darrerament. Tot aquest conjunt està aixecat amb el contacte amb la sal, amb cabussaments radials i divergents. A les parts baixes de la vall Salada s'hi troben dipòsits argil·lollimosos amb bretxes de gresos i cristalls de guixos a les parts més fondes en contacte amb la sal. Segurament són el resultat de la dissolució de la sal i el transport per gravetat del *cap rock*. Al costat i per sobre del riu Cardener hi ha una sèrie de terrasses formades per graves, sorres i llims poligènics que es poden diferenciar per la seva altura respecte a la base que forma el Cardener.

L'Holocè està format pels materials poligènics formats principalment per graves i sorres del nivell del riu, així com pels materials que formen molts dels camps de conreu.

3.1.3. Estructura geològica

Les característiques estructurals de les zones influenciades per materials salins ha estat estudiada anteriorment (Alsop et al., Burlinga 1996, de las Cuevas 1997, del Santo 2000, Gloyana i Reynolds 1961, Lankreijer i Balen 1992, Llorente, Marco, Miralles i Sans 1996, Roedder 1984, Sans et al. 1996 i Sutherland i Cave 1987), però ha estat tractat profundament per Maura Sant (1999) en la seva tesi denominada From thrust tectonics to diapirism.

Concretament, els estrats de la zona de Cardona pertanyen estructuralment a la zona triangular sud-pirinenca (Sans 1999). Aquesta zona (vegeu figura núm. 29 i 32) té l'origen en la deformació de l'orogen, que fa que hi hagi un desenganxament de la base quan aquest és dúctil. Els límits d'aquesta zona triangular són: al nord, en l'encavalcament frontal dels Pirineus, i oposat hi ha el retroencavalcament o estructura vergent cap al rerepaís que es desenvolupa en el

3.1. Reconeixement geològic

front de deformació. Tots aquests moviments són facilitats principalment per formacions evaporítiques en la base.

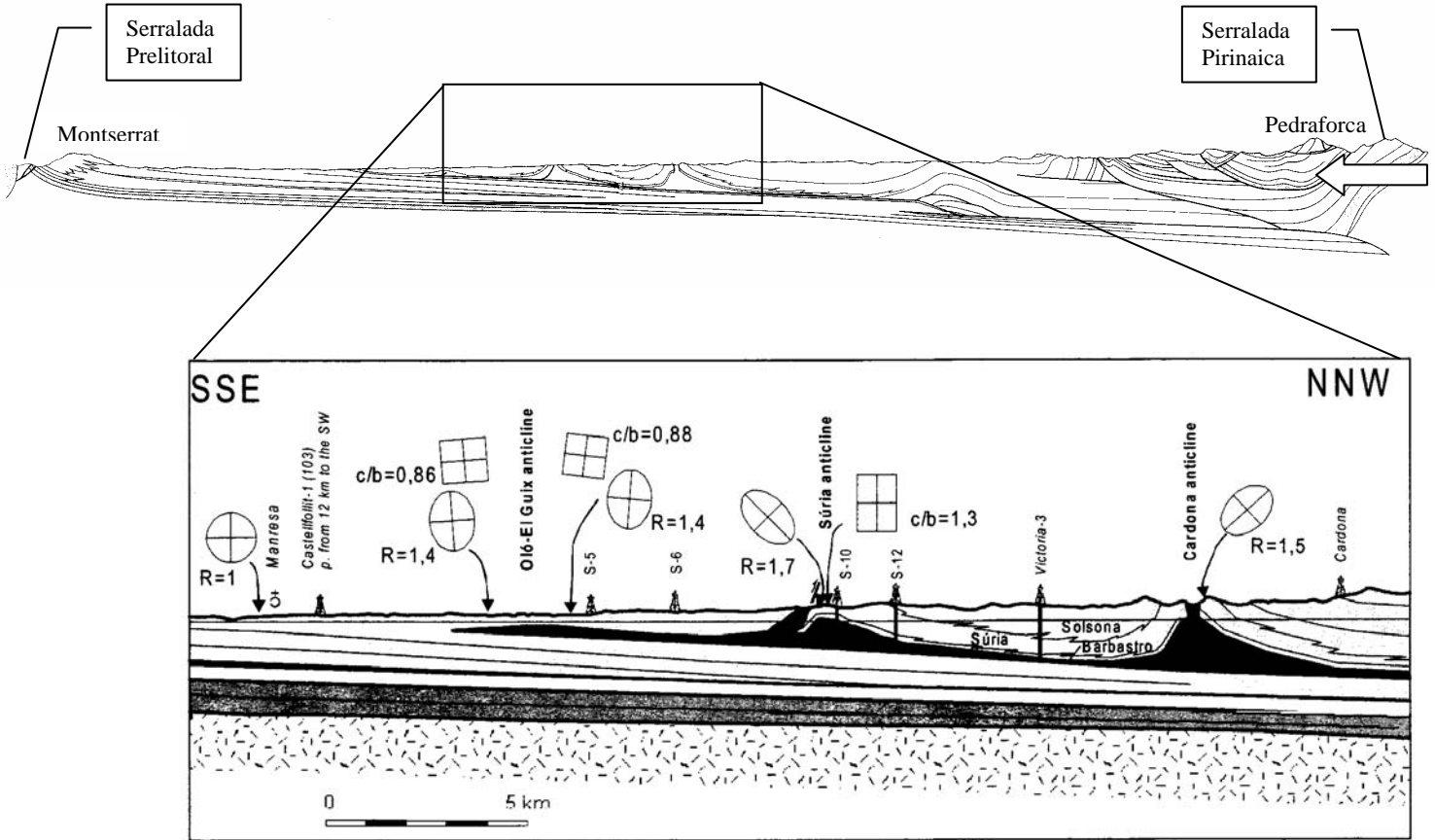


Figura núm. 29. Estructura esquemàtica des dels Pirineus fins a Montserrat (adaptat a partir d'*Història natural dels Països Catalans* i Sans 1999)

En aquesta zona triangular (vegeu figura núm. 30) hi ha tres sistemes de plects principals (extret de Sans 1999 i original de Vergés et al. 1982): *a*) sistema en la formació de Beuda, situat al NE del triangle i amb una direcció dels plects desenganxats de NO-SE; *b*) sistema en la formació Barbastro, amb plects desenganxats en direcció ONO-ESE i situats al SO del triangle, i *c*) sistema en la formació Cardona amb plects desenganxats de direcció NE-SO i emplaçats a la zona central del triangle.

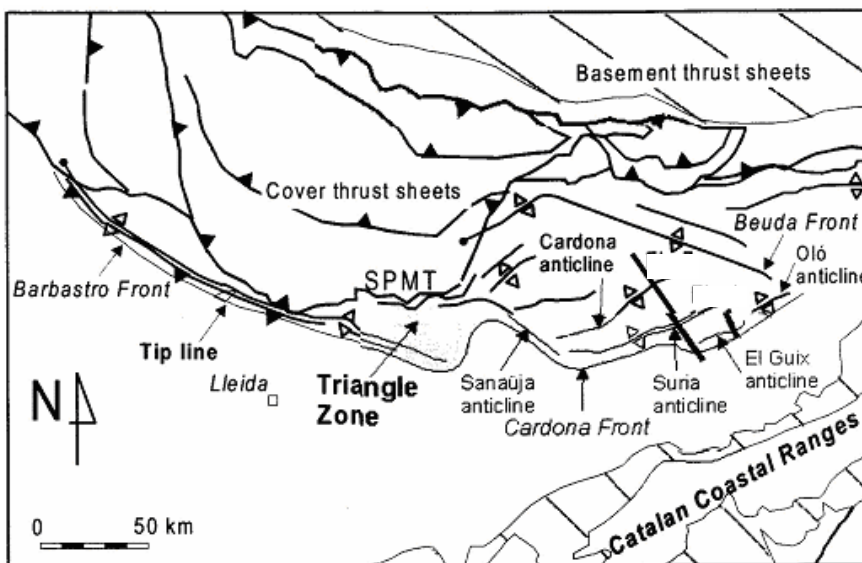


Figura núm. 30. Zona triangular sud-pirinenca. A la zona central es troba l'anticlinal de Cardona (Sans 1999)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

El sistema de plects en la formació Cardona són, de nord a sud: Vilanova de l'Aguda, l'Estany, Cardona, Súria i el Guix - Santa Maria d'Oló.

Concretament a l'entorn de Cardona hi ha tota una estructura de diferents eixos de plegaments (Wagner 1971, Riba 1970), tots orientats de NE-SO: començament de l'anticlinal de Cardona, sinclinal intermedi i final de l'anticlinal de Pinós.

L'anticlinal de Cardona comença a la zona de la bòfia Gran, segueix per tota la vall Salada i acaba al NE a la zona de Serrateix tot aplanant-se les seves xarneres. L'anticlinal de Pinós ve del SO, de la zona de Torà, convertit en un plegament falla que evoluciona als voltants de Llardella a una falla encavalcant, i passa al NE a un anticlinal que arriba la zona de Cardona gairebé amb la xarnera sud subvertical. Pel que fa al sinclinal intermedi entre l'anticlinal de Cardona i el de Pinós, solament té una llargada d'uns 3,5 km, coincidint gairebé amb la vall Salada. Els dos anticlinals vergeixen al SE. La xarnera NO de l'anticlinal de Cardona solament té un cabussament d'entre 25 ° i 35 °.

A la zona de la vall Salada s'hi troben diferents falles (vegeu figura núm. 31 i 115 en el subapartat 3.2.1), la majoria de les quals són perpendiculars als eixos dels plegaments. La més destacada és la falla de Cardona, de direcció NE-SO, que és una falla en tecla de piano erosionada (IGME, full 330). Altres falles de direcció NNE-SSE es poden observar a la rodalia del castell de Cardona.

També tenen un interès especial la falla del mig del riu Cardener per sota l'assut de derivació cap al túnel, de direcció NE-SO, per on s'ha obert pas el riu, i la falla N-S que hi ha a la costa oriental del castell. Aquesta falla va des de la formació salina de la vall Salada fins al riu abans del meandre de la Creu Roja. Així mateix, es creu que hi pot haver una altra falla al mig de la llera del Cardener, davant la Coromina, de direcció E-O (vegeu la figura núm. 115 en el subapartat 3.2.1).

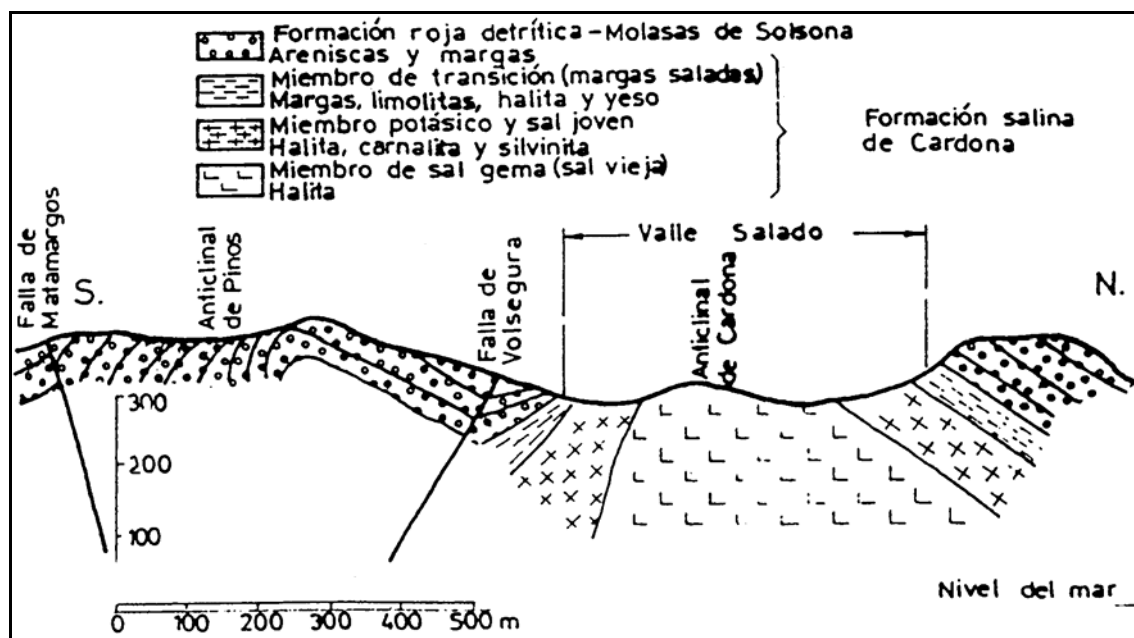


Figura núm. 31. Anticlinals i falles en l'entorn de la vall Salada (Mines de Cardona)

3.1. Reconeixement geològic

Les condicions estructurals, minerals i d'erosió en els anticlinals esdevenen bàsiques per a la formació d'estructures més complexes com són els diapirs. Així, quan es troben nivells interns dúctils i tot el paquet d'estrats rep una compressió lateral, s'esdevé un desenganxament; aquest fenomen s'accentua quan existeix migració dels materials dúctils dels sinclinals cap als anticlinals (Sans 1999).

Segons la definició de diapir (extret de Sans 1999 i original de Jackson i Talbot 1991) com l'estructura geològica en la qual la sal perfora la cobertura, de tots els anticlinals desenganxats sobre la formació de Cardona només l'anticlinal de Cardona ha estat perforat per la sal i mostra un clar diapir (Sans 1999). Així doncs, encara que a l'anticlinal sud de Súria la sal estigui molt a prop de la superfície, no es pot dir que sigui un diapir, ja que el mecanisme en aquest cas ha estat el d'un transport de la sal al bloc superior per un encavalcament.

L'estructura halocinètica que ha adquirit la formació salina es caracteritza per la deformació a manera de plectes. D'acord amb descripcions de S. W. Carey i de Santiago Ramos, si s'admet que la cobertura suprasalina que forma l'anticlinal de Cardona és un plec de primer ordre, s'observen a l'interior de les mines altres plectes anticlinals de segon ordre, més de cinc de visibles, formats per nuclis de sal vella o de mur i separats per silvina i carnal·lita en els sinclinals estirats i pinçats cap avall, cosa que indica un desenganxament del substrat de la sal i una migració del conjunt. Aquests plegaments de segon ordre tenen un paral·lelisme amb el de primer ordre, és a dir, estan orientats també de SO-NE. Les deformacions geològiques salines i el comportament plàstic diferencial de la silvinita o la carnal·lita respecte de l'halita han originat bosses molt buscades per a l'explotació de la mena.

Les característiques del diapir de Cardona des d'un punt de vista mecànic i geomètric són les següents: on el diapir de Cardona perfora l'anticlinal, el total d'escurçament en l'anticlinal és del 23 % (Sans et al. 1999). Així mateix, es pot resumir (Sans 1999) que es tracta d'un diapir que ha perforat uns 300 m de cobertura a prop de la xarnera anticlinal i que té una planta el·líptica amb l'eix llarg paral·lel a l'eix del plec sobre el qual es desenvolupa, cosa que indica que s'ha format sota esforços tectònics. Té un coll curt i un bulb petit d'uns 60-80 m d'alçada (figura núm. 32 i 145 del subapartat 4.1).

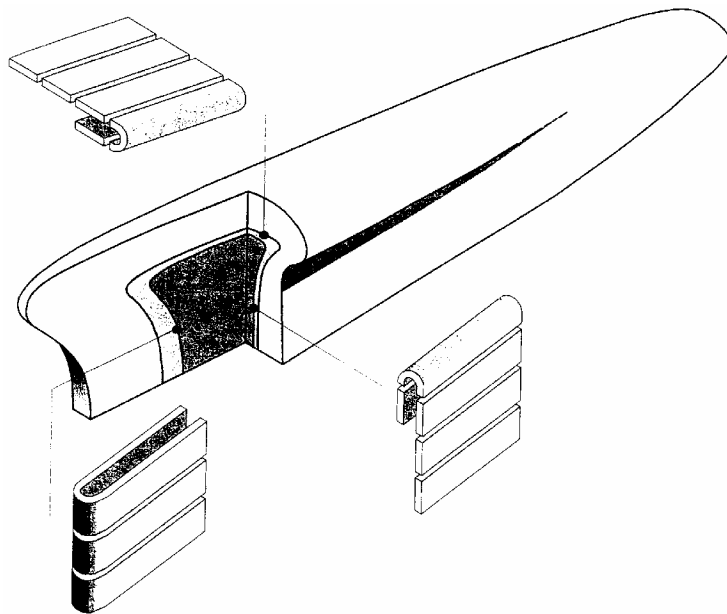


Figura núm. 32. Esquema de l'estructura externa del diapir de Cardona (Sans 1999)

Capítol 3. RESULTATS HIDROGEOLÒGICS

La relació de les sals amb els altres materials detrítics del Terciari no és normal en tot el diapir, ja que nombroses perforacions obliqües i altres sondejos realitzats ho corroboren. En el pou María Teresa i la galeria que va de la Minilla a aquest pou, tallen al contacte mecànic de la sal amb les margues grises de la base del Terciari suprajacent, mitjançant un pla de cabussament de 45 ° al sud. La secció geològica de Wagner et al. (1971) mostra aquesta disposició (vegeu la figura núm. 33).



Llegenda:





-  Bretxa salina (*cap rock*)
-  Cobertora pliopleistocena
-  Oligocè
-  Sal gemma i guix

Figura núm. 33. Secció geològica del diapir de Cardona, on es pot veure la Muntanya de Sal i la Minilla amb les estructures que l'envolten (a partir de Wagner 1971)

En relació amb el temps que fa que es va produir l'aflorament de la sal del diapir de Cardona, es pensa (Sans 1999) que fa aproximadament uns 2 Ma.