



Universitat de Girona

CONTRIBUCIÓ AL CONEIXEMENT DE VARIABLES GEOAMBIENTALS EN L'ÀMBIT DE LA COSTA BRAVA (GIRONA)

Christian GEIS NIELSEN

ISBN: 84-689-3754-1

Dipòsit legal: Gi.1074-2005

<http://hdl.handle.net/10803/7652>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



Universitat de Girona

**Departament de Ciències Ambientals
Àrea de Geodinàmica Externa**

TESI DOCTORAL

**Contribució al coneixement de variables
geoambientals en l'àmbit de la Costa Brava
(Girona)**

CHRISTIAN GEIS NIELSEN
Llicenciat en Ciències Ambientals

2005

Contribució al coneixement de variables geoambientals en l'àmbit de la Costa Brava (Girona)

Memòria realitzada per CHRISTIAN GEIS
NIELSEN amb la codirecció dels professors Dr.
Rogelio Linares Santiago i Dr. Carles Roqué Pau,
per optar al grau de DOCTOR EN CIÈNCIES
AMBIENTALS per al Universitat de Girona.

CHRISTIAN GEIS NIELSEN

Dr. Rogelio Linares Santiago

Dr. Carles Roqué Pau

“On sigui que la vida els meni, tots els qui han tingut
el privilegi de néixer i créixer a la vora del
Mediterrani hi resten sempre profundament,
sovint apassionadament, afeccionats”.

(Yvette Barbaza. *El paisatge humà de la Costa Brava.*)

Agraïments

La recerca d'aquesta tesi doctoral ha estat realitzada des de l'Àrea de Geodinàmica Externa, del departament de Ciències Ambientals de la facultat de Ciències de la Universitat de Girona. Per aquest motiu vull expressar en primera instància el meu agraïment a aquest grup de recerca en general per haver-me acollit, i en especial al Dr. Lluís Pallí, per haver-me facilitat tots els mitjans disponibles per dur a terme el treball de laboratori i de camp.

Als professors Dr. Rogelio Linares Santiago i Dr. Carles Roqué Pau (per ordre alfabètic), codirectors d'aquesta tesi doctoral. Els agraeixo especialment els seus consells, correccions, ajuda i la valuosa dedicació que m'han ofert en tot moment sense la qual hauria resultat impossible portar a terme aquesta recerca.

També a tots els companys que formen part del grup de recerca, he de donar gràcies pels consells, els favors, la comprensió i aquests anys de paciència per escoltar-me en els moments difícils.

També voldria expressar el meu agraïment a les persones i institucions que m'han ajudat en el procés de la realització d'aquesta recerca; en especial atenció a Jordi Couso, Telm Zaragoza (†) i en general a l'Ajuntament de Tossa de Mar, Helga Nuell, Carles Bayés, Jordi i Lluís Sala, Ferran Orduña i al SIGTE en general, als Arxius Municipals de Palamós i Palafrugell, a l'Arxiu de El Punt, al Consorci de la Costa Brava, i a altres que em pugui deixar en el tinter i no per això menys importants.

Finalment vull deixar escrit l'agraïment més sincer a la meva família i amics per les hores sacrificades i la seva comprensió. Molt especialment a la Sílvia per la paciència i ànims per poder fer aquest dur procés d'aprenentatge que aquí presento.

Gràcies a tots perquè he tingut la sort de poder comptar amb el vostre ajut.

Girona, Abril de 2005

"Amb el suport del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació i del Fons Social Europeu".

SUMARI

Sumari

A.- PRESENTACIÓ I FINALITAT DE LA TESI	1
1.- Introducció	5
1.1.- Els territoris litorals	5
1.1.1.- Trets medioambientals definitoris de les àrees litorals	5
1.1.1.1.- Zonacions de les àrees litorals	8
1.1.1.2.- Zona Costanera. Marc jurídic i competencial	10
1.1.2.- La gestió i planificació de les àrees litorals	15
1.1.2.1.- Àmbit general	15
1.1.2.2.- Àmbit particular: El cas de la Costa Brava	19
1.1.2.3.- La importància de la consideració dels factors geològics	23
1.2.- Processos i recursos geològics. Una visió des de la Geologia Ambiental	24
1.2.1.- Concepte de Geologia Ambiental	24
1.2.1.1.- El concepte de procés i recurs geològic	27
1.2.1.2.- Desenvolupament històric i tendències actuals	29
1.2.1.3.- Continguts de la Geologia Ambiental	33
1.2.1.4.- Mètodes i tècniques	35
1.2.1.4.1.- Documentació prèvia	36
1.2.1.4.2.- Cartografia o documentació basada en el treball de camp	37
1.2.1.4.3.- Estudi territorial	38
1.2.1.4.4.- Seguiment de dades ambientals	40
1.2.1.4.5.- Presentació de les dades	42
2.- Situació i ús del territori	45
2.1.- El sistema conca hidrogràfica com a unitat territorial - ambiental d'estudi i de gestió	45
2.2.- Marc territorial	47
2.2.1.- Situació	47
2.2.2.- Localització	47
2.3.- Ocupació del territori	49
3.- Objectius i Metodologia	53
3.1.- Finalitat de la tesi	53
3.1.1.- Enfocament de la recerca	53
3.1.2.- Objectius	54
3.2.- Mètode de treball	55
3.2.1.- Principals etapes	55
3.2.2.- Elaboració i tractament informàtic de les dades. L'eina SIG	58
3.2.2.1.- Sistemes d'Informació Geogràfica	58
3.2.2.1.1.- Formats bàsics	60
3.2.2.1.2.- Formats avançats	61

3.2.2.1.3.- Avantatges i inconvenients de l'ús del SIG	63
3.2.2.1.4.- Avaluació d'errors	63
3.2.2.2.- Principals tasques i anàlisis fetes	65
3.2.2.3.- Sortida gràfica. Models tridimensionals.	69
B.- VARIABLES ESTÀTIQUES I CLIMÀTIQUES	71
4.- Litoestructura	73
4.1.- Emmarcament regional	74
4.2.- Materials del substrat cristal·lí	75
4.2.1.- Els granitoides	75
4.2.2.- Les roques metamòrfiques	77
4.3.- Formacions superficials	77
4.3.1.- La sedimentació fluvio-torrencial	77
4.3.1.1.- Dipòsits de ventalls al·luvials	78
4.3.1.2.- Dipòsits al·luvials	78
4.3.2.- Dipòsits de vessant	79
4.3.3.- Productes d'alteració	79
4.4.- Estructura	81
5.- Hidrometeorologia	83
5.1.- Règim de precipitacions	84
5.1.1.- Procedència de les dades presentades	84
5.1.2.- Directrius bàsiques de la precipitació en l'àmbit d'estudi	86
5.1.3.- Episodis de màximes precipitacions	92
5.1.3.1.- Precipitacions màximes per a períodes de retorn de 10, 25, 50, 100 i 500 anys.	92
5.1.3.2.- Duració i intensitat de les precipitacions que originen les avingudes	97
5.2.- Altres factors climàtics	100
5.2.1.- Règim de temperatures	100
5.2.1.1.- Variacions mensuals de les temperatures. Oscil·lacions mensuals	100
5.2.1.2.- Variacions termomètriques espacials.	102
5.2.2.- Evapotranspiració	103
5.2.3.- Règim de vents	105
6.- Morfologia	107
6.1.- Característiques geomorfològiques generals	107
6.2.- Anàlisi morfomètrica	109
6.2.1.- Xarxa de drenatge	110
6.2.2.- Morfometria fluvial de les conques	113
6.2.2.1.- Propietats lineals	114
6.2.2.1.1.- L'ordre de la conca, Shreve's Magnitude i la relació de bifurcació	114

6.2.2.1.2.- Longitud dels trams, la relació de longitud_____	119
6.2.2.1.3.- Equivalent vectorial_____	121
6.2.2.2.- Propietats superficials_____	122
6.2.2.2.1.- Superfície de la conca. Densitat de drenatge. Constant de manteniment del canal. Distància d'escolament_____	122
6.2.2.2.2.- La forma de la conca. Relació d'elongació. Índex de compacitat. Circularitat._____	125
6.2.2.2.3.- Coeficient de torrencialitat_____	126
6.2.2.3.- Propietats de relleu_____	127
6.2.2.3.1.- Amplitud de relleu. Relació de relleu. Coeficient de rugositat_____	127
6.2.2.3.2.- Diagrama de freqüències altimètriques. Integral hipsomètrica._____	129
6.2.2.3.3.- Pendent mitjà ponderat. Perfils longitudinals_____	135
6.2.3.- Aspectes més rellevants_____	138
C.- PROCESSOS: DINÀMICA FLUVIOTORRENCIAL_____	143
7.- Accions denudatives_____	147
7.1.- Erosió natural_____	148
7.1.1.- Erosió hídrica_____	149
7.1.1.1.- Risc d'erosió hídrica_____	150
7.1.1.1.1.- Mesures indirectes: USLE_____	152
7.1.1.1.2.- Mesures directes_____	161
7.1.1.2.- Avaluació dels resultats_____	167
7.2.- Erosió antròpica_____	174
7.2.1.- Erosió per camins forestals_____	174
7.2.1.1.- Descripció morfològica dels efectes erosius en els camins_____	175
7.2.1.2.- Mesures indirectes_____	177
7.2.1.3.- Mesures directes_____	179
7.2.1.4.- Avaluació dels resultats_____	180
8.- Processos de transport-sedimentació_____	185
8.1.- Significat geològic de les avingudes_____	185
8.2.- Característiques hidrològiques - hidràuliques_____	187
8.2.1.- Estimació dels cabals màxims d'avingudes_____	188
8.2.1.1.- Mètodes directes segons dades de cabals observats_____	188
8.2.1.1.1.- Envoltants_____	189
8.2.1.1.2.- Corbes empíriques. Relació cabal específic - àrea - període de retorn_____	190
8.2.1.2.- Mètodes indirectes_____	193
8.2.1.2.1.- Fórmules empíriques_____	193
8.2.1.2.2.- Mètodes hidrometeorològics. Mètode Racional_____	194

8.2.1.2.2.1.- Temps de concentració_____	195
8.2.1.2.2.2.- Intensitat de pluja màxima diària per a diferents períodes de retorn_____	197
8.2.1.2.2.3.- Escolament superficial_____	200
8.2.1.2.3.- Mètode d'aforament postriuada_____	211
8.3.- Resultats_____	214
8.3.1.- Zonificació d'àrees inundables i seccions_____	221
8.3.2.- Punts Crítics_____	226
9.- Dominis morfodinàmics_____	227
9.1.- Domini morfodinàmic 1 (cursos incisius)_____	229
9.2.- Domini morfodinàmic 2 (valls de fons pla)_____	231
9.3.- Domini morfodinàmic 3 (rampes laterals)_____	239
9.4.- Domini morfodinàmic 4 (planes al·luvials i deltaïques)_____	245
9.5.- Domini morfodinàmic 5 (superfícies d'aplanament)_____	261
D.- RECURSOS_____	263
10.- Aigües subterrànies_____	267
10.1.- Principals unitats aquíferes_____	267
10.1.1.- Emmarcament hidrogeològic_____	267
10.1.2.- Cartografia hidrogeològica_____	268
10.1.2.1.- Roques_____	268
10.1.2.2.- Formacions superficials_____	273
10.1.3.- Característiques hidrogeològiques_____	274
10.1.3.1.- Unitat granítica_____	275
10.1.3.2.- Unitat sedimentària_____	282
10.1.3.3.- Unitat metamòrfica_____	294
10.2.- Hidrodinàmica_____	295
10.3.- Aprofitament de les aigües subterrànies_____	299
10.3.1.- Quantitat i qualitat del recurs_____	299
10.3.2.- Problemàtiques derivades de l'explotació_____	304
10.3.2.1.- Variacions del quimisme_____	305
10.3.2.2.- Subsidiència del terreny_____	314
10.3.2.2.1.- Subsidiència unidimensional deguda als descens del nivell piezomètric_____	316
10.3.2.2.2.- Situació a la zona d'estudi_____	324
11.- Roques industrials_____	331
11.1.- Principals unitats geomíneres_____	332
11.1.1.- Emmarcament geomíner_____	332
11.1.1.1.- Estat actual_____	333
11.1.2.- Cartografia de roques industrials_____	334

11.2.- Conflictos d'usos. Establiment de marcs tècnics de referència	348
11.2.1.- La problemàtica ambiental	348
11.2.2.- Marc de gestió. L'exemple del Ridaura	349
12.- Georecursos litorals	367
12.1.- Emmarcament geomorfològic	368
12.1.1.- El modelat de la façana litoral	368
12.1.2.- La dinàmica actual a la costa	368
12.2.- Els despreniments com a condicionats d'ús	371
12.3. Antropització de la sorra de la platja	392
12.3.1.- Dipòsits antròpics	392
12.3.2.- Valoració del risc potencial	399
E.- CONCLUSIONS	407
13.- Conclusions	409
14.- Bibliografia	417
Annexes	443

RELACIÓ DE FIGURES, TAULES I GRÀFIQUES

1.- INTRODUCCIÓ

Figura 1.1.- Anàlisi integrat del Sistema Litoral (Barragán, 2003)	8
Figura 1.2.- Àmbits diferenciats de les àrees litorals (Barragán, 2003. Adaptat)	10
Figura 1.3.- Domini Públic Maritimoterrestre i franjes de protecció (Segons Casso, 2002. Modificat)	13
Figura 1.4.- Esquema de planificació integrada sostenible aplicat a l'Estratègia per a la gestió integrada de zones costaneres a Catalunya (DCB, 2004)	18
Figura 1.5.- Àrees qualificades com a sòl urbà i/o apte per urbanitzar, i sòl no urbanitzable del sector estudiat	20
Taula 1.1.- Resum d'aspectes o problemes a estudiar dins de la Geologia Ambiental (Cendrero, 1980)	34

2.- SITUACIÓ I ÚS DEL TERRITORI

Figura 2.1.- Localització de l'àrea d'estudi i les principals subconques estudiades	48
Taula 2.1.- Evolució del sòl urbà (hectàrees) a la Costa Brava durant els anys 1957, 1974 i 1993 (Nuell, 2002)	50
Figura 2.2.- Usos i cobertes del sòl dels municipis de la Costa Brava durant els anys 1956, 1980 i 2003. (Nogué, 2004. Modificat)	51
Figura 2.3.- Exemple de la gran pressió urbanística. Panoràmica dels anys 50 i 2003 de la badia de Palamós fins Torre Valentina (Calonge) (Nogué, 2004)	52

3.- OBJECTIUS I METODOLOGIA

Figura 3.1.- Comparació del resultat d'una visió tridimensional de la plana final de la riera de Calonge (en primer pla) i el massís de les Gavarres (al centre) amb GRID i amb TIN	62
Figura 3.2.- Exemple de la funcionalitat de WaterLayer. Detall 3D de la zona de Tossa de Mar.	67
Figura 3.3.- Exemple de la funcionalitat d'un Hiperlink o Hot Link per a una secció hidràulica de la conca de Calonge	68

4.- LITOESTRUCTURA

Figura 4.1.- Unitats de relleu del nord-est de Catalunya (segons Pallí & Roqué, 1998)_____74

Figura 4.2.- Paisatge tipus de sòcol granític (.segons Larsson, 1985)_____80

5.- HIDROMETEOROLOGIA

Taula 5.1. Relació d'observatoris meteorològics consultats, amb el total d'anys mostrals i coordenades UTM_____85

Figura 5.1.- Situació dels observatoris meteorològics consultats_____85

Figura 5.2. Precipitacions mitjanes anuals de Catalunya i detall de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atlas Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)_____87

Taula 5.2.- Precipitació mitjana mensual (mm/mes) per a les estacions meteorològiques consultades_____88

Gràfica 5.1.- Exemple de la distribució mensual de la precipitació. Estació meteorològica de Sant Feliu de Guíxols_____88

Figura 5.3. Règim pluviomètric estacional de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atlas Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)_____89

Gràfica 5.2.- Exemple de l'anàlisi de les quantitats mitjanes diàries per mesos. Estació meteorològica de Sant Feliu de Guíxols_____91

Taula 5.3.- Dades de precipitació màxima diària (mm/24h) per a T=10, 25, 50, 100 i 500 anys dels diferents observatoris meteorològics consultats_____95

Taula 5.4.- Dades de diverses fonts de precipitacions màximes diàries (mm/24hores), segons distribució de Gumbel, a la conca de la riera de Tossa per a diferents períodes de retorn_____96

Gràfica 5.3.- Comparativa de precipitacions màximes diàries a la conca de Tossa per a diferents períodes de retorn_____97

Figura 5.4.- Situació de les principals subconques de les rieres estudiades_____99

Taula 5.5.- Intensitats horàries de la tempesta a partir de la precipitació màxima diària en funció de la longitud i pendent dels tálvegs de les diferents subconques_____99

Figura 5.5. Temperatures mitjanes anuals de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atlas Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)_____100

Figura 5.6. Amplitud tèrmica anual de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atles Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)	101
Figura 5.7. Temperatura mitjana dels mesos de gener i juliol de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atles Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)	102
Figura 5.8. Evapotranspiració potencial i regions tèrmiques de Catalunya (dades segons l'Atles Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)	103
Gràfiques 5.4 i 5.5.- Evapotranspiració i balanç hídric de Sant Feliu de Guíxols i Begur, segons Thorntwaite, per a un emmagatzematge d'aigua al sòl de 100 mm (reproducció de Sabiron et al., 1998. Centre Meteorològic de Catalunya)	104
Gràfica 5.6.- Evapotranspiració i balanç hídric de Palafrugell, segons Thorntwaite, per a un emmagatzematge d'aigua al sòl de 100 mm (reproducció de Lledó & Roqué, 2005)	104
Figura 5.9.- Freqüència relativa de les direccions dels vents al cap de Begur (Sabiron et al., 1998)	105
 6.- MORFOLOGIA	
Figura 6.1.- Disposició dels doms granítics (en negre) respecte la xarxa de fractures principals (línies discontinües) del sector de Solius. Els doms emergeixen de la superfície d'aplanament modelada en sauló (en puntejat a la figura) (Roqué & Pallí, 1996)	108
Taula 6.1.- Ordres i nombre de canals de les conques principals	114
Figura 6.2.- Mapa de la xarxa hidrogràfica de la zona estudiada. Classificació per ordres	115
Taula 6.2.- Ordres i nombre de canals de les conques principals	116
Taules 6.3 - 6.7.- Resum de la classificació per ordres de les rieres estudiades i la relació de bifurcació	117
Gràfica 6.1.- Relació del nombre amb l'ordre dels segments (a partir d'Strahler (1981) i dades pròpies)	118
Taules 6.8 - 6.12.- Resum de les longituds mitjanes i la relació de longitud per ordres de les rieres estudiades	119
Gràfica 6.2.- Relació de la longitud amb l'ordre dels segments (a partir d' Strahler (1981) i dades pròpies)	120
Taula 6.13.- Longituds dels cursos principals, longitud de Horton i equivalents vectorials	121
Figura 6.3.- Representació dels cursos principals (L) i les longituds de Horton (Lc) de les principals conques estudiades	122

Taula 6.14.- Longituds totals de les xarxes de drenatge (ΣL), superfícies de les conques (A), densitats de drenatge (D), constants de manteniment del canal (Cm) i distàncies d'escolament (de) de les conques principals estudiades_____	124
Taula 6.15.- Longituds de Horton (Lc), perímetre (P), relació d'elongació (Re), índex de compacitat (Ic) i circularitat (Cc) de les conques principals estudiades_____	126
Taula 6.16.- Coeficient de torrencialitat (Ct) de les conques principals estudiades_____	127
Taula 6.17.- Amplitud de relleu (Ah), relació de relleu (Rr) i coeficient de rugositat (Cr) de les conques principals estudiades_____	129
Gràfiques 6.3 a 6.7.- Diagrames de freqüències altimètriques de les conques principals estudiades._____	129-131
Taula 6.18.- Alçades mitjanes ponderades, en metres sobre el nivell del mar, de les conques principals estudiades_____	131
Taula 6.19.- Coeficient d'asimetria de les freqüències altimètriques de les conques principals estudiades_____	133
Gràfica 6.8.- Integrals hipsomètriques de les conques principals estudiades amb el respectiu valor, en tant per ú, de la integració_____	134
Figura 6.4.- Valors de les integrals hipsomètriques de les conques principals estudiades_____	135
Taula 6.20.- Pendents mitjans de les conques principals estudiades_____	136
Figura 6.5.- Pendents de l'àmbit d'estudi, obtinguts aplicant la funció slope a l'MDT i reclassificats en 5 classes: suau (0-5°), moderat (5-10°), bastant fort (10-15°), fort (15-25°) i molt fort (>25°)_____	136
Gràfica 6.9.- Perfils longitudinals de les principals rieres estudiades_____	137

7.- PROCESSOS EROSIUS

Gràfica 7.1.- Percentatges d'erosió a Catalunya i a l'Estat espanyol (inapreciable: <12 tn/ha/any, dèbil i moderada: 12 -25 tn/ha/any i severa: >25 tn/ha/any). Extret d'Ortiz, 2002_____	148
Figura 7.1.- Esquema metodològic del mapa de risc potencial del projecte CORINE Land Cover (http://www.epa.ie)_____	151
Taula 7.1.- Conversió a diferents unitats de taxa d'erosió mitjana assumint la densitat mitjana del sòl en 1,3 g/cm ³ _____	153
Figura 7.2.- Mapa de sòls de l'àmbit d'estudi_____	154
Figura 7.3.- Diagrama triangular de Shepard_____	155

Taula 7.2.- Nomenclatura per nomenar les fraccions secundàries d'un sòl (segons classificació DIN 4022)	155
Taula 7.3.- Determinació del factor K de la USLE segons la tipologia de sòl i contingut en matèria orgànica (segons Stone & Hilborn, 2000)	156
Taula 7.4.- Determinació de la longitud del vessant l en funció del pendent (segons Wischmeir & Smith, 1978 i Yang, 2000)	157
Taula 7.5.- Determinació de la constant m en funció del pendent (segons Wischmeir & Smith, 1978)	157
Taula 7.6.- Determinació del factor C de la USLE en funció de l'ús del sòl de 1997 (segons Watanasak, 1978; Srikhajon et al., 1984; Mongkolsawat et al., 1994; Ogawa et al., 1997; Stone & Hilborn, 2000; Bell & Bryant, 2002 i Ortiz, 2002)	158
Taula 7.7.- Determinació del factor P de la USLE en funció de l'ús del sòl de 1997 (segons Watanasak, 1978; Mongkolsawat et al., 1994; Ogawa et al., 1997; Stone & Hilborn, 2000; Bell & Bryant, 2002 i Ortiz, 2002)	159
Figura 7.4.- Model de l'anàlisi de la USLE mitjançant SIG. Segons Ogawa et al. (1997), modificat.	160
Figura 7.5.- Il·lustració de superposició de les capes R, K, L, S, C i P. Cas de la zona de Sant Feliu de Guíxols.	160
Figura 7.6.- Situació de les parcel·les amb agulles d'erosió (sector de Can Batllia (314-100), can Samada (306-109), i Molí de Més Amunt i can Rosselló (310-103))	161
Taula 7.8.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 1.	163
Figura 7.7.- Estació 1. (1.-Vista del pinacles de l'estació 1A (27/10/1990). (2.-Visió en conjunt de l'estat actual de la parcel·la 1B i (3.-detall dels claus trobats (20/02/2004)	163
Taula 7.9.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 2.	164
Figura 7.8.- Estació 2. (1.-Visió en conjunt de l'estat actual de la parcel·la i (2.-detall del clau número 7 trobat (20/02/2004)	164
Taula 7.10.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 3.	165
Figura 7.9.- Estació 3. (1.-Visió en conjunt de l'estat actual de la parcel·la i (2.-detall del clau número 3 trobat (20/02/2004)	165
Taula 7.11.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 4.	165
Figura 7.10.- Estació 4. (1.-Visió de la parcel·la al 27/10/1990. (2.-Visió de l'estat actual de la parcel·la (20/02/2004)	166
Taula 7.12.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 6	166

Figura 7.11.- Estació 6. (1.-Vista del claus (13/03/1992). (2.-Visió en conjunt de l'estat actual de la parcel·la i (3.-detall del clau número 9 trobat in-situ i (4.-d'un altre caigut (20/02/2004)	167
Taula 7.13.- Taula resum de l'àrea i percentatges per a cada interval, segons Stone & Hilborn (2000) de risc d'erosió	168
Gràfica 7.2.- Histograma de distribució del nombre de píxels 30x30 metres de cada interval d'erosió potencial (tolerable: 0-3; baix: 3-5; moderat: 5-10; alt: 10-15 i sever > 15 tn/ha/any)	168
Taula 7.14.- Taxes d'erosió hídrica laminar i totals anuals per a les principals conques estudiades	169
Figura 7.12.- Bloc diagrama del risc d'erosió a la zona de Sant Feliu de Guíxols	170
Figura 7.13.- Sòcol aflorant als xaragalls del tallafoc de Tossa de Mar	174
Figura 7.14.- Xaragall d'1,05 m en el camí forestal paral·lel al tallafoc de Tossa de Mar	175
Figura 7.15.- Esquema dels diferents tipus d'erosió més comuns associats als camins forestals (segons Wemple et al., 2001)	176
Figura 7.16.- Situació de les subconques estudiades per l'erosió de camins forestals (usos del sòl de Nuell, 2002)	178
Taula 7.15.- Percentatges de la superfície ocupada per a tipologies d'ús del sòl de la subconca del Molí Cremat i de Can Patxot	178
Taula 7.16.- Taula resum de les característiques de les subconques estudiades	180
Figura 7.17.- Localització de la xarxa de drenatge i de camins de les subconques del Molí Cremat (riera de Calonge) i de can Patxot (Ridaura)	180
Taula 7.17.- Taula resum de l'àrea i percentatges per a cada interval de risc d'erosió potencial per els camins de la subconca Molí Cremat	181
Gràfica 7.3.- Histograma de distribució del nombre de píxels 0,5x0,5 metres de cada interval d'erosió potencial per els camins de la subconca Molí Cremat (tolerable: 0-3; baix: 3-5; moderat: 5-10; alt: 10-15 i sever: >15 tn/ha/any)	181
Taula 7.18.- Taula resum de l'àrea i percentatges per a cada interval de risc d'erosió potencial per els camins de la subconca de Can Patxot	182
Gràfica 7.4.- Histograma de distribució del nombre de píxels 0,5x0,5 metres de cada interval d'erosió potencial per els camins de la subconca Can Patxot (tolerable: 0-3; baix: 3-5; moderat: 5-10; alt: 10-15 i sever: >15 tn/ha/any)	182
Taula 7.19.- Tones potencials d'erosió laminar per any per al total de la conca i el total dels camins, calculades mitjançant la USLE a les subconques del Molí Cremat i de Can Patxot	183

Taula 7.20.- Taxes en tn/ha/any i mm/any d'erosió laminar total de la conca amb i sense camins i taxa només per a camins, calculades mitjançant la USLE a les subconques del Molí Cremat i de Can Patxot ___ 183

8.- PROCESSOS DE TRANSPORT I SEDIMENTACIÓ

Figura 8.1.- Laminació de l'ona de crescuda (segons Ayala et al., 1987)_____	186
Gràfica 8.1.- Corba envoltant d'avingudes màximes observades al vessant de les conques internes. Segons Junta d'Aigües, 1994._____	189
Gràfica 8.2.- Corba de la màxima avinguda estimada a les vessants de les conques internes. Segons Junta d'Aigües, 1994._____	190
Gràfica 8.3.- Relació Cabal-Període de retorn, segons Heras (1976). Vessants de les conques internes. Segons Junta d'Aigües, 1994._____	191
Gràfica 8.4.- Relació Cabal-Període de retorn, segons Heras (1976). Vessants de les conques internes per a rius torrencials. Segons Junta d'Aigües, 1994._____	191
Taula 8.1.- Cabals per a la conca de la riera de Tossa segons la gràfica "Relació Cabal-Període de retorn, segons Heras (1976). Vessants de les conques internes, en Junta d'Aigües, 1994._____	192
Taula 8.2.- Cabals per a la conca de la riera de Tossa segons la gràfica "Relació Cabal-Període de retorn, segons Heras (1976). Vessants de les conques internes per a rius torrencials, en Junta d'Aigües, 1994._____	192
Taula 8.3.- Temps de concentració addicional, tc, per a cada conca estudiada_____	197
Figura 8.2.- Mapa d'isoietes de precipitació màxima diària per a T=100 anys_____	199
Taula 8.4.- Mitjanes ponderades de la precipitació màxima diària per a T=50, 100 i 500 anys de les principals conques estudiades_____	200
Figura 8.3.- Hidrogrames característics segons diferents tipologies d'ocupació del territori_____	202
Taula 8.5.- Estimació del paràmetre Poi o llindar d'escolament parcial. Segons Junta d'Aigües (1994), Boté (1996) i Montalbán et al. (2003). Modificat._____	205
Figura 8.4.- Mapa d'unitats homogènies del llindar d'escolament parcial (Poi). Escenari amb usos del sòl de l'any 1957._____	208
Figura 8.5.- Mapa d'unitats homogènies del llindar d'escolament parcial (Poi). Escenari amb usos del sòl de l'any 1974_____	209
Figura 8.6.- Mapa d'unitats homogènies del llindar d'escolament parcial (Poi). Escenari amb usos del sòl de l'any 1993._____	209

Figura 8.7.- Mapa d'unitats homogènies del llinar d'escolament parcial (Poi). Escenari futur amb usos del sòl de l'any 1993 i sòl urbanitzable esgotat.	210
Figura 8.8.- Mapa d'unitats homogènies del llinar d'escolament parcial (Poi). Escenari amb Low Impact Development (LID)	210
Taula 8.6.- Valors del coeficient de rugositat per a diferents tipus de superfície. Segons Chow (1959 i 1994) i Seve (1998). Modificat.	214
Taula 8.7.- Comparació de cabals màxims entre CENSA (1999) i pròpies	215
Taula 8.8.- Comparació de dades de precipitació diària màxima, per a diferents períodes de retorn, emprats en CENSA (1999) i pròpies	216
Taula 8.9.- Comparació de dades de cabals màxims, per a diferents períodes de retorn, mitjançant la corba IDF i el mètode racional emprant les mateixes dades pluviomètriques	216
Taula 8.10.- Dades de precipitació màxima diària en mm, per a diferents períodes de retorn, de les 3 estacions meteorològiques més properes a la conca del Ridaura	217
Gràfiques 8.5 a 8.9.- Cabals màxims per a T=500 anys, de diferents seccions de les conques de Lloret, Tossa, Ridaura, Calonge i Aubi	218-219
Figura 8.9.- Zona Fluvial. Segons Agència Catalana de l'Aigua	222
Figura 8.10.- Sistema hídric. Segons Agència Catalana de l'Aigua	223
Figura 8.11.- Zona inundable. Segons Agència Catalana de l'Aigua	224

9.- DOMINIS MORFODINÀMICS

Figura 9.1.- Model d'evolució del paisatge proposat per Davis (1899) (Gutiérrez, 2001)	228
Figura 9.2.- Model d'evolució del canal inestabilitzat (reproducció d'USDA, 1998)	228
Figura 9.3.- Esquema del domini morfodinàmic 1	229
Taula 9.1.- Superfície i percentatge respecte la conca principal del domini morfodinàmic 1	230
Figura 9.4.- Esquema del domini morfodinàmic 2	231
Taula 9.2.- Superfície i percentatge respecte la conca principal del domini morfodinàmic 2	232
Figura 9.5.- Situació de les subconques amb els respectius ventalls al·luvials estudiats de la conca de la riera de Tossa	233

Gràfica 9.1.- Àrea subconca versus àrea del dipòsit	233
Figura 9.6.- Localització dels perfils de Prospecció Sísmica a la conca de la riera de Tossa	235
Figura 9.7.- Resultats de la prospecció sísmica per refracció al pla de Sant Benet (Tossa de Mar)	237
Figura 9.8.- Resultats de la prospecció sísmica per refracció al pla de can Samada (Tossa de Mar)	239
Figura 9.9.- Esquema del domini morfodinàmic 3	239
Taula 9.3.- Superfície i percentatge respecte la conca principal del domini morfodinàmic 3	240
Gràfica 9.2.- Àrea subconca versus àrea del dipòsit	242
Figura 9.10.- Situació de les subconques amb els seus respectius ventalls al·luvials considerats	242
Gràfica 9.3.- Àrea subconca versus pendent de l'apex del dipòsit	243
Figura 9.11.- Seccions geoelectriques a les immediacions de Santa Cristina d'Aro (conca del Ridaura) (Trilla et al., 1980)	244
Figura 9.12.- Construcció de marges artificials. Exemple de la riera de l'Aubi	246
Figura 9.13.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca de l'Aubi	246
Figura 9.14.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca de la riera de Calonge	247
Figura 9.15.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca del Ridaura	247
Figura 9.16.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca de la riera de Tossa	248
Figura 9.17.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca de la riera de Lloret	248
Taula 9.4.- Superfícies ocupades per les àrees endorreiques litorals, àrees endorreiques interiors i les zones inundables	249
Taula 9.5.- Superfície i percentatge respecte la conca principal del domini morfodinàmic 4	249
Figura 9.18.- Temporal de llevant a la platja de Lloret. Inundació dels carrers. Taponament total de la desembocadura de la riera de Lloret. (11/11/2001) (fotos de l'Àrea de Seguretat Civil. Ajuntament de Lloret)	250

Figura 9.19.- Zones afectades per inundacions en el tram baix-mitjà de la conca del Ridaura els anys 1957 i 2000. Segons dades pròpies i de ACA (2002)_____251

Figura 9.20.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre l'abocament de can Garriga (de L1-Can Garriga a L7-Can Garriga)_____252

Figura 9.21.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre l'abocament del revolt posterior a can Garriga (de L1-Revolt a L6-Revolt)_____253

Figura 9.22.- Mapes d'isoconductivitat aparent mesurada amb l'EM31 (de L1-Can Garriga a L7-Can Garriga) i perfil hidràulic a l'abocament de terres a la riera de Tossa davant de can Garriga_____254

Figura 9.23.- Mapes d'isoconductivitat aparent mesurada amb l'EM31 (de L1-Revolt a L6-Revolt) i perfil hidràulic a l'abocament de terres a la riera de Tossa al revolt posterior de can Garriga_____254

Taula 9.6.- Capacitat d'emmagatzematge de les àrees endorreiques litorals, àrees endorreiques interiors, àrees de desbordament i capacitat total d'aquestes_____255

Taula 9.7.- Dades històriques, del 1984 al 1998, d'inundacions a la conca de l'Aubi. Selecció de les dates amb una precipitació >50 mm en 24 hores. Dades de precipitació de l'estació de Palamós (* Palafrugell) (dades de l'arxiu d'El Punt, Arxiu Municipal de Palafrugell i Arxiu Municipal de Palamós)_____256

Figura 9.24.- Comparació dels registres piezomètrics S-19 (part mitja de la conca) i S-03 (part baixa de la conca i nivell aquífer superficial) amb la precipitació (mm/24h) de l'estació meteorològica de Palamós. Les dates assenyalades corresponen a les inundacions històriques (dades piezomètriques extretes d'ACA, 2004 i dades històriques de l'arxiu d'El Punt, Arxiu Municipal de Palafrugell i Arxiu Municipal de Palamós)_____257

Figura 9.25.- Model en planta i seccions idealitzades dels processos que intervenen en el rebliment sedimentari de la maresma -lagoon-_____258

Figura 9.26.- Secció de detall dels rebliments sedimentaris del lagoon del tram final de l'Aubi _____260

10.- AIGÜES SUBTERRÀNIES

Taula 10.1.- Superfícies ocupades per les diferents unitats en el sistema aquífer corresponent_____275

Taula 10.2.- Superfície, gruixos màxims i percentatge que el sauló representa de la unitat granítica i de tota la conca._____276

Figura 10.1.- Exemple de l'estudi detallat d'alguns del talussos en mantells d'alteració de granitoides a la zona de la conca de la riera de Tossa._____278

Figura 10.2.- Bloc diagrama de l'evolució geomorfològica dels granitoides (segons Linares et al., 2000b. modificat)_____279

Figura 10.3.- Sistema hidrogeològic de l'Aubi. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002_____	284
Figura 10.4.- Sistema hidrogeològic de la riera de Calonge. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002_____	285
Figura 10.5.- Sistema hidrogeològic del Ridaura. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002_____	286
Figura 10.6.- Sistema hidrogeològic de la riera de Tossa. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002_____	287
Figura 10.7.- Sistema hidrogeològic de la riera de Lloret. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002_____	288
Figura 10.8.- Geometria de la paleovall de la Riera de Tossa_____	290
Figura 10.9.- Secció longitudinal del subsòl en les immediacions de la desembocadura de la riera de Tossa_____	292
Figura 10.10.- Distribució de materials segons permeabilitat moderada-alta o baixa en el tram mitjà-baix del sistema Ridaura. (Elaborat a partir de dades de REPO (1969); Trilla et al. (1980); EGGA (inèdit) i pròpies) _____	294
Figura 10.11.- Model de circulació subterrània global proposat per la zona d'estudi. _____	296
Taula 10.3.- Estimació dels recursos (Dades extretes de Trilla et al., 1980; REPO, 1969; ACA, 2002b; SGDGOH, 1983 i Font & Muñoz, 2003)_____	300
Gràfica 10.1.- Evolució mensual de la demanda total d'aigua potable consumida en el sistema aquífer del Ridaura juntament amb el volum transvasat del Ter i l'extret del mateix aquífer (Sala & Sala, 2003) ____	300
Gràfica 10.2.- Volum total anual d'aigua extreta de l'aquífer del Ridaura per al període 1968-1979 i 1997-2003. (Trilla et al., 1980 i dades del Consorci de la Costa Brava)_____	301
Figura 10.12.- Evolució del nivells piezomètrics en el sistema Ridaura i situació dels piezòmetres utilitzats (Elaborada a partir de dades facilitades per ACA, 2004)_____	302
Figura 10.13.- Evolució del contingut en clorurs als aquífers de l'Aubi i de Calonge per al període 1968-2003. Dades de REPO (1969) i ACA (2004)._____	308
Figura 10.14.- Evolució del contingut en clorurs a l'aquífer del Ridaura per al període 1968-2003. Dades de REPO (1969) i ACA (2004)._____	309
Figura 10.15.- Evolució del contingut en ferro total als aquífers de l'Aubi i de Calonge per al període 1995-2003. Dades de ACA (2004)_____	312

Figura 10.16.- Evolució del contingut en ferro total a l'aqüífer del Ridaura per al període 1995-2003. Dades de ACA (2004)	313
Figura 10.17.- Exemples de deformacions del terreny i edificacions que podrien tenir l'origen en canvis tensionals ocasionats per l'explotació d'aigües subterrànies	316
Figura 10.18.- Comportament geomecànic dels agregats de partícules. Principi de les tensions efectives. Elaboració pròpia a partir d'esquemes extrets de Lambe & Whitman (1984) y Waltham (1994)	317
Figura 10.19.- Interacció física entre les fases mineral i intersticial. a) Estat hidrostàtic: l'aigua no circula. b) Petit flux d'aigua. c) sifonament o ebullició. Extret de Lambe & Whitman (1984).	318
Figura 10.20.- Analogia hidromecànica per il·lustrar la distribució de càrregues en la consolidació. a) Exemple físic. b) Analogia hidromecànica; estat inicial. c) Càrrega aplicada amb la vàlvula tancada. d) El pistó descendeix al anar escapant l'aigua. e) Equilibri sense més escapament d'aigua. f) Transferència gradual de càrrega. Extret de Lambe & Whitman (1984).	319
Figura 10.21.- Drenatge d'un aquítard i procés de compactació (reproducció de Galloway et al., 1999)	322
Figura 10.22.- Consolidació edomètrica. Esquema de cèl·lules edomètriques basats en Bowles (1992). Dades experimentals i fotografies de l'Àrea de Geodinàmica Externa de la UdG	323
Figura 10.23.- Evolució del nivells piezomètrics en el sistema Ridaura. (Dades facilitades per ACA, 2004)	325
Figura 10.24.- Evolució del nivells piezomètrics en el sistema Aubi. (Dades facilitades per ACA, 2004)	326
Figura 10.25. Zones amb una susceptibilitat elevada a la subsidència del terreny	327
Figura 10.26.- Hidrocompactació deduïda de la variació dels registres de màxims piezomètrics (Dades facilitades per ACA, 2004)	328
Figura 10.27.- Pou del paratge de Mas Patxot descalçat com a conseqüència de la inestabilitat del marge de la riera provocada pel canvi en les condicions del nivell freàtic	329

11.- ROQUES INDUSTRIALS

Taula 11.1.- Resum dels expedients d'activitats extractives de l'àmbit d'estudi. Dades de DMA (2005) i pròpies.	333
Gràfica 11.1.- Importància relativa per tipus d'explotació, segons el percentatge de l'àrea del perímetre oficial d'explotació, de les activitats extractives de l'àmbit d'estudi. Segons dades pròpies i de DMA (2005).	334

Figura 11.1.- Gràfic de Miller. Correlació entre el resultat del martell d'Schmidt i la resistència a la compressió simple. Segons González de Vallejo et al. (2002)	336
Taula 11.2.- Valors màxim i mínim de la resistència a la compressió simple (MPa) mesurats amb el martell d'Schmidt dels grans grups de formacions rocoses aptes per explotar com a àrids naturals de trituració. Valors mitjans de densitats aparents segons Sanger & Glen (2003) i mesures pròpies.	337
Figura 11.2.- Exemple de fitxa tècnica. Pedrera visitada dins la categoria del granits leucocràtics de gra gros	339
Taula 11.3.- Resum de les variables de base emprades per a l'anàlisi dels àrids naturals granulars	350
Figura 11.3.- Formacions geològiques quaternàries associades a la conca hidrogràfica de la riera del Ridaura. Mapa 1	351
Figura 11.4.- Àmbit territorial comprès per l'aquífer de la riera del Ridaura. Mapa 2	351
Figura 11.5.- Inventari de punts d'aigua. Mapa 3. Ridaura	353
Figura 11.6.- Situació piezomètrica corresponent al període juny-juliol de 2002. Mapa 4. Ridaura	353
Figura 11.7.- Xarxa hidrogràfica. Mapa 5. Ridaura	354
Figura 11.8.- Zones inundables en situacions hidrològiques de mitjana intensitat. Mapa 6. Ridaura	354
Figura 11.9.- Zones de protecció per a pous d'abastament municipal, ponts i obres d'infraestructura fluvial. Mapa 7. Ridaura	355
Figura 11.10.- Zones humides, àrees endorrèiques interiors i sistemes costaners litorals. Mapa 8. Ridaura	356
Figura 11.11.- Àrees potencialment explotables com a àrids naturals. Mapa 9. Ridaura	357
Figura 11.12.- Àrees qualificades com a sòl urbà i/o apte per urbanitzar, i sòl no urbanitzable. Mapa 10. Ridaura	358
Figura 11.13.- Àrees que contenen àrids naturals amb qualitat natural constatada. Mapa 11. Ridaura	359
Figura 11.14.- Àrees potencialment explotables excloses les superfícies afectades per una franja de protecció de l'aquífer de 0,5; 1; 1,5; 2 i 2,5 m. Mapa 12. Ridaura	360
Figura 11.15.- Àrees potencialment explotables exclosos els trams fluvials que queden inclosos en àrees inundables corresponents a situacions hidrològiques de mitjana intensitat. Mapa 13. Ridaura	361
Figura 11.16.- Àrees potencialment explotables, excloses les superfícies afectades per una franja de protecció de l'aquífer (0,5; 1; 1,5; 2 i 2,5 m) i per inundacions de mitjana intensitat. Mapa 14. Ridaura	362
Figura 11.17.- Zonació d'àrees pel desenvolupament d'activitats extractives. Mapa 15. Ridaura	364

12.- GEORECURSOS LITORALS

Figura 12.1.- Esquematzació del procés d'erosió que fan les onades als penya-segats_____	369
Figura 12.2.- Fotografies del despreniment de roques de la cala Curcullada, avui Senyor Ramon (TM Santa Cristina) (1 i 2.- Diari de Girona (26/8/2003); (3.- El Punt (26/8/2003))_____	371
Figura 12.3.- Camí de ronda de Calella, sector 1 (març de 2004)_____	373
Figura 12.4.- Plànol 1 d'erosió litoral. Camí de ronda (sectors 1 a 5)_____	374
Figura 12.5.- Camí de ronda de Calella, sector 2 (març de 2004)_____	375
Figura 12.6.- Camí de ronda de Calella, sector 3 (1.- visió general; (2.- detall dels blocs caiguts; (3.- detall dels despreniments (març de 2004). (4.- detall de les mesures correctores de la fotografia anterior (desembre 2004); (5.- detall dels blocs caiguts (juliol de 2004). (6.- sanejament de la zona i mesures correctores efectuades (desembre de 2004)_____	376
Figura 12.7.- Camí de ronda de Calella, sector 4 (1.- visió general; (2.- detall dels blocs inestables (març de 2004)_____	377
Figura 12.8.- Camí de ronda de Calella, sector 5, platja del Golfet. (1.- extrem sud; (2.- detall d'arbre i blocs inestables; (3 i 4.- meitat sud i (5.- extrem nord (març de 2004). (6.- blocs caiguts i arbres talats de l'extrem nord i (7 i 8.- malla protectora de l'extrem sud (agost de 2004) _____	378
Figura 12.9.-Camí de ronda de Calella, entre els sectors 6 i 7. Caiguda d'un pi sobre el camí de ronda (desembre de 2004)_____	379
Figura 12.10.-Camí de ronda de Calella, sector 7. (1.- visió general i (2.- detall de blocs inestables (març de 2004). (3.- eixamplament de les diàclassis pel creixement i penetració de les arrels_____	380
Figura 12.11.- Plànol 2 d'erosió litoral. Camí de ronda (sectors 6 i 7)_____	381
Figura 12.12.- Camí de ronda de Calella, sector 8, accés a la punta dels Forcats (març de 2004)_____	382
Figura 12.13.- Camí de ronda de Calella, sector 9 (març de 2004)_____	382
Figura 12.14.- Plànol 3 d'erosió litoral. Camí de ronda (sectors 8 a 12)_____	383
Figura 12.15.- Camí de ronda de Calella, sector 10. (1i 2.- despreniments recents; (3.- talús inestable sota el camí de ronda; (4.- detall dels despreniments sota el camí de ronda; (5.- escales d'accés a la cala del Castellet d'en Niell, i (6.- detall d'inestabilitat induïda per erosió d'onades (març de 2004)_____	384
Figura 12.16.- Camí de ronda de Calella, sector 11. (1.- arbre i blocs inestables i (2.- detall (març de 2004)_____	385

Figura 12.17.- Camí de ronda de Calella, sector 12. (1.- visió general i (2.- detall dels despreniments a la base del camí de ronda (març de 2004)	386
Figura 12.18.- Camí de ronda de Calella, sector 13. (1 i 2.- Detalls de la inestabilització induïda per les arrels (desembre de 2004)	387
Figura 12.19.- Plànol 4 d'erosió litoral. Camí de ronda (sector 13)	388
Figura 12.20.- Plànol 5 d'erosió litoral. Camí de ronda (sector 14)	389
Figura 12.21.- Camí de ronda de Calella, sector 14, escales d'accés a la platgeta de Sant Roc (març de 2004)	390
Figura 12.22.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre sòcol i abocament a la pedrera Treumal de Calonge (L1, L2 i L3)	396
Figura 12.23.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre sauló a la urbanització Treumal de Calonge (L4)	396
Figura 12.24.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre l'abocament del Vizcondado de Cabanyes de Calonge (L6)	397
Figura 12.25.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre sòcol al Vizcondado de Cabanyes de Calonge (L7)	397
Gràfica 12.1.- Corbes granulomètriques dels dipòsits fluvials de la riera de Tossa	401
Taula 12.1.- Contingut de material antròpic (>2mm) a les mostres de la riera de Tossa	402
Figura 12.26.- Abocador de runes clausurat a la riera d'Aiguafina, conca de la riera de Tossa	403
Gràfica 12.2.- Corbes granulomètriques de la Platja Gran de Tossa de Mar	404
Taula 12.2.- Contingut de material antròpic (>2mm) a les mostres de la Platja Gran de Tossa de Mar	406
Figura 12.27.- Localització dels punts de mostreig, resums de resultats dels assajos granulomètrics i dades màximes de percentatge de material antròpic per a les mostres de la riera de Tossa	406

A.- PRESENTACIÓ I FINALITAT DE LA TESI

1.- Introducció

2.- Situació i ús del territori

3.- Objectius i metodologia

La tesi doctoral desenvolupada s'emmarca dins del camp de les Ciències Ambientals i s'orienta al coneixement dels processos i recursos geològics de cara a la planificació i a l'ordenació del territori. Com a zona d'estudi s'ha seleccionat la Costa Brava meridional.

En aquest bloc inicial es pretén donar a conèixer les particularitats ambientals o trets definitoris dels territoris litorals en el conjunt de la mediterrània occidental, i presentar breument, les eines i instruments (metodologies) que des del camp de la Geologia Ambiental permeten abordar aquestes problemàtiques.

Posteriorment, es mostra la zona d'estudi i la seva idiosincràsia ambiental. El coneixement de la realitat geoambiental del territori constitueix el punt de partida de la nostra recerca.

Finalment són exposats els objectius establerts, l'organització i les metodologies de treball i les principals tècniques seguides.

1.- INTRODUCCIÓ

1.1.- Els territoris litorals

1.1.1.- Trets medioambientals definitoris de les àrees litorals

Aquesta tesi doctoral té com a objecte territorial d'estudi el que tradicionalment se n'ha denominat Costa Brava Meridional. De totes maneres quan es parla de la Costa Brava és freqüent que d'entrada es pensi tan sols en un territori ran de mar caracteritzat pels penya-segats, els quals han donat lloc al nom d'aquesta costa, les platges i indiscutiblement el moviment turístic. Per aquests motius ens hem vist obligats a deixar clars alguns conceptes bàsics que definiran i descriuran exactament l'àmbit territorial estudiat. En qualsevol cas, i de forma genèrica, caldria advertir que encara no existeix una nomenclatura clara per definir, de del punt de vista de l'ordenació integrada, les àrees litorals (Barragán, 2003).

D'entrada les paraules *costa* i *litoral* sovint es tracten indistintament tot i que presenten matisos: en els textos legals *costa* es vincula a una franja estreta situada a costat i costat del contacte terra-mar (com es veurà més endavant, la Llei de Costes per exemple), mentre que el terme *litoral* s'associa a definicions geogràfiques de superfícies més extenses i sobretot en direcció continental.

La definició que es proposa en Barragán (2003) sobre àrea litoral és la de *franja d'amplada variable, resultant del contacte interactiu entre la Natura i les activitats humanes que es desenvolupen en àmbits que comparteixen l'existència o la influència del mar*. Aquest mateix autor apunta que en aquesta definició, com en la d'altres autors transcrites en aquell treball, es constaten les idees que existeix una interacció entre processos naturals i activitats humanes, que és necessari reconèixer altres facetes del caràcter multidimensional de l'espai i dels recursos litorals (punts de vista físic, ecològic, social, econòmic, cultural, jurídic, entre d'altres) i que els límits d'aquest territori sorgeixen de l'ús de múltiples criteris. És precisament aquesta última idea, la definició dels seus límits, la qüestió principal d'aquest apartat i que pot esdevenir de gran transcendència. Alguns autors neguen una delimitació i definició universal o acadèmica de l'àrea litoral i proposen que els límits es basin en la finalitat i objectius de cada cas. D'aquesta manera es reafirmen en una posició totalment pragmàtica (Kay & Alder, 1999).

Pel que fa a la terminologia es sol parlar de *zona costanera (coastal zone)* i *àrea litoral (littoral area)*. Tot i que sovint tractat de forma indistinta, quan parlem de superfícies delimitació de les quals s'hagi establert amb criteris juridicoadministratius, objecte d'una intervenció ordenada amb contorns sovint regulars i poligonals, s'hauria de fer servir l'expressió *zona costanera*. En canvi, pel que fa a l'ús d'*àrea litoral* s'hauria d'identificar amb una realitat geogràfica en què les formes i dimensions estan més lligades a fenòmens naturals i humans. En aquest cas els contorns solen ser molt irregulars (Barragán, 2003 i Kay & Alder, 1999).

Fent referència al que s'ha exposat, en aquest tesi doctoral s'ha fet servir sobretot el concepte d'àrea litoral per a la definició de l'àmbit d'estudi. Aquesta delimitació s'ha realitzat seguint la divisòria d'aigües de les conques hidrogràfiques de les principals rieres que drenen la Costa Brava Meridional i fins al límit amb la línia de costa ja que només hem estudiat la part continental d'aquesta àrea litoral. Tenim clar que qualsevol iniciativa eficient d'ordenació d'una àrea litoral ha de contemplar tant l'àmbit terrestre com el marí, en conseqüència, la nostra anàlisi del territori continental s'ha d'inserir en aquest context. La presentació i descripció d'aquests límits es mostren en el capítol següent.

Tenint clar alguns aspectes formals sobre l'àrea territorial que ens ocupa, caldria esmentar les bases essencials de la seva peculiaritat i importància, sempre deixant clar el seu

caràcter diferenciat com s'han tractat sempre els espais urbans, rurals o de muntanya. Hi ha tres característiques de les àrees litorals que les fan singulars i diferents (Barragán, 2003):

- Des del **punt de vista físic i natural**, conté medis diferents com són la litosfera, atmosfera i hidrosfera continental i salada; registra un dinamisme inusual i un funcionament complex (interaccions i canvis biològics, geomorfològics i químics en períodes curts de temps); conté ecosistemes amb les majors taxes de productivitat i diversitat del planeta (esculls de coral, maresmes, entre d'altres); són fràgils i vulnerables; són zones bàsiques per a la reproducció de certes espècies de gran valor ecològic i comercial; existeixen unitats ambientals de defensa davant riscos naturals (tempestes, inundacions, tsunamis, erosió...); el caràcter dinàmic de les aigües marines, i la gran mobilitat de la major part de recursos vius associats (aus, peixos i mamífers marins migratoris), fan del litoral un àmbit realment singular.
- Des del **punt de vista econòmic i productiu**, és un espai escàs i socialment molt desitjat. Registra una densitat molt elevada ja que (dades del 1990) el 60% de la població mundial viu en una franja de 60 km de la costa i s'estima que l'any 2100 aquesta xifra serà del 75%. Les raons d'aquest fenomen són l'existència d'importants recursos naturals, clima benigne per les menors amplituds tèrmiques, fertilitat dels sòls, planes quaternàries aptes per a l'aprofitament agrícola o paisatges de gran atractiu, entre d'altres.
- Des del **punt de vista jurídic i administratiu**, caldria destacar una sèrie de singularitats com són la naturalesa pública de la major part de les àrees maritimoterrestres i marines, el caràcter públic dels recursos biòtics i abiòtics, la inusual convergència d'administracions territorials i sectorials en la gestió dels interessos públics, l'elevat nombre d'interessos privats diferents que sovint són incompatibles, la diversitat de mecanismes i instruments de gestió establerts, o la dificultat per trobar fórmules que tinguin èxit per ordenar aquest espai i els seus recursos (Figura 1.1).

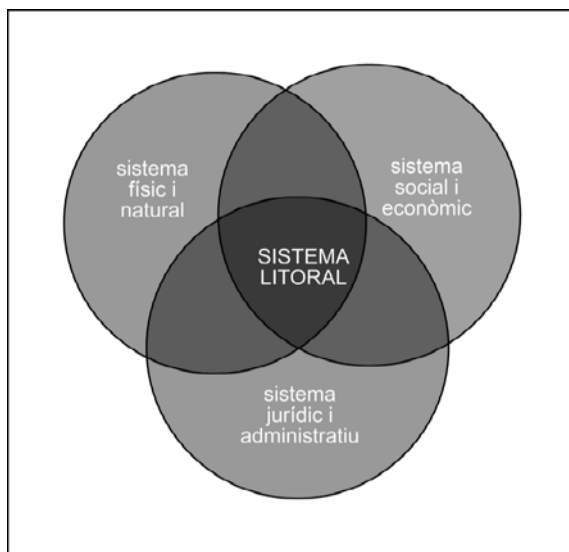


Figura 1.1.- Anàlisi integrat del Sistema Litoral (Barragán, 2003)

La relació i el caràcter interactiu d'aquests punts de vista es pot esquematitzar de la següent manera: els recursos naturals constitueixen la base del sistema productiu, mentre que l'aparell jurídicoadministratiu estableix les relacions entre aquells i aquest.

1.1.1.1.- Zonacions de les àrees litorals

Pel que fa a la definició geogràfica dels diferents àmbits diferenciats de les àrees litorals, que permet després una millor anàlisi d'aquestes, es solen basar en les característiques naturals i criteris derivats dels sistemes jurídicoadministratius del litoral. El Programa de Medi Ambient de les Nacions Unides (UNEP, 1995) en fa la següent (Figura 1.2):

- a) Aigües oceàniques (*ocean waters*). És la part marina més àmplia i sol estar relacionada amb les 200 milles nàutiques de la Zona Econòmica Exclusiva (ZEE). També es solen fer servir les referències de la isòbata 200 m. S'associa, quan és possible, a la part oceànica de la plataforma continental i és considerada una àrea de vital importància per certs recursos naturals.
- b) Aigües litorals (*coastal waters*). Des del punt de vista administratiu la seva amplada pot variar des de les 3 milles nàutiques als 14 m de profunditat, però es sol identificar amb les 12 milles nàutiques del Mar Territorial i les Aigües Interiors. És una zona de gran transcendència per determinats ecosistemes marins i pel control de la qualitat de les aigües.
- c) Espai intermareal (*intertidal area*). Àrea d'acció de les mareas o hi ha els manglars, maresmes, estuaris, entre d'altres; els quals són ecosistemes de vital importància. L'amplitud varia entre pocs metres i alguns quilòmetres. És de naturalesa pública.

- d) Vora o límit litoral (*coastline*). Contacte entre la terra i el mar. Sobretot té un valor georreferencial, el qual s'ha de considerar com a línia que defineix certs límits més que una zona pròpiament dita. La línia de pleamar viva equinoccial (PMVE) s'utilitza amb freqüència.
- e) Front litoral (*oceanfront or shoreland area*). És la part terrestre entre el límit litoral i les terres litorals. És una franja relativament estreta delimitada per la distància des de la qual es pot veure el mar, l'existència de determinats ecosistemes (p.ex. els dunars) o una distància arbitrària, que apareix a la legislació nacional, variant entre els 20 i 200 m. Com es veurà més endavant, a la legislació espanyola es denomina Servitud de protecció (de 20 a 100 m). Té un paper rellevant per a l'accés i propietat pública, per la seguretat respecte amenaces naturals, per a la protecció d'hàbitat sensibles, etc.
- f) Terres litorals (*coastal uplands*) Constitueix des del punt de vista qualitatiu la part terrestre litoral per excel·lència. Coincideix amb l'amplitud de la que podria denominar-se plana costanera. Els seus límits podrien estar senyalats per estructures fallades, ruptures de pendent, topografia accidentada, planes de peudemont de serres litorals, etc. Tant a EUA com a Europa la xifra de 5 o 6 km és molt utilitzada. Bona part de les necessitats humanes es satisfan aquí: cultius, assentaments, infraestructures, etc.
- g) Àrea d'influència litoral o terres continentals (*inland*). És una superfície indeterminada en la que es desenvolupen certes activitats que poden incidir al litoral. En alguns plans i programes de gestió del litoral hi són incorporades les conques hidrogràfiques. La raó està en la transferència de costos ambientals que s'observa en aquesta àrea d'influència litoral cap a les terres litorals. Bons exemples d'això serien els abocaments sense depurar, l'ús de plaguicides, fertilitzants o fungicides o l'abocament de terres a les rieres.

El reconeixement d'aquestes parts elementals de les àrees litorals són de vital importància a l'hora d'establir els límits d'un hipotètic pla de gestió, els quals a nosaltres ens han servit per a delimitar la nostra àrea d'estudi: des del límit litoral fins al límit de l'àrea d'influència litoral o terres continentals (de la línia de costa a la divisòria d'aigües de les conques hidrogràfiques)

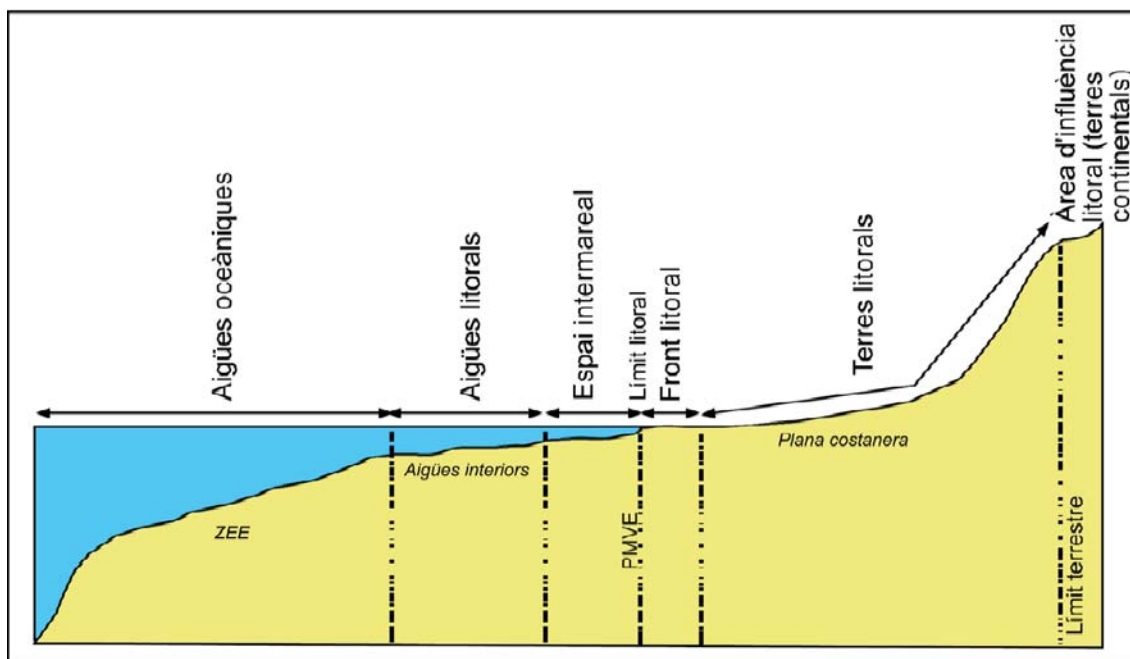


Figura 1.2.- Àmbits diferenciats de les àrees litorals (Barragán, 2003. Adaptat)

1.1.1.2.- Zona Costanera. Marc jurídic i competencial

Abans de començar a tractar sobre la gestió i planificació dels territoris costaners, tant en l'àmbit general com en l'àmbit particular de la Costa Brava, hem cregut convenient fer un petit incís en quin és el marc competencial vigent sobre aquest àmbit objecte de recerca.

La Constitució de 1978 dóna a Catalunya competència legislativa exclusiva en matèria de planejament urbanístic i d'ordenació del territori. Per aquest motiu la Generalitat ha aprovat algunes lleis bàsiques com les de Política Territorial, la d'Espais Naturals, la recent nova Llei d'Urbanisme i el Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner que està en fase d'aprovació definitiva. No obstant, en el domini públic costaner, definit en la Llei de Costes de l'Estat del 1988, les competències són concurrents. El Domini Públic Maritimoterrestre és competència exclusiva de l'Estat, al igual que la franja de Servitud de Trànsit, on les autoritzacions d'ús necessiten informe previ de la Comunitat Autònoma. Pel que fa a les franges de Servitud de Protecció i d'Accés, l'ordenació i l'atorgament de llicències corresponen al planejament urbanístic municipal, essent preceptius els informes de les Direccions Generals de Costes de l'Estat i de la Generalitat.

Legislació bàsica de la Generalitat de Catalunya

Tal com s'ha descrit la competència en matèria d'ordenació del territori és exercida per la Generalitat, fonamentalment, a través del Departament de Política Territorial i Obres

Públiques (DPTOP) i del Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH), els quals, en territoris litorals, es fonamenten amb l'aparell legislatiu següent:

- La Llei de Política Territorial (1983), desenvolupada pel Pla Territorial General de Catalunya (1995), 7 plans territorials parcials dels quals n'hi ha un d'aprovat (Pla Territorial de les Terres de l'Ebre, 2001) i els altres estan en procés de redacció, i diversos plans territorials sectorials (com el Pla de Carreteres o el Pla de Ports, entre d'altres).
- La Llei d'Espais Naturals (1985), en base a la qual el Departament de Medi Ambient redactà i aprovà el Pla d'Espais d'Interès Natural (1992) i ha delimitat i regulat diversos àmbits de Reserves i Parcs Naturals, que en bona part afecten espais costaners.
- La legislació urbanística: a partir de la legislació bàsica de l'Estat, cada Comunitat Autònoma ha desenvolupat la seva pròpia legislació urbanística. En el cas de la Generalitat, aquesta legislació estava concretada en el Decret Legislatiu 1/90, que refonia les diverses lleis i disposicions aprovades. El 14 març de 2002 el Parlament de Catalunya va aprovar una nova i específica Llei d'Urbanisme, que regula tot allò que fa referent a l'ús i ordenació del sòl
- El Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner: en el moment de la redacció d'aquesta memòria aquest pla està en fase de consulta als ajuntaments afectats abans de fer-ne l'aprovació inicial. Té com objecte bàsic protegir sòls situats en els primers 500 metres respecte la línia de la costa lliures actualment d'ocupació i que es troben classificats pel planejament urbanístic municipal com a sòl no urbanitzable o com a sòl urbanitzable no delimitat. Implica setanta-cinc municipis al llarg de tota la costa catalana.
- Pla de Ports de 2001. Pretén regular les instal·lacions portuàries del país – presents i futures- i, de retruc, incideix en la protecció o no d'importants sectors de la costa.

En el camp de l'urbanisme la principal responsabilitat correspon als municipis, que redacten i executen els plans. A la Generalitat li correspon, per regla general, aprovar definitivament els plans, per bé que en determinades condicions la Llei d'Urbanisme atribueix aquesta competència als municipis. En qualsevol cas, la competència de la Generalitat es limita a garantir que els plans tramitats pels municipis s'ajustin a les determinacions de la Llei i a garantir la necessària coordinació en els aspectes de caràcter supramunicipal.

L'ordenació del litoral, segons la Llei de Costes de l'Estat

Malgrat que l'ordenació de les zones costaneres forma part, globalment, del planejament urbanístic, a Espanya hi ha una llei específica per a protegir la costa. La Constitució de 1978

declara que la Zona Maritimoterrestre és de caràcter de bé comú i propietat pública de l'Estat. Desenvolupant aquest principi, l'any 1988, es va aprovar l'esmentada Llei de Costes com a llei bàsica per a tot Espanya.

Aquesta Llei estableix que el Domini Maritimoterrestre és competència del Govern central, mentre que el planejament urbanístic de la seva zona d'influència, així com la resta del territori continental, és competència dels governs regionals. A més, d'acord amb la carta magna, reafirma que el mar i la seva riba son patrimoni col·lectiu. Igualment estableix que la propietat pública no prescriu mai: sempre pot ser recuperada. Els seus principals objectius són els de garantir el caràcter públic de la costa, així com l'accés públic, tant longitudinal com transversal, a aquesta; protegir les àrees sensibles prop del mar, i evitar o reduir la implantació d'àrees urbanes a escassa distància del litoral.

Els principals instruments de la Llei de Costes són la definició del Domini Públic Maritimoterrestre i de franges de protecció d'aquest, els terrenys del qual són els territoris costaners fins a on arriben les ones en les majors tempestes; les platges de sorra, les maresmes, estuaris i els rius fins a on són sensibles les marees; els penya-segats sensiblement verticals, fins al límit superior; els molls i els ports, i els terrenys guanyats al mar. Les franges definides per a la protecció del Domini Públic Maritimoterrestre (Figura 1.3) són:

- *Franja de servitud de trànsit*: franja de 6 m d'ample, al llarg de la línia de termenament del Domini Públic, la funció de la qual és garantir l'accés al llarg de la costa. En aquesta franja no és permès cap tipus de nova edificació.
- *Franja de servitud de protecció*: segona franja de terreny, de 100 m d'ample (inclosos els 6 m de la servitud de trànsit) en les àrees de sòl no desenvolupades urbanísticament (sòl no urbanitzable o sòl urbanitzable sense desenvolupar), i que es redueix a 20 m en sòls urbans consolidats (terrenys que ja tinguessin la condició de sòl urbà en els plans urbanístics quan es va aprovar la Llei de Costes l'any 1988). Hi estan prohibits els edificis residencials, les grans infraestructures de transport (trens, carreteres) i les línies de transport elèctric (en cas d'especial interès públic, s'hi poden admetre infraestructures, si no hi ha alternativa). S'hi permeten usos "tous", com l'agricultura i els camps d'esports.
- *Zona d'influència*: la Llei defineix aquesta tercera franja, de 500 m d'ample des de la línia maritimoterrestre, i hi estableix limitacions al planejament urbanístic: els plans han d'evitar generar fronts d'edificació compacta i contínua al llarg de la

costa, i la densitat d'aquesta àrea no pot ser superior a la mitjana de les àrees de nou desenvolupament en el conjunt del municipi.

- *Servitud d'accés al mar*: en aquesta darrera zona de servitud la Llei estableix que els plans urbanístics han de preveure els accessos i les àrees d'aparcament necessaris localitzats fora del Domini Públic Maritimoterrestre. En les àrees urbanes de nou desenvolupament, la Llei obliga a preveure un accés transversal a la costa cada 200 m per a vianants i cada 500 m per a vehicles.

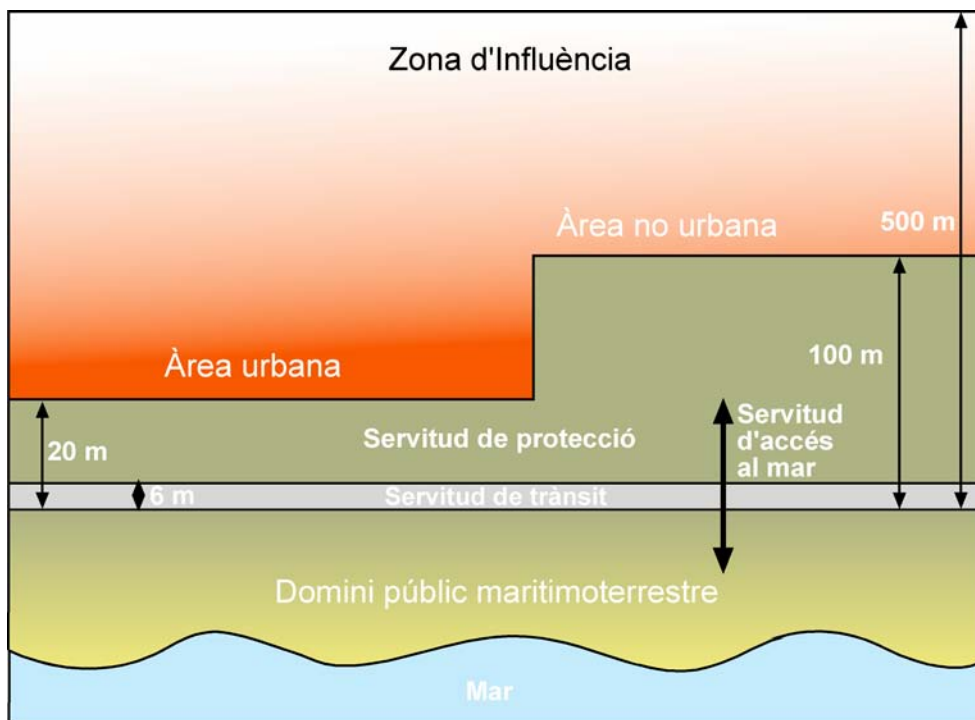


Figura 1.3.- Domini Públic Maritimoterrestre i franjes de protecció (Segons Casso, 2002. Modificat)

Les competències sobre aquests diferents àmbits descrits són atribuïdes de la manera següent:

- El Domini Públic Maritimoterrestre és de competència exclusiva de l'Estat central, exercida mitjançant la Direcció General de Costes del Ministeri de Medi Ambient i les seves demarcacions provincials. Com a norma general no s'hi admet cap ús privatiu fix. En determinades condicions, i sempre que no incideixi negativament en l'ús públic general, l'Estat pot atorgar concessions, per un període màxim de 30 anys, per usos al servei de la platja. També s'hi pot autoritzar, si no hi ha alternativa, la ubicació de serveis i infraestructures i (amb algunes condicions) la construcció de passeigs marítics. Durant el procés de la concessió, s'ha de demanar informe preceptiu (no vinculant) a la Comunitat Autònoma, que en el cas de la Generalitat emet el Servei de Costes del DPTOP. Un cas especial són els usos de temporada al servei de les platges, que s'instal·len durant l'estiu i

es retiren durant l'hivern (dutxes, serveis higiènics, punts de venda de menjar i gelats, terrasses, distribució d'àrees per a embarcacions i banyistes, entre d'altres). La distribució i localització d'aquests usos provisionals es concreta en un Pla d'Usos de Temporada que redacta cada municipi. La competència de l'aprovació d'aquests plans correspon a la Comunitat Autònoma, ja que tenen el caràcter d'ordenació territorial. Un cop aprovada la distribució dels usos, correspon a l'Estat l'atorgament de concessions temporals per a la gestió dels diversos serveis.

- En la franja de Servitud de Trànsit les possibles autoritzacions per a usos o activitats son també de competència de l'Estat, previ informe de la Comunitat Autònoma.

- Pel que fa a la franja de Servitud de Protecció, correspon al planejament urbanístic, tramitat pels Ajuntaments i aprovat per la Comunitat Autònoma, determinar quins usos, activitats i edificacions son admissibles en aquesta franja, tenint en compte les limitacions que fixa la Llei de Costes. Durant la tramitació dels instruments urbanístics s'ha de sol·licitar informe preceptiu a l'Estat, que és vinculant només en allò que afecta el Domini Públic i la servitud de trànsit.

A partir del planejament urbanístic, correspon per regla general a l'Ajuntament l'atorgament de llicències per a usos i edificacions (llevat d'alguns casos en que es requereix autorització de la Comunitat Autònoma, pel que fa als aspectes urbanístics), però prèviament l'Ajuntament o el propi peticionari han de disposar de l'autorització expressa del Servei de Costes del DPTOP. Aquesta autorització requereix també de l'informe preceptiu de la Direcció General de Costes de l'Estat, que només és vinculant si s'argumenta que l'ús o les obres sol·licitades poden afectar negativament el Domini Públic.

En casos que la sol·licitud s'ubiqui en un terreny inclòs en el Pla d'Espais d'Interès Natural, cal també informe preceptiu del DMAH de la Generalitat.

- En la Zona d'Influència i Servitud d'accés al mar l'ordenació d'aquests àmbits correspon al planejament urbanístic, durant la tramitació del qual han d'emetre un informe, la Direcció General de Costes de l'Estat i el Servei de Costes de la Generalitat, per tal de valorar l'adequació de la proposta urbanística a les determinacions de la Llei de Costes.

Cal deixar clar, però, que la llei anteriorment descrita només fa referència de forma fragmentada i totalment artificial a un àmbit molt particular de l'àrea litoral que s'estudia en aquesta recerca.

1.1.2.- La gestió i planificació de les àrees litorals

1.1.2.1.- Àmbit general

L'àmbit que ha estat objecte d'estudi per aquesta tesi doctoral el podem emmarcar dins de la zona litoral nord-occidental de la conca mediterrània (vegeu el capítol 2). És per aquest motiu que no s'ha volgut passar de llarg sense abans repassar a grans trets el *state of the art* de la gestió i planificació d'aquest territori, tema en el qual s'insereix aquesta recerca.

La Mediterrània té més de 46.000 km de costa, la major part abrupta, envoltada de muntanyes, excepte uns 3.000 km de planes saharianes i grans deltes com el del Nil, el Roine, el Po o l'Ebre. També disposa de gran quantitat de petits deltes i de zones humides, moltes d'elles desaparegudes o artificialitzades, com ara els Aiguamolls de l'Alt i Baix Empordà, el llac de Bellcaire o el d'Ullastret, o les maresmes desaparegudes totalment a la comarca que porta el mateix nom. La Mediterrània també es una zona de dunes, moltes d'elles també afectades, urbanitzades o modificades. Així mateix existeixen nombroses illes, de les que 200 estan habitades, d'una gran bellesa, riquesa biològica i de gran fragilitat.

L'ocupació del litoral per la urbanització extensiva creix de forma intensiva a tota la Mediterrània nord, molt especialment a Espanya, França i Itàlia, països que concentren la major part del turisme de tota la conca. Tal com s'apunta a Wainwright & Thornes (2004) "l'atractiu d'aquesta regió està formant potencialment part de la seva decadència". A Catalunya les últimes dades apunten que el 13,2% del territori dels municipis de la Costa Brava està urbanitzat (DCB, 2004) i segons DEPANA, dels 575 km lineals totals de costa catalana, només 282,9 km tenen hores d'ara algun interès natural per a implementar polítiques de sòl per a conservar els seus valors naturals.

Moltes són les problemàtiques d'aquest litoral de les que cal destacar la manca d'aigua, per ús domèstic, agrícola o industrial, la degradació del territori per l'ús intensiu i el posterior abandonament d'aquest, els incendis forestals, les inundacions, o la gran pressió antròpica sobre el territori per la massiva, i en constant creixement, afluència de turistes, entre d'altres. Per aquests motius, altres països han adoptat mesures de protecció que no sempre passen per iniciativa i execució de l'administració competent. Tres exemples d'aquestes iniciatives encetades del món privat són el *National Trust*, el *Conservatoire du littoral* o la Fundació Ecomediterrània.

National Trust (NT)

Fou fundat al Regne Unit l'any 1895 com a institució privada de beneficència per afrontar el fort impacte que ja es començava a notar amb l'inici del desenvolupament industrial incontrolat. Es proposava protegir espais naturals, la línia de costa i el patrimoni

arquitectònic amenaçats, mitjançant la compra d'espais. Un segle després de la seva creació el NT té cura de més de 248.000 hectàrees d'espais naturals de gran importància natural i paisatgística d'Anglaterra, País de Gales i Irlanda del Nord (més de 962 km de la línia de la costa, més de 200 edificis i jardins d'interès excepcional i 49 monuments industrials i molins). És avui dia una entitat privada sense ànim de lucre, independent del govern, que té garantit el seu funcionament gràcies a les quotes dels seus associats, de les donacions, dels llegats i del suport de milers de voluntaris. Actualment disposa de 2,8 milions de socis i té uns 40.000 voluntaris. El NT disposa per llei del poder especial de declarar com inalterables (inalienables) els espais que classifica com de gran valor ecològic o paisatgístic.

Conservatoire du littoral (CdL)

És un organisme públic de França creat l'any 1975. Realitza una política patrimonial encaminada a la protecció definitiva dels espais naturals i dels paisatges dels aiguamolls de zones marítimes y de les riberes dels llacs. El CdL adquireix els terrenys fràgils o amenaçats de mutu acord, per dret de compra preferent i excepcionalment per expropiació. La gestió la dóna a les administracions locals o altres col·lectius. L'1 de gener del 2004, el CdL assegurava la protecció de 70.100 hectàrees de 300 espais (800 km de litoral). El seu pressupost és de 30 milions d'euros, dels que se'n dediquen 25 a compra i gestió dels espais protegits pel CdL. La major part dels seus ingressos provenen de l'Estat, de les administracions locals i de la Comissió Europea, tot i que les empreses i particulars també hi fan aportacions voluntàries. Els drets del CdL estan garantits per llei, les propietats del CdL disposen d'exempcions fiscals, i només es poden desclassificar els espais del CdL per acord adoptat pel Consell d'Estat. La participació social és través de la gestió i no en el finançament directe a partir de quotes o afiliació.

Fundació EcoMediterrània

Va ser creada el 1990 davant de la preocupació de la forta i incontrolada ocupació del litoral seguint un model de creixement econòmic insostenible i especulatiu. Casos com la Costa Brava, la Costa Daurada, o la Regió Metropolitana de Barcelona, plantejava la necessitat d'implementar un model de desenvolupament més sostenible. Aquesta fundació ha participat al I Fòrum Ambiental de la Mediterrània (1991), al II Fòrum (1993), a la Cimera de la Terra de Rio de Janeiro de 1992 i a la de Johannesburg de 2002, així com al *Conveni de Barcelona sobre la protecció de la Mediterrània* des de 1994. Finalment també al Debat Costa Brava de 2004. Aquesta fundació, tot i la multitud d'accions realitzades, es troba en un estat incipient i una de les propostes que promulguen amb més èmfasis és la creació d'un Fons per a la Protecció del Litoral tal com ja porten anys fent el National Trust i el Conservatoire du Littoral.

A banda d'aquestes iniciatives per a la conservació del litoral, de les diverses Cimeres, Convenis o Fòrums que s'han mencionat, caldria destacar algunes de les conclusions més rellevants en què han arribat i que emmarquen aquesta tesi doctoral:

- *“S'haurien de fixar indicadors biològics, de fauna i vegetació, i geològics.”*
- *“S'ha constatat la manca d'un coneixement global del litoral. Els estudis existents són parcials i insuficients. S'ha de realitzar un estudi general del litoral per aconseguir un coneixement real de la problemàtica litoral, de les afectacions més importants i dels espais de major valor ecològic, per realitzar propostes de protecció i d'ús social de la costa.”*
- *“És urgent la realització d'un Inventari dels Espais Naturals del Litoral, de major valor ecològic, terrestre i marítim, per la seva real i eficaç protecció. S'ha d'incloure una relació de les zones més vulnerables en funció dels seus ecosistemes o de les pressions externes.*
- *“S'haurien de fixar indicadors biològics, de fauna i vegetació, i geològics, per tal de fixar la qualitat ambiental de les platges o costes rocoses.”*

De les conclusions extretes, tractant el tema de la contaminació, desenvolupament sostenible, biodiversitat, entre d'altres, les conclusions sobre la gestió integrada del litoral són dels punts que també podrien emmarcar aquesta tesi:

- *“es necessari un inventari de les zones potencials de major risc (inundacions, incendis, regressió del litoral...) i traçar programes urgents d'actuació.”*
- *“calen programes i estudis per evitar la degradació i erosió dels sòls”*

Una altra actuació que s'ha dut a terme per a la gestió i planificació del litoral del Mediterrani és l'entrada en vigor de la Directiva 2001/42/CE del Parlament i Consell Europeu, el juliol de 2001, relativa a l'avaluació dels efectes de determinats plans i programes sobre el medi ambient. És coneguda com la directiva d'Avaluació Ambiental Estratègica (AAE). Amb l'objectiu de fixar un període de reflexió, anàlisi i experimentació de tots els sectors interessats en el desenvolupament de l'AAE, Catalunya i nou regions europees més van iniciar el projecte ENPLAN "d'avaluació ambiental de plans i programes". Va ser aprovat el desembre de 2002 en el marc del programa europeu Interreg IIIB-MEDOC, i amb una durada prevista fins al juny de 2004. Les regions participants a ENPLAN treballen (durant la redacció d'aquesta memòria) per obtenir una metodologia comuna per a l'aplicació de l'AAE a estratègies, plans i programes, així com orientacions per a l'adopció de la Directiva 2001/42/CE als respectius ordenaments jurídics per tal que responguin amb èxit als reptes que planteja la Directiva. Per tal de debatre tots aquestes aspectes i presentar els primers resultats del treball amb les regions participants a ENPLAN, el Departament de Medi

Ambient i Habitatge ha estat organitzant i organitza encara diferents Seminaris Internacionals d'ENPLAN. La metodologia d'elaboració de l'Estratègia es fonamenta en la interrelació dinàmica dels 4 grans sistemes que conformen un nou model per a una planificació integrada sostenible (Figura 1.4).

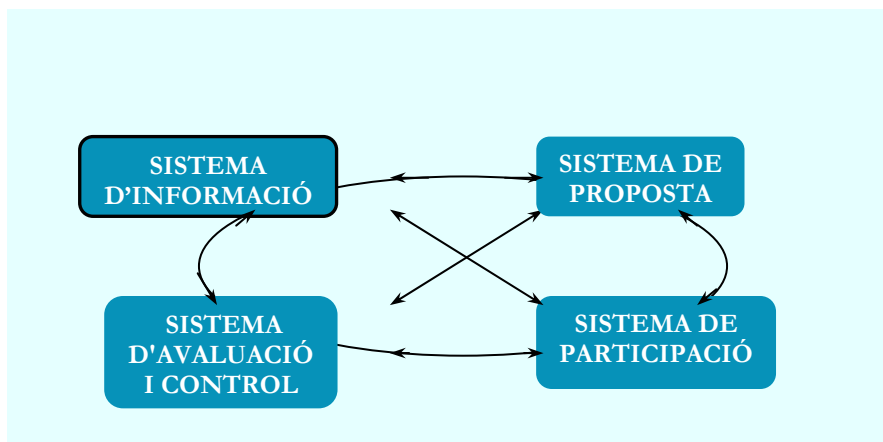


Figura 1.4.- Esquema de planificació integrada sostenible aplicat a l'Estratègia per a la gestió integrada de zones costaneres a Catalunya (DCB, 2004)

Observant l'esquema metodològic es pot veure la interrelació dels 4 sistemes. De forma resumida podem definir que el Sistema de Proposta permet definir l'escenari de futur més sostenible així com les directrius i mesures per intervenir-hi; el Sistema de Participació garanteix el consens en la definició dels objectius, la selecció d'alternatives i l'aplicació de directrius al conjunt de plans, programes i projectes que es desenvoluparan en el litoral català; el Sistema d'Avaluació i Control assegura un test continu i permanent de sostenibilitat tant en les fases de concepció del pla com en la seva execució; i finalment el Sistema d'Informació permet integrar progressivament tota la informació i coneixements imprescindibles per a la presa integrada i racional de les decisions de planejament i intervenció.

És precisament en aquest sistema denominat Sistema d'Informació on s'insereix aquesta tesi doctoral, ja que les diferents variables geoambientals aquí estudiades aporten nous coneixements integrals del medi, tant necessaris per a qualsevol presa de decisions en un territori a on hi intervenen factors ambientals tant diversos com pot ser el turisme, l'erosió del sòl, les explotacions de recursos geominers o el risc d'inundacions.

Amb aquests exemples d'àmbit general sobre la planificació i gestió de zones litorals posem de manifest l'actualitat i importància d'aquesta recerca.

1.1.2.2.- Àmbit particular: El cas de la Costa Brava

Des dels anys 50 fins a l'actualitat tota la costa catalana ha estat sotmesa a un procés accelerat de degradació en conjunt molt més fort que en qualsevol altre país europeu dotat d'instruments de planificació i control territorial. Segons les dades fetes públiques el mes de febrer (DPTOP, 2004) , un 52,09% dels 672 km del front litoral de Catalunya estan urbanitzats o susceptibles de ser-ho. Només 267 km (39,73%) tenen alguna figura de protecció (PEIN o Espai de Protecció Especial), i tan sols 55 km (8,18%) són sòl no urbanitzable que la Generalitat vol protegir per mitjà del Pla de Protecció del Litoral (PPL).

Pel que fa a la Costa Brava, àmbit el qual és objecte d'estudi en aquesta tesi, dels 294,4 km del front del litoral, 129,9 km (44,12%) estan urbanitzats, 5 km (1,70%) són urbanitzables, 132,8 km (45,11%) estan protegits i 26,7 km (9,10%) és sòl no urbanitzable, segons les dades del mateix departament (DPTOP, 2004). Aquestes dades s'il·lustren amb la figura 1.5.

De nord a sud del nostre àmbit d'estudi, veiem que Palafrugell ha desenvolupat importants actuacions urbanístiques al voltant de les cales de Tamariu, Llafranc i Calella, que han portat a una ocupació pràcticament total de la primera línia de costa. Al sud de la zona del Golfet i fins arribar a l'àrea de Castell, és on hi trobem encara una franja prou significativa de penya-segats i pinedes en un bon estat de conservació. Més enllà de cala s'Alguer, al terme municipal de Palamós, i fins traspasat el nucli de Sant Feliu de Guíxols, passant per municipis com Palamós, Calonge i Castell-Platja d'Aro, el conjunt del litoral és un continu d'edificacions i de zones amb processos urbanístics. Al sud de Sant Feliu de Guíxols, el massís de Cadiretes és el darrer dels grans espais de la Costa Brava que mantenen encara unes certes qualitats paisatgístiques, malgrat els sectors urbanitzats de Canyet, Salionç i cala Giverola. Finalment, a partir del sud de la vila de Tossa de Mar, els municipis de Lloret i Blanes han colonitzat pràcticament per complert la seva franja litoral, llevat de petites zones com les de cala Moltó (Tossa de Mar), l'Agulla (Blanes), així com el darrer quilòmetre fins arribar a la desembocadura de la Tordera, ara per ara ocupat per càmpingos.

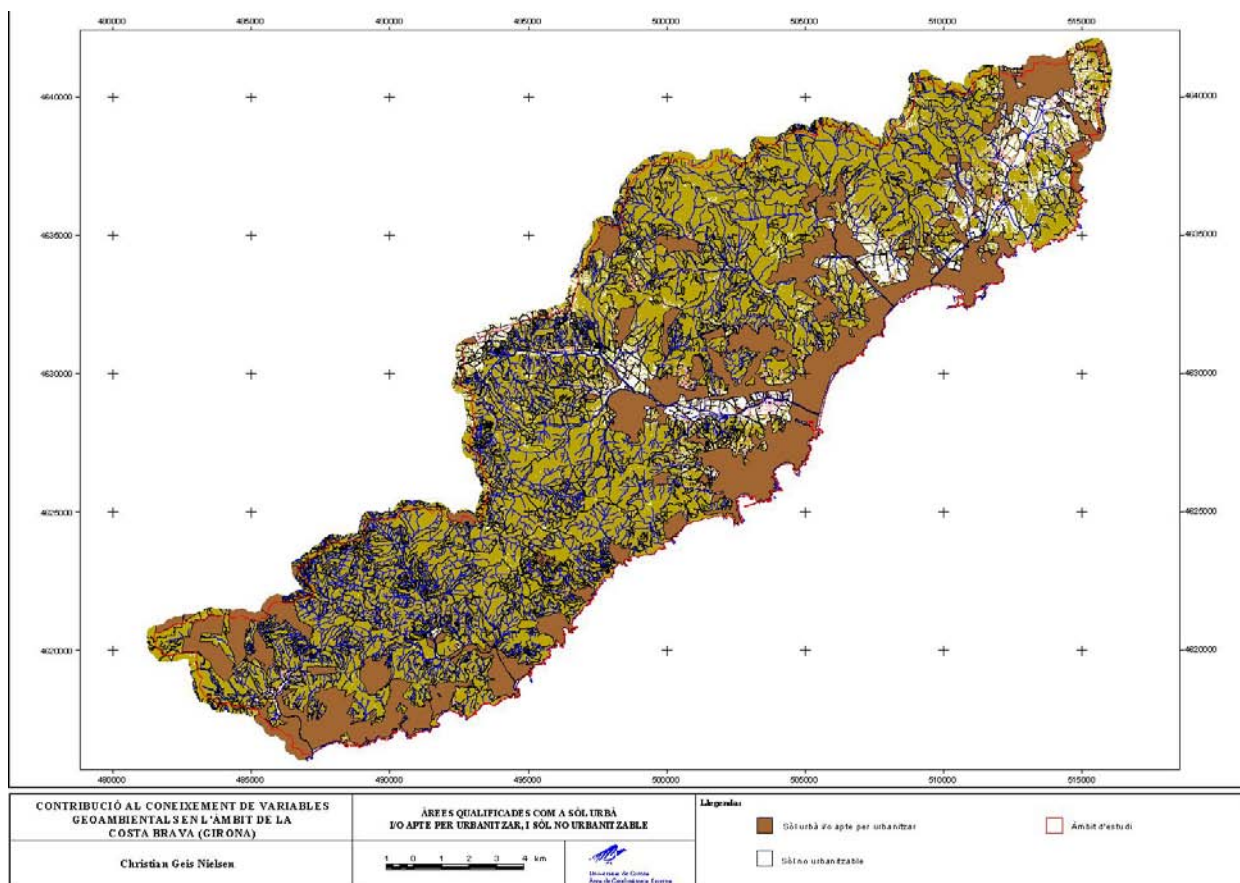


Figura 1.5.- Àrees qualificades com a sòl urbà i/o apte per urbanitzar, i sòl no urbanitzable del sector estudiat

Aquesta és la descripció de la *primera línia* de costa, tot i que la que tradicionalment s'ha denominat *segona línia* no és tampoc gaire favorable en aquest aspecte. En aquesta hi ha també una gran proliferació de construccions lligades al lleure i a les segones residències, juntament amb una elevada concentració de la xarxa d'accessos i variants desdoblades com la C-65 i la C-31, totes dues integrants de la polèmica Anella de les Gavarres. La Intensitat Mitjana Diària (IMD) no és gens menyspreable ja que, segons dades extretes de Vergés (2003), de Llagostera a Platja d'Aro la IMD arriba a màxims 50.000 vehicles/dia, d'aquests últim punt a Calonge una IMD de fins a 20.000 vehicles/dia i de Palamós a Palafrugell la IMD torna a assolir els 50.000 vehicles/dia. Tal com es va dir a DBC (2004), l'autèntic paradigma de zona d'accés en un estat de degradació important és la vall d'Aro, *àrea on la concentració urbanística i d'infraestructures ha assolit densitats capaces de desfigurar per complert la seva realitat paisatgística, així com de reduir al mínim les possibilitats naturals d'enllaç biològic entre els massissos de les Gavarres i de Cadiretes*. Aquesta problemàtica s'ha vist encara més agreujada després de la recent remodelació dels accessos viaris de la costa d'Alou.

En l'àmbit de la Costa Brava la transformació del territori i del paisatge a base d'urbanitzar no és ni de bon tros l'única problemàtica ambiental associada a l'activitat humana. A

aquesta se li ha d'afegir la degradació d'ecosistemes litorals de dunes i maresmes (badia de Palamós, desembocadura del Ridaura, nord de la platja de Sant Pol a Sant Feliu de Guíxols, i la Platja Gran de Lloret), creació d'enormes complexos residencials per a la pràctica del golf, els grans incendis forestals degut a l'abandó de les activitats tradicionals (amb el risc afegit de la proliferació d'urbanitzacions en el si forestal), el risc d'inundacions associat a l'ocupació de zones inundables, el risc d'erosió i desertificació com a conseqüència del foc o l'accés motoritzat al medi natural de forma indiscriminada, impactes derivats de la nàutica esportiva (vessaments de carburants, efectes de l'ancoratge en el fons de praderia oceànica, entre d'altres), l'ús dels arts de pesca d'arrossegament, així com la proliferació de nous ports esportius i augment del tamany dels espigons, provocant alteracions en la dinàmica litoral i a l'estabilitat de les platges.

Davant les activitat humanes en aquest litoral, ja fa temps que es fan passes per intentar conservar algunes zones, de les que caldria destacar les següents (Sargatal & Vicens, 2004):

- El *Regional Planning* (1932), encarregat per la Generalitat el 1931, el qual definia 18 Parcs Nacionals. Al nostre àmbit d'estudi en dibuixava dos: el Puig de Cadiretes i l'espai comprès entre el límit meridional de la platja de Pals i les rodalies de Palamós.
- El *Llibre Blanc de la Gestió de la Natura als Països Catalans* (1976), realitzat per la ICHN, ja plantejava globalment alguns problemes del medi de Catalunya. Proposava la protecció de Les Gavarres i la Marina Brava del Baix Empordà i la Selva.
- *Inventario abierto de espacios naturales de protección especial* (1978), elaborat per ICONA, delimitava arreu de l'Estat espais d'interès preferent com ara Les Gavarres, Pedralta i un tram comprès entre el sud del terme de Sant Feliu de Guíxols fins pràcticament al de Lloret de Mar.
- La llista d'espais d'especial interès natural de la Comissió d'Urbanisme de Catalunya (1980) i la Llei 12/1981, de 24 de desembre. Relació de municipis amb territori totalment o parcialment inclòs en espais d'especial interès natural, acompanyada de la definició d'aquests espais. En el nostre àmbit d'estudi incloïa Les Gavarres i el massís de Cadiretes.
- Pla de ports esportius (1983). Redactat per el DPTOP, volia aprofitar al màxim les possibilitats d'aquest sector, respectant el medi natural costaner, plantejant cinc graus de protecció.
- Pla d'Espais d'Interès Natural PEIN (1992). El 14 de desembre de 1992 s'aprovava el PEIN, per mitjà del Decret 328/1992, que donava compliment a la Llei 12/1985 d'espais naturals. Els espais inclosos dins l'àrea estudiada foren Les Gavarres, les Muntanyes de Begur i el Massís de les Cadiretes. A les zones considerades al PEIN inicial s'hi ha d'afegir la platja de Castell, incorporada anys més tard, i un major nombre d'hectàrees

fruit d'ampliacions o delimitacions més acurades. D'aquesta manera tenim actualment Les Gavarres amb 28.547 ha terrestres, les Muntanyes de Begur amb 561,5 ha terrestres i 842,5 ha marines, Castell-Cap Roig amb 431,5 ha terrestres i 728,5 ha marines i el Massís de les Cadiretes amb 7.573 ha terrestres i 979 ha marines. A més, a les Gavarres i ha l'establiment d'un Consorci.

- Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner, Resolució del DPTOP (febrer 2004). El passat 5 de febrer es va aprovar el document d'Objectius i Prioritats del pla Director Urbanístic del Sistema Costaner. Aquest té com a objectius identificar, protegir i posar en valor els espais costaners lliures actualment d'ocupació dins la franja de 500 metres a partir de la línia de costa, amb la finalitat de contribuir al desenvolupament urbanístic sostenible de la costa catalana.

A banda d'aquestes actuacions caldria fer esment d'altres de caire més regional o sectorial. Per exemple tenim La Carta de Tossa, El Catàleg d'Espais d'Interès Natural i Paisatgístic del Litoral Gironí, El Pla estratègic del Massís de l'Ardenya-Cadiretes, els tres Debats Costa Brava (1976, 1989 i 2004) o el Decret 328/1988 de protecció d'aqüífers de la fossa de Palafrugell, Aubi i Calonge, i de l'aqüífer del Ridaura, entre d'altres.

En aquest i en anteriors apartats s'ha intentat de forma sintètica donar a conèixer l'estat de la qüestió sobre la legislació i les problemàtiques ambientals de l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi, així com les diverses actuacions fetes fins al moment per tal de pal·liar-ne els efectes. Ja es pot entreveure, i així quedarà demostrat al capítol 2, que el principal problema ambiental és la massiva urbanització i, per tant, tampoc és d'estranyar que les principals pressions socials i les primeres actuacions polítiques s'encaminin cap a la seva prohibició.

De totes maneres la resposta a aquesta problemàtica hauria d'anar encaminada a la gestió integral de les àrees afectades. Aquesta gestió integral hauria de superar la fragmentació territorial administrativa per prendre decisions que afectessin unitats físiques i/o socioeconòmiques homogènies. Hauria de ser capaç de trencar amb les contradiccions i conflictes competencials de les diferents administracions, trencar les limitacions de la planificació sectorial i que impliqués a les poblacions locals en la protecció dels recursos naturals i la millora de la qualitat ambiental. Cal recordar que la gestió de les àrees litorals no s'acaba en la primera línia de costa, sinó que s'hauria d'arribar fins a les àrees d'influència litoral. Tal com es comentarà en el capítol segon, la unitat territorial mínima d'aquesta gestió i planificació integral hauria de ser la conca hidrogràfica i els estudis previs a aquestes actuacions haurien de ser multidisciplinars. És per aquest motiu que l'àmbit d'estudi, de les variables geoambientals tractades per aquesta tesi, ha estat delimitat per la unió de les conques hidrogràfiques de les cinc rieres principals.

1.1.2.3.- La importància de la consideració dels factors geològics

La necessitat de l'ordenació territorial apareix com a conseqüència de la forta expansió urbanística que s'ha generat les darreres dècades a la major part de països industrialitzats. El creixement urbà ha envaït de forma brusca grans superfícies tot modificant de dalt a baix les relacions econòmiques i socials preexistents i introduint transformacions profundes en el context físic del territori. A determinades zones el procés de concentració excessiva, el qual sovint ha estat realitzat amb objectius especulatius, ha generat un gran nombre de dèficits a tots nivells.

Precisament un dels objectius fonamentals de l'ordenació territorial és el de permetre que el creixement d'una àrea concreta es realitzi de forma harmònica tot garantint l'existència d'equipaments i serveis suficients per assolir una mínima qualitat de vida i el desenvolupament de les diferents activitats econòmiques. La gran quantitat de variables que intervenen fan d'aquesta disciplina, un camp complex on es barregen conceptes d'economia, sociologia o legislació, i al nostre entendre, cal també coneixements de les característiques del medi natural i concretament les geològiques. Una vegada hagin estat analitzats tots els paràmetres, el planificador ha de decidir els usos que ha de tenir cada part del territori.

Fins fa pocs anys, els criteris utilitzats, dins i fora de casa nostra, en la planificació dels possibles usos d'una determinada àrea han oblidat sistemàticament (llevat de comptades excepcions) el paper del medi natural. Això ha estat així perquè es partia de la concepció urbana de l'ordenació territorial, és a dir, el centre d'interès és el nucli urbà i les seves activitats associades (industrials i comercials). La distribució de les diferents zonacions urbanes, de les zones industrials, dels equipaments i dels serveis, era dissenyada en funció sobretot de criteris socioeconòmics, i la resta del territori era designat sovint amb el terme ambigu i mancat de contingut de "sòl no urbanitzable" i que per si sol ja ens indica la filosofia d'aquesta planificació.

Les conseqüències que es deriven d'aquesta forma d'actuar tenen dues vessants diferenciades. D'una banda, l'oblit de les característiques del medi pot provocar a curt o a llarg termini desordres d'importància econòmica, a voltes notable (inundacions, assentaments d'estructures, pujades del nivell freàtic, entre d'altres), que donen lloc a encariments inesperats tant per a particulars com per la a societat en general.

Per altra banda, el creixement només en funció de l'òptica urbana provoca a la llarga desequilibris territorials, tot enfrontant les activitats primàries amb les derivades de l'activitat urbana i industrial. Així, una conseqüència derivada d'aquesta concepció del planejament és el permanent conflicte d'usos en una mateixa àrea.

Els darrers anys, però, s'ha experimentat un interès cada vegada més gran en la incorporació dels factors geològics com a elements a considerar dins d'una planificació integral del territori. La filosofia dels estudis desenvolupats es basa en què els factors geològics són uns elements d'ajuda per a la visió integral d'un territori i intenten adaptar una sèrie de coneixements sobre la realitat del medi físic d'una regió, que d'una manera directa o indirecta influeixen en el creixement i desenvolupament normal de les activitats humanes. Es tracta d'una visió positivista pel fet que assenyala no tan sols els riscos que poden existir per a determinades actuacions, sinó també l'existència de recursos o condicions constructives favorables.

1.2.- Processos i recursos geològics. Una visió des de la Geologia Ambiental

La recerca desenvolupada s'ha dut a terme des de l'Àrea de Coneixement de Geodinàmica Externa, en la qual l'estudi dels Processos i Recursos Geològics es realitza des de disciplines científiques diferents. Entre aquestes caldria destacar la pròpia Geodinàmica Externa, la Geomorfologia, l'Hidrogeologia, la Geotècnia, l'Enginyeria Geològica i la Geologia Ambiental. Totes aquestes contribueixen, en major o menor grau, als continguts i mètodes de treball que es requereixen per al seu estudi.

De les disciplines anteriorment esmentades, és sens dubte la perspectiva integradora i innovadora que ofereix la Geologia Ambiental la que millor s'adapta als nostres objectius.

Condicionats per el marc general d'aplicació d'aquesta tesi doctoral, circumscrita en el Doctorat de Medi Ambient, i en concret a l'aportació de coneixement geològic a aquest camp, l'estudi dels Processos i Recursos Geològics és abordat des d'una perspectiva geoambiental.

1.2.1.- Concepte de Geologia Ambiental

Durant aquestes últimes dècades els éssers humans han percebut que la seva activitat afecta de forma continuada al sistema dinàmic i tancat de la Terra, provocant modificacions en els sistemes terrestres globals. Com a conseqüència d'això han sorgit nous valors que han fet variar la relació que els humans tenim amb l'entorn i promouen la creació d'altres

estils de vida, més sostenibles i compatibles amb la conservació de les riqueses naturals i el desenvolupament social.

Per a Coates (1981) l'ésser humà és una força que canvia la Natura, tal com ho fan els processos geodinàmics i, en aquest sentit, considera a la Geologia Ambiental com l'aplicació pràctica de les Ciències Geològiques al servei de la societat. Concep la Geologia Ambiental integrada per la Geologia Econòmica, la Enginyeria Geològica i la Geodinàmica.

La Geologia Ambiental tracta la interacció dels éssers humans amb l'ambient geològic (Bennet & Doyle, 1997 i Bobrowsky, 2002). L'ambient geològic s'entén, no només com les roques, sediments, sòls i fluids; sinó que cal afegir-hi la superfície, les formes, i en particular els processos que hi operen i els canvis que produeixen amb els temps. Aquest ambient és alhora un recurs i un risc per al desenvolupament humà, i és essencial per a la vida. Ens proporciona aigua, minerals industrials, materials per a la construcció, així com combustibles. Condiciona la localització i l'arquitectura dels assentaments urbans i infraestructures de transport. Ens delimita també on i com eliminar els nostres residus. Però, tot i que l'ambient geològic proporciona els elements essencials per al desenvolupament humà, també genera alguns dels riscos més amenaçadors, en forma de terratrèmols, volcans o inundacions.

La Geologia Ambiental és una branca de la Geologia, formada recentment, que segons Bastes & Jackson (1980) tracta de l'aplicació dels principis i coneixements geològics als problemes creats pels humans en llur ocupació i explotació del medi ambient. Inclou estudis d'Hidrogeologia, Geotècnia, Geomorfologia, Edafologia i Geologia Econòmica. Abraça problemes relacionats amb la construcció d'edificis i vies de transport, la seguretat de dipòsits controlats de residus, la gestió de recursos hídrics i minerals, la planificació física general i el desenvolupament dels usos més eficients i beneficiosos de la Terra.

El terme "geologia ambiental" surt per primer cop publicat per Hackett l'any 1967. A Flawn et al. (1970) es defineix com: "la geologia ambiental s'ocupa de tot l'espectre d'usos de la superfície terrestre per part de l'home, tant en zones urbanes com en zones naturals i primitives; inclou la localització i explotació de recursos naturals, l'eliminació de residus, l'efecte dels moviments superficials de masses i de moviments tectònics sobre les estructures, i els efectes de petites variacions en la composició dels materials terrestres sobre la salut." Aquest mateix autor considera que la geologia ambiental és una branca de l'ecologia que tracta les relacions entre els humans i el seu hàbitat geològic, s'ocupa dels problemes que sorgeixen quan es fa ús de la Terra i de les reaccions d'aquesta en front aquest ús.

Altres autors doten a la Geologia Ambiental d'un camp d'actuació molt més ampli que el de l'aplicada. Tal com es descriu en Bennet & Doyle (1997), la Geologia Ambiental és un camp de treball dins l'entramat multidisciplinari de les Ciències Ambientals. Aquestes comprenen l'estudi de la interacció dels humans amb tots els aspectes del seu ambient, llurs components físics, geològics, atmosfèrics i biològics. La ciència ambiental considera tant els impactes com els beneficis de la nostra coexistència amb altres espècies i ambients. De forma simple, la ciència ambiental ens dona la base científica amb la qual maximitzar l'èxit humà mentre minimitzem els seus impactes negatius en altres elements de l'ambient. La Geologia Ambiental, per tant, té la seva filosofia central en els concepte de gestió de l'ambient, treballant amb sistemes geològics naturals que sostenen el desenvolupament, però no a un preu ambientalment inacceptable.

Per alguns, la Geologia Ambiental pot semblar simplement com la documentació dels impactes ambientals de l'explotació geològica dels recursos minerals, de l'abocament de residus, dels projectes de construcció importants, o dels riscos naturals. Es posa especial èmfasis en el registre del dany ambiental, identificant la seva causa i procurant la mitigació. Tot i que vàlida, aquesta concepció tendeix a classificar l'explotació geològica com a potencialment impactant, esdevenint un conflicte amb la necessitat que té la societat de disposar de recursos i de la necessitat de protecció contra aquests riscos naturals.

El punt de vista adoptat en aquesta tesi doctoral sobre la gestió dels sistemes naturals, ha estat des del concepte de desenvolupament sostenible. Tot i que aquest terme pot quedar un xic ambigu, aquí és defineix com a la gestió dels recursos naturals per contribuir al desenvolupament econòmic i social, de tal forma que els recursos renovables no estan esgotats, i l'impacte de l'extracció i ús dels no renovables sigui minimitzat.

La clau per a un desenvolupament sostenible és una gestió ambiental efectiva. Cal examinar no solament les conseqüències ambientals de la interacció humana amb l'entorn geològic, sinó també la seva gestió efectiva de manera que es puguin obtenir futurs recursos, un ambient més segur i mitigar l'impacte dels desastres naturals.

Per tant, la Geologia Ambiental es refereix a la gestió de la interacció humana amb l'entorn geològic, la qual es produeix de manera més intensiva en l'entorn urbà. Cap a finals del segle XX, uns 3500 milions de persones, aproximadament el 50% de la població mundial, viu en àrees urbanes, que representen solament l'1% de la superfície terrestre. És en aquestes àrees on la interacció de l'home amb l'ambient geològic és més intensa, i per tant és aquí on la Geologia Ambiental concentra els seus esforços. El creixement urbà afavoreix la demanda de recursos miners i d'aigua, posa a prova les habilitats als enginyers geològics, produeix enormes volums de residus que han de ser eliminats i incrementa la vulnerabilitat davant als riscos naturals.

1.2.1.1.- El concepte de procés i recurs geològic

Els diferents punts de vista que s'acaben de veure es podrien ampliar considerablement, però ja ens donen una idea adequada i fonamental del marc conceptual en què s'insereix aquesta recerca que es presenta en aquesta memòria. Així mateix ens permet concloure que el conjunt de variables geoambientals que tractarem es poden agrupar en dos grups principals: **processos**-riscos i materials-**recursos** geològics (Cendrero, 1980).

El concepte de procés que aquí tractem es refereix exclusivament a aquell que pel seu desenvolupament espacial i temporal influeix d'una forma o altra, o es pot veure influït, per les accions humanes. En general, està associat a fenòmens que són perfectament perceptibles a escala temporal humana pel fet de desencadenar-se de forma ràpida, deixant-se notar llurs efectes dins un període de temps que comprèn el cicle biològic humà. En general els processos geològics interns no són considerats en aquesta matèria, llevat d'aquells que participen de les característiques anteriorment apuntades (vulcanisme i sismicitat).

Per altra banda, des de la mateixa perspectiva geoambiental, els recursos geològics són considerats de manera àmplia. S'analitzarien sota aquesta denominació aspectes com els recursos minerals i roques industrials, els recursos hídrics, el sòl agrícola o forestal, el sòl per a finalitats constructives, i els recursos geoculturals o patrimoni geològic.

D'acord amb l'enfocament que hem donat a l'estudi dels processos i dels recursos geològics, les principals disciplines científiques que participen en aquest estudi són la Geodinàmica Externa, la Geomorfologia, l'Hidrogeologia i la Geotècnia o Enginyeria Geològica. Les temàtiques de què són objecte d'estudi en aquestes disciplines constitueixen la major part dels continguts de la Geologia Ambiental. Altres camps com la Geologia del Petroli, Geologia Minera o Jaciments Minerals, Vulcanologia, entre d'altres, propis d'altres Àrees de Coneixement, complementen les temàtiques que són tractades des d'una òptica geoambiental.

Aquestes àrees temàtiques són, a grans trets, complementàries, i són considerades com un conjunt dins de la Geologia Ambiental, proporcionant una base sòlida per a la investigació. La necessitat d'aquesta visió de conjunt s'ha fet més patent durant els últims 30 anys. La creixent interacció entre diferents camps de la investigació aplicada, i el major punt de vista ambiental present en ells, és el producte de tres tendències principals:

- 1) **Desenvolupament sostenible.** En els últims 30 anys la percepció política dels aspectes ambientals ha crescut, en part per la necessitat del desenvolupament sostenible. El terme es va fer popular a partir de la Cimera de la Terra de les Nacions Unides a Río de Janeiro l'any 1992, quan 170 líders mundials van acordar una agenda global per promoure un desenvolupament dins del que és naturalment sostenible pel planeta. En termes geològics, això a conduït a un desplaçament d'interessos des de l'explotació dels recursos al seguiment dels impactes creats per tal explotació i la seguretat del tractament dels residus produïts. Com a norma general això significa la busca del compromís entre interessos del desenvolupament/explotació i la conservació del medi natural i el seu sistema regulador.

- 2) **El procés natural: conflicte contra la gestió.** Tractant-se de riscos naturals, podem parlar de dos tipologies d'actuacions: una resposta estructural i una resposta d'acord amb la dinàmica natural del procés. La primera implica combatre o frenar un problema amb un treball d'enginyeria civil; un exemple típic seria l'ús d'espigons per prevenir l'erosió costanera. Contrastadament, un altre tipus de resposta és el que es basa en l'adequació al procés i es fonamenta en la comprensió del sistema natural en el moment en què s'intenta treballar conjuntament amb ell per combatre un problema determinat. Per exemple, es poden millorar les defenses costaneres si es regeneren les platges. L'experiència ha demostrat que la resposta estructural tendeix a transferir el problema cap a una altra banda, sovint accentuant-lo. Afortunadament l'aplicació de solucions basades en el procés és cada vegada més factible gràcies a la millora experimentada durant els últims 20 anys del coneixement que tenim sobre la majoria dels processos naturals superficials.

- 3) **Transició des d'una actuació correctiva a una preventiva.** Els científics han tingut tradicionalment una paper correctiu: s'identifica un risc o un recurs i es busca una solució enginyera o una nova frontera d'exploració. En canvi, quan es tracta de riscos geomorfològics, la prevenció és sempre millor que la cura. Per exemple, si es promou la urbanització lluny d'àrees vulnerables, el cost de mitigació de danys futurs serà menor. En els últims 20 anys la necessitat de respostes correctives ha disminuït. Hi ha hagut una transferència progressiva cap al treball preventiu ja que aquest ha estat més ben considerat per part d'òrgans responsables en la presa de decisions. Per norma general, la informació necessària per part d'aquests responsables i planificadors del territori és molt àmplia en interessos, necessitant informació sobre la distribució de recursos, riscos i condicions del terreny. El subministrament d'aquesta informació requereix una major integració de les diferent branques de la Geologia, i en particular de les disciplines de l'Àrea de Coneixement de Geodinàmica Externa. A efectes pràctics això s'ha traduït en la primera

integració real i efectiva entre la Geodinàmica Externa i Geomorfologia Aplicada, l'Enginyeria Geològica i la Hidrogeologia.

De totes maneres, existeix la necessitat d'adquirir una visió integrada de la Geologia Aplicada en els seu context actual: la interacció humana amb l'ambient geològic. La temàtica de la Geologia Ambiental ho permet, abraçant els aspectes de les diferents branques de les Ciències de la Terra Aplicades tradicionals. El seu objectiu varia lògicament segons el seu punt de vista i la formació de l'observador. Per exemple, els geomorfòlegs tradicionals poden donar un major èmfasis als riscos i la construcció que els geòlegs tradicionals, els quals poden emfatitzar en la necessitat d'exploració i explotació dels recursos minerals. Amb els temps, aquests límits artificials desapareixeran a mesura que la moderna Geologia Ambiental continuï el seu desenvolupament.

1.2.1.2.- Desenvolupament històric i tendències actuals

La incorporació de la Geologia Ambiental a la recerca universitària a Espanya és molt recent, iniciant-se els primers treballs amb aquesta denominació a mitjans dels anys setanta, a la Universitat de Cantàbria (Francés, 1991). La primera reunió nacional sobre el tema va tenir lloc al 1980. Això és un reflex del caràcter de ciència "jove", si tenim en compte que el terme Geologia Ambiental fou introduït per Hackett l'any 1967, i que el primer text amb aquest títol data de 1970 (Flawn et al. 1970).

La Geologia Ambiental sorgeix de manera simultània amb altres disciplines ambientals, com a resultat de la preocupació social pel deteriorament del medi ambient, reflectit tant en Conferències internacionals (Informe del club de Roma, Conferència Internacional de les Nacions Unides a Estocolm el 1972, (Meadows, 1972), com en publicacions diverses (Ehrlich, 1977). Aspectes com la contaminació, el creixement de la població o l'esgotament dels recursos, apareixen com a preocupacions prioritàries de les societats desenvolupades, essent pioneres en el camp de la legislació ambiental les promulgades a principis de la dècada dels setanta a Estats Units.

Des d'aquest moment, els termes com "ambiental" o "medi ambient" han estat incorporats i contemplats des de moltes perspectives, incloses les Ciències Geològiques. Això ha significat un canvi en l'orientació tradicional dels treballs de la Geologia, centrats fins al moment, sobre tot, en l'estudi de la història geològica i en l'explotació de recursos minerals i energètics. S'ha passat gradualment a donar una importància creixent als enfocaments de tipus prospectiu, en els que la finalitat última és comprendre el funcionament integrat del sistemes naturals, predir els seu comportament futur i preveure i corregir els danys que puguin derivar-se de la interacció sistemes naturals – activitats humanes (Cendrero, 1980).

Aquest nou enfocament de la Geologia és paral·lel al desenvolupament, en altres camps del coneixement, de plantejaments més complexos i integradors, com per exemple els aportats per la teoria de sistemes, la Informàtica o l'Ecologia. Precisament, com ja s'ha senyalat, Flawn et al., (1970) defineixen la Geologia Ambiental com "una branca de l'Ecologia que tracta les relacions entre l'home i l'hàbitat geològic", volent posar èmfasis en la necessitat d'abordar l'estudi del medi natural dins les línies de treball més sintètiques i integradores. Malgrat això, avui aquesta afirmació ha quedat superada per el gran desenvolupament adquirit per la Geologia Ambiental com a camp de treball específic, posseint en l'actualitat un camp de coneixements propi amb una creixent implantació en l'àmbit social. En efecte, la Geologia Ambiental ha adquirit un pes creixent en els processos de presa de decisions per a al planificació i gestió del desenvolupament, explotació de recursos, conservació de la natura, entre d'altres.

Existeixen dos trets molt significatius que caracteritzen la Geologia Ambiental i que expliquen en gran part la importància recent d'aquesta. Per una banda posseeix una vessant de ciència aplicada a la resolució de problemes ambientals, i, per tant, amb un gran interès social. Per altra banda, la Geologia Ambiental és en gran mesura, com totes les Ciències de la Terra, una ciència cartogràfica, recolzada en els mètodes de treball tradicionals de la Geologia. És a dir, l'elaboració de mapes precisos i la representació cartogràfica dels escenaris naturals. Això té una importància cabdal per a l'elaboració de documents de treball operatius de cara a la planificació del territori. Precisament aquestes dos característiques senyalades es reflecteixen clarament en els dos grans conjunts de línies de treball que es poden identificar en aquesta branca de la Geologia (Agueda et al., 1984):

- *Estudis específics*, centrats en l'anàlisi de problemes o aspectes concrets del medi: estudi de riscos, avaluació i conservació de recursos hídrics, geoquímica i salut, entre d'altres.
- *Estudis d'avaluació general del territori*, orientats a la ubicació espacial de les activitats humanes: cartografia geocientífica i planificació-gestió territorial.

El caràcter de ciència aplicada a la resolució de problemes ambientals és un dels aspectes de major interès dels estudis de la Geologia Ambiental. Precisament com a resposta al creixent nombre de problemes existents en l'actualitat, recentment han sorgit una gran quantitat de treballs i publicacions d'orientacions diverses, des d'aquells que aborden els problemes relacionats amb la contaminació i geoquímica ambiental fins als estudis hidrogeològics o els de riscos naturals. Aquest ampli ventall d'aproximacions a l'estudi geològic del medi es podrien agrupar en quatre grans blocs:

- Estudis lligats a l'anàlisi del medi com a recurs,
- Estudis de processos-riscos,
- Estudis d'impactes originats per les activitats humanes en el medi, i
- Estudis de cartografia i avaluació geoambiental per a la planificació

Els tres primers corresponen al conjunt d'estudis específics i el quart al d'avaluació general del territori, indicats anteriorment.

Aquests camps d'actuació apareixen reflectits en les diferents sessions científiques que es van desenvolupar durant la última Reunió Nacional celebrada a Granada el 1996 (*VIº Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*), en la qual es tractà: tècniques i aspectes metodològics, contaminació ambiental, sismicitat i tectònica, torrencialitat, inundacions, erosió i desertificació, aspectes ambientals i riscos naturals en la planificació, patrimoni geològic i monumental, didàctica ambiental, geomorfologia, paisatge i restauració, i moviments de vessant i allaus de neu.

Possiblement el diagnòstic més adequat de la situació actual del treball en Geologia Ambiental i de les línies d'actuació que es consideren de major interès, pot obtenir-se a partir de les conclusions i recomanacions que formula la Comissió de Ciències Geològiques per a la Planificació Ambiental (COGEOENVIRONMENT) de la *International Union of Geological Sciences* (IUGS- COGEOENVIRONMENT, 2002). Com a objectius generals es plantegen els següents:

- Incrementar el coneixement per part del públic en general sobre la importància dels processos geològics en la planificació i control del medi ambient.
- Realitzar un seguiment sobre la contribució de les Ciències de la Terra en la planificació i gestió ambiental.
- Promoure la comprensió creixent entre els responsables de la presa de decisions del valor de les geociències en la planificació de l'ús i protecció de l'ambient.
- Reforçar l'interès i la participació de la comunitat geocientífica en el procés de planificació, incentivant la sensibilització dels diferents interessos econòmics, socials i polítics involucrats.
- Recolzar l'ús ambientalment correcte dels recursos energètics i minerals per a un desenvolupament sostenible.
- Promoure la investigació destinada a una major comprensió dels processos ambientals i el desenvolupament de noves concepcions i metodologies en la resolució de problemes ambientals.

- Millorar la capacitat de predicció de l'evolució del territori i dels processos geològics que afecten a la societat a curt i mitjà termini, especialment a l'avaluació dels impactes ambientals i els riscos naturals.
- Millorar la comunicació, cooperació i flux d'informació entre els científics de la Terra i altres professionals que treballen en aquest camp, especialment en aquells països on la problemàtica ambiental es més severa.

Segons aquesta comissió (COGEOENVIRONMENT de la IUGS), es continua treballant en la consolidació de les línies de treball anteriorment indicades. Probablement, les més novedoses són aquelles que deriven dels treballs desenvolupats pels diferents Grups de Treball Internacionals. Aquest equips treballen en els camps denominats: Geologia Urbana, Geoindicadors, Geologia Mèdica i Geoecologia. Caldria destacar el fet que es tracta, majoritàriament, d'equips interdisciplinars amb enfocaments metodològics clarament sistèmics. Aquest fet suposa una concreció real d'idees conceptuais sobre les que es fonamenten la Geologia Ambiental. Es tracta, des del nostre punt de vista, d'una clara aposta cap a enfocaments integradors propis de les Ciències Ambientals.

Com a exemple d'aquest tipus d'enfoc més pluridisciplinar presentem a continuació una visió ràpida del camp de treball en relació amb la Geologia Mèdica. L'altre enfoc, més clàssic, el de la contribució de les Ciències Geològiques al coneixement de problemes d'àmbit global, pot ser exemplificat en l'estudi dels Geoindicadors.

Vivim en un ambient canviant del qual podem comprovar el seu deteriorament, generalment explicat per l'impacte negatiu de l'activitat humana sobre la natura. De totes maneres, existeix una contribució dels processos naturals en la condició canviant del medi ambient, una contribució relacions amb l'ambient de la qual han estat tradicionalment ignorades en el seguiment ambiental. Existeix actualment una profunda conscienciació sobre les formes en què l'activitat humana afecta directament al bon estat del nostre ambient. Però és menys conegut que les accions humanes tenen un lloc dins d'una sèrie de canvis naturals que es desenvolupen a diferents escales temporals. A més de fenòmens meteorològics extrems i desastres naturals com els terratrèmols, erupcions volcàniques o moviments de vessant, aquests canvis inclouen també variacions en el quimisme de les roques, els sòls i les aigües, en les taxes d'erosió i de resedimentació dels productes resultants, entre d'altres.

Existeix la concepció errònia que els canvis geològics succeeixen de forma massa lenta com per a ser tinguts en compte en el control del canvi ambiental. Tot i ser cert per a determinats processos, no és una afirmació del tot encertada per als que afecten a l'ambient a una escala temporal diària, estacional o anual. Per a la comunitat científica, aquells processos que poden variar en poc temps en una magnitud significativa, que pot ser enregistrada des del punt de vista ambiental, es defineixen com a Geoindicadors (Satkunas

et al., 2001). Són paràmetres de processos i fenòmens geològics, que ocorren en o prop de la superfície terrestre, els quals estan subjectes a variacions representatives del canvi ambiental al llarg de períodes de temps de 100 anys o menys.

Els geoindicadors tenen a veure tant en els events catastròfics com en aquells que succeeixen gradualment però de forma evident dins d'una escala de temps humana. Es concentren en els aspectes abiòtics dels ecosistemes i els paisatges. Els indicadors ambientals no són independents els uns dels altres, no poden ser considerats individualment sinó que han de ser tinguts en compte com a parts integrants d'un projecte ambiental. És important tenir en compte que els geoindicadors han de ser inclosos en els procediments de control ambiental com una de les principals fonts d'informació necessàries per la gestió i rehabilitació del territori i dels ecosistemes.

Pel que fa a la Geologia Mèdica, aquesta es defineix com la ciència que tracta la relació entre els factors geològics naturals i els problemes de salut en l'home i els animals, i de la comprensió de la influència de factors ambientals normals en la distribució geogràfica d'aquests problemes (Selinus, 2002). La Geologia Mèdica és una disciplina molt àmplia i complexa, que requereix una contribució multidisciplinària des de diferents camps científics (Geociències, Medicina, Veterinària, Biologia, Epidemiologia, Patologia) si es vol comprendre, mitigar o resoldre aquest tipus de problemes.

La Geologia Mèdica té una estreta relació amb els geoindicadors. Estudis específics sobre Geologia Mèdica demostren una clara relació entre alguns geoindicadors (qualitat del sòl i de l'aigua superficial i subterrània, abundància natural de determinats elements com el Hg, As, Pb, etc.) i la qualitat ambiental, així com el seu impacte directe en la salut humana, animal o dels ecosistemes. La Geologia Mèdica contribueix a una millor comprensió del significat dels geoindicadors, i demostra el tipus d'observacions necessàries sobre els fenòmens geològics naturals que permeten una avaluació apropiada dels impactes potencials de l'ambient en la salut.

1.2.1.3.- Continguts de la Geologia Ambiental

Segons Cendrero (1980), el conjunt d'aspectes o problemes a estudiar dins de la Geologia Ambiental es poden emmarcar en dos grans grups: materials-recursos i processos-riscos. Aquests queden resumits a la taula 1.1.

a) Materials-Recursos

- Propietats físiques i químiques de les roques i dels dipòsits superficials (influència per a la construcció, agricultura, etc.)
- Recursos minerals (localització, explotació, conservació)
- Recursos energètics (localització, explotació, conservació)
- Roques industrials (localització, explotació, conservació)
- Aigües subterrànies (situació dels aquífers, cabals, qualitats, intrusions salines, zones de recàrrega, vulnerabilitat a la contaminació)
- Aigües superficials (cabals, qualitats, contaminació)
- Sòls (productivitat, propietats físiques i químiques)

b) Processos-riscos

- Meteorització
- Conques fluvials (dinàmica, evolució)
- Sedimentació i colmatació en cursos y masses d'aigua
- Eslavissaments, estabilitat de pendents
- Erosió de vessants i de cursos
- Inundacions
- Processos costers
- Compactació i subsidència en materials no consolidats
- Enfonsament i col·lapse de cavitats
- Canvis de volum
- Processos eòlics
- Processos glacials
- Vulcanisme
- Sismicitat
- Cicles geobioquímics
- Processos humans:
 - Grans obres i els seu impacte (cimentacions, erosió, suministre de sediments a les aigües, etc.)
 - Minería (impactes de les activitats extractives en aigües i sòls, col·lapse de cavitats, etc.)
 - Eliminació de residus sòlids i
 - Subsidència per extracció de fluids
 - Agricultura (alteració dels sòls, contaminació d'aigües i sòls)
 - Activitats contaminants diverses

Taula 1.1.- Resum d'aspectes o problemes a estudiar dins de la Geologia Ambiental (Cendrero, 1980)

A aquesta relació, amb la que no es pretén establir un esquema concret de classificació ni

tampoc proporcionar un llistat exhaustiu, caldria afegir dos temes molt importants de caràcter genèric :

- Conservació de trets geològics d'interès científic-educatiu-cultural
- Recollida, valoració, presentació i integració de la informació d'altre tipus per a l'ajuda en els processos de presa de decisions

És a dir, ens trobem amb l'estudi de les característiques actuals de "l'estructura" geològica del territori i amb l'estudi de la seva dinàmica tot relacionat amb l'acció de l'home. I també, d'acord amb l'esquema inicial, amb la necessitat d'expressar la localització —l'expressió cartogràfica dels diferents elements— per tal de poder fer recomanacions sobre usos, activitats, entre moltes d'altres, més o menys convenients en cada cas i lloc.

Sembla clar que per a l'estudi dels Processos i Recursos Geològics des d'aquesta perspectiva Geoambiental es requereix sobretot un nou enfocament en l'estudi dels problemes diferent al de la Geologia tradicional. Aquí ha de ser de caràcter interdisciplinari i integrador, i ha d'instrumentalitzar els coneixements i destreses tradicionals per a la resolució de determinats problemes, aplicant en ocasions metodologies i tècniques que difereixen bastant de les emprades convencionalment.

1.2.1.4.- Mètodes i tècniques

D'acord amb la diversitat de continguts o temàtiques que comprèn l'estudi dels Processos i Recursos Geològics els mètodes són, així mateix, molt variats. A grans trets, seguint les propostes de Cendrero (1980), les línies metodològiques responen a dues tipologies. Per una banda hi ha l'estudi de problemes específics i concrets, en general aplicant tècniques i mètodes tradicionals, sobre aspectes ambientals com la contaminació d'aigües subterrànies o la determinació de la capacitat portant del terreny. Aquest enfoc resulta de l'aplicació dels mètodes propis de les diferents disciplines que participen en els continguts de la Geologia Ambiental.

Per altra banda tenim l'enfoc global del tema, l'estudi integral d'una porció del territori de cara a senyalar "in genere" i no per la solució d'un problema molt concret. Per a això l'instrument més adequat, també el més nou i menys emprat fins fa pocs anys per especialistes de les Ciències de la Terra, és la cartografia geoambiental o la cartografia geocientífica del medi natural, així com els esquemes metodològics encaminats a la seva selecció, elaboració, avaluació i presentació en forma directament utilitzable per a la presa de decisions sobre l'ordenació territorial. És una cartografia elaborada amb un enfocament

“prospectiu”, que pretén donar resposta a diferents interrogants que es puguin plantejar en un futur.

D'acord amb els treballs de Bennet & Doyle (1997), Betz (1975), Cendrero (1980), Coates (1981), Cooke & Doornkamp (1990), Culshaw et al. (1987), Díaz de Terán (1985), Keller (1992) i Pedraza (1987), les eines emprades en la Geologia Ambiental comprenen els següents mètodes i tècniques de treball:

- Documentació prèvia (o treball de despatx)
- Cartografia o documentació basada en el treball de camp
- Estudi territorial
- Seguiment de dades ambientals
- Eines de presentació

1.2.1.4.1.- Documentació prèvia

A partir de la consulta d'arxius de dades es pot obtenir una gran quantitat d'informació referent a la regió, localitat o problema específic. Això proporciona una via ràpida d'obtenció d'informació a baix cost. Fonts habituals d'informació prèvia són els mapes publicats i inèdits; articles, informes i llibres publicats i inèdits; registres locals i oficials; informes d'empreses; dades estadístiques; etc. La disponibilitat d'aquest tipus de documents depèn de la naturalesa pròpia de la regió o país, o de la tipologia del problema a analitzar.

A banda de les dades clàssiques, recentment estan essent accessibles diferents tipus d'imatges remotes de la majoria de les parts del món, que aporten informació específica tant per projectes locals com regionals. Les fotografies aèries permeten una cartografia ràpida i orientativa dels usos del sòl, geomorfologia, estructura geològica i afloraments litològics. A més, la variació temporal de l'ambient d'estudi pot ser comprovada més efectivament a través de seqüències de fotografies aèries o ortofotomapes.

La creixent sofisticació dels sistemes de processament d'imatge permet actualment la generació de models digitals del terreny a partir de fotografies aèries, permetent una visualització més efectiva del terreny i una quantificació de les característiques de les formes d'aquest, com per exemple la pendent o orientació de les vessants. Les imatges de satèl·lit, que contenen un rang de dades espectrals encara més ampli, poden proporcionar informació d'aspectes com la vegetació, usos del sòl, geomorfologia, litologia, estructura geològica, contingut en aigua superficial, contaminació del sòl i l'aigua, entre molts d'altres. La disponibilitat de seqüències d'imatges de satèl·lit via Internet ha aportat noves possibilitats en la gestió ambiental. La percepció remota és, probablement, una de les eines més importants de la que disposem en aquest camp.

1.2.1.4.2.- Cartografia o documentació basada en el treball de camp

És una àmplia varietat de tasques basades en el treball de camp, reflectit a l'amplitud de problemes a tractar. La llista següent proporciona alguns dels aspectes clau que cal considerar en la recol·lecció de dades d'aquesta mena, relacionada amb els principis de la realitat comercial o activitat professional.

1. *Avaluació de la tasca.* Per ser efectius des del punt de vista de costos, només s'han de recollir a camp les dades directament relacionades amb el problema o tasca particular tractada. Igualment, tota aquesta informació s'ha de recollir durant la visita a camp, ja que d'una altra forma seria massa costós el fet d'haver de tornar a camp per obtenir les dades restants. És important no duplicar dades ja obtingudes per altres fonts publicades o inèdites. Al principi del projecte cal confeccionar una llista de les variables rellevants al problema, ja sigui amb la referència a estudi previ o de literatura ja publicada.
2. *Tipologies de treballs de camp.* Se'n distingeixen tres:
 - a. Comprovació d'una cartografia o informació prèvia, derivada del treball de gabinet o percepció remota
 - b. Recopilació de dades addicionals o complementàries amb l'objectiu de millorar una font ja existent. Pot incloure mostreig de camp i certificació de, per exemple, dades geoquímiques, propietats físiques de les unitats litològiques, entre d'altres.
 - c. Adquisició de noves dades de camp. La tipologia de la tasca a realitzar i la qualitat de la informació adquirida durant l'etapa de documentació prèvia determinarà el balanç relatiu entre les tres tipologies de treball de camp.
3. *Escala espacial.* L'escala espacial d'un projecte pot variar des d'un nivell puntual (en general de pocs metres) a una dimensió regional (varis km). Els estudis específics d'una localitat es realitzen habitualment a partir de mapes de detall, notes de camp, esquemes i fotografies de detall. Problemes que involucren una àrea major s'enfoquen a nivell cartogràfic, sovint en base a tècniques de percepció remota. En aquests projectes de base cartogràfica es requereix d'una sistematització per a la recol·lecció de dades. Molts treballs cartogràfics impliquen la identificació de parcel·les de terreny amb diferents tipus de límits, per exemple els afloraments d'una determinada litologia. Altres tipus de dades poden ser obtingudes a través de mostres sistemàtics en base a una quadriculació del terreny. Cal sempre prendre una sèrie de decisions prèvies referent a la recopilació de dades en funció dels

mètodes que es faran servir en la posterior anàlisi. És important agafar les dades en el format correcte.

4. *Dades basades en observacions o dades instrumentals.* Les dades derivades d'observacions es recopilen sistemàticament en mapes, al llarg de perfils, en columnes o figures detallades. Típicament aquest tipus de dades inclouen mapes d'afloraments geològics, estructurals, hidrogeològics, geomorfològics o d'usos del sòl. Els mapes d'afloraments geològics recullen la distribució espacial de les unitats litològiques, contenint a més informació de tipus estructural, mentre que un mapa estructural registra les principals falles, plecs i altres aspectes tectònics d'una àrea determinada. Els mapes hidrogeològics contenen diverses variables, com l'extensió de les unitats hidrogeològiques, profunditat del nivell freàtic i direcció dels fluxos subterranis. Els mapes geomorfològics contenen detalls sobre la morfologia de la superfície del terreny i els processos que hi operen. En general es confeccionen en un mapa topogràfic, fotografia aèria o ortofotomapa, sobre el que s'anota la simbologia corresponent a ruptures de pendent (mapa morfològic), formes específiques (mapa morfogenètic) o processos. Els mapes d'usos del sòl es confeccionen sobre la base d'una àmplia varietat de dades a partir de mapes més generals de classificació d'usos del sòl, en els quals les parcel·les de terreny assignades a classes com agrícola, industrial o residencial es reassignen en funció de les diferents tipologies de comunitats vegetals, etc. Existeixen molts altres tipus de mapes específics o temàtics (geotècnics, de vulnerabilitat, etc.).

Les dades instrumentals poden provenir tant del laboratori com del camp, i en general es representen gràficament, tot i que la seva representació absoluta o relativa sol ser comuna en els mapes. Les dades de laboratori impliquen un mostreig d'una àrea concreta segons un pla estratègic, amb la finalitat d'obtenir un material per a l'anàlisi geoquímica o geotècnica. Les dades de camp de tipus instrumental s'obtenen, per exemple, a partir de tècniques geofísiques, sondatges, cales, o anàlisis in situ de la qualitat de l'aigua.

1.2.1.4.3.- Estudi territorial

En sentit estricte, comprèn l'avaluació o reconeixement del paisatge físic i els seus materials en vistes d'un objectiu específic. Hi ha dos tipus d'enfocs: el paramètric i el fisiogràfic

1. *L'estudi paramètric* implica la consecució d'un mapa secundari, o una sèrie de mapes, que resumeixen determinats aspectes del territori rellevants per a un aspecte específic. Es tracta de la manera típica en què són confeccionats els mapes

de Processos i recursos Geològics, i constitueix una eina essencial en la Geologia Ambiental. Existeixen dos enfoc respecte aquesta línia analítica del terreny:

- *Aproximació interrogativa.* En aquest cas, les porcions individuals del terreny, o localitats, es llisten en funció de paràmetres determinats. La zona d'estudi es divideix en quadrícules (píxels) o qualsevol altra unitat arbitrària, i cada àrea es classifica en funció d'un esquema predeterminat. En general, això implica que l'operador visiti cada porció de terreny individualment.

 - *Combinació de cartografies.* Es combinen un sèrie de mapes d'atributs senzills (tipus de sòl, geomorfologia, geologia, valor del sòl...) per tal d'obtenir un mapa compost. La metodologia amb la que s'obtenen aquests mapes es pot basar en diferents estratègies. Per exemple, un "mapa filtre" pot ser obtingut simplement sobreposant un conjunt de mapes temàtics, cada un dels quals mostri les àrees no aptes per a una determinada activitat, tal com abocadors o explotacions d'àrids naturals. Les parcel·les no coincidents en cap dels mapes una vegada hagin sigut sobreposats s'identificaran com a zones aptes per tal activitat i s'indicaran en el mapa resultant. De forma alternativa, els mapes poden ser sobreposats de manera que s'obtinguin noves categories de dades en funció de les possibles combinacions entre atributs. Com a resultat s'obté un mapa que mostra la distribució de cada possible combinació d'atributs. La forma més habitual és utilitzar algun tipus de sistema de puntuació per obtenir el mapa de resultats. Aquest procés es pot basar en el coneixement intuïtiu del procés, o basat en un model estadístic. Per exemple, la comparació estadística d'un conjunt de mapes d'atributs senzills amb un mapa de registre de moviments en massa es pot emprar per identificar aquelles combinacions de factors més comunes associades amb l'ocurrència d'inestabilitats. Aquest tipus de dades estadístiques poden ser de gran utilitat a l'hora de produir mapes de riscos a partir de mapes de variables específiques o individuals. La majoria de mapes de riscos impliquen algun tipus de sistema de quantificació intuïtiu o probabilístic. Els Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) han representat un paper molt important recentment en el desenvolupament de tècniques analítiques d'aquest tipus.
2. *L'anàlisi fisiogràfic o de caràcter sintètic* del terreny té en compte les propietats físiques de la superfície del terreny per dividir-lo en una seqüència natural d'unitats conegudes com a "landsystems". La idea es basa en considerar els processos erosius i deposicionals, el clima i la naturalesa del substrat rocós com els responsables de la pauta topogràfica i de sòls d'una determinada regió. Aquest mètode és doncs, una classificació científica del territori basada en la topografia,

sòls i vegetació, correlacionable amb la Geologia, la Geomorfologia i el Clima. És a dir, analitza el territori d'una manera integrada. La intenció d'aquest tipus d'anàlisi és reconèixer patrons repetitius o recurrents dintre del paisatge. Cadascun d'ells és després calibrat amb observacions de camp, com localitats típiques per a determinar la seva aptitud per a un objectiu concret, com esquemes d'enginyeria civil, o explotació de recursos. Quan s'ha establert i calibrat un "landsystem" en un punt determinat, aquest pot ser utilitzat per a cartografiar o identificar àrees de probables característiques similars en altres parts. D'aquesta manera, es poden predir problemes en enginyeria civil, o permetre la identificació de possibles àrees de prospecció minera. Aquest tipus d'anàlisi territorial s'ha vist millorat en efectivitat per la disponibilitat de dades de percepció remota per satèl·lit. La informació digital obtinguda d'aquest tipus de fonts permet l'estadística en sentit oposat a la identificació visual. En alguns països, aquest tipus d'anàlisi ha estat utilitzat àmpliament com base del reconeixement dels recursos nacionals.

1.2.1.4.4.- Seguiment de dades ambientals

El seguiment de dades ambientals és funció del temps. Aquest constitueix un problema considerable ja que en general no se'n disposa del suficient per a observar molts fenòmens a causa de limitacions econòmiques, o per sobrepassar l'escala de temps humà. Això és un inconvenient greu per a la Geologia Ambiental predictiva. Preguntes comunes plantejades, especialment pel que fa a processos geomorfològics són: A quina velocitat es produeix l'erosió? Quan serà la pròxima inundació? Com canviarà la sedimentació amb el temps? Malgrat que aquestes qüestions són difícils de respondre a curt termini, per al geòleg ambiental és necessari trobar una solució, i algun tipus de seguiment és requerit, encara que també cal dir que cada vegada més la modelització per ordinador adquireix una importància creixent.

Bàsicament, es poden diferenciar metodologies directes i indirectes de seguiment:

1) Els *mètodes directes* impliquen l'observació d'un procés o una morfologia durant un període de temps. La durada requerida per a obtenir resultats satisfactoris depèn de la taxa de canvi a ser amidada. La precisió de l'equip de mesura necessari ve determinada per la magnitud del canvi a controlar: com més gran sigui el canvi, menor precisió es necessita en l'equipament. Òbviament, la taxa de canvi ha de ser sempre major que el marge d'error dels aparells utilitzats. Aquest tipus de metodologia implica la realització de campanyes repetitives, l'ús de fotografies fixades en un punt concret, o l'ús d'instrumentació. La seva aplicació ve limitada en general pel temps disponible per a l'obtenció de les dades.

Els mètodes directes com la datació i l'evidència geològica poden ser usats per a establir la freqüència d'un esdeveniment dins d'un interval de temps. Aquest tipus de dades podria correspondre's amb la recurrència de certs horitzons estratigràfics en una seqüència que indiqui inundacions, focs o altres esdeveniments.

2) Els *mètodes indirectes* proporcionen informació relativament ràpida i es solen utilitzar de forma més comuna en Geologia Ambiental. Es distingeixen cinc tipus bàsics de mètodes indirectes o secundaris:

- Deducció a partir de la morfologia o el volum de sediments. La quantitat de sediment o el volum d'una morfologia produïda per un determinat procés és normalment indicativa de la seva magnitud. Per exemple, si és possible estimar el volum de sòl dipositat després d'una tempesta en els desguassos i el paviment, es pot obtenir una estimació de la taxa d'erosió del sòl si l'àrea de procedència dels dipòsits és coneguda. En general, com més sediment hi hagi, major serà la magnitud de l'erosió del sòl.
- Extrapolació des d'una localitat coneguda a una localitat desconeguda. En aquest cas, per predir la taxa de canvi d'uns a altres s'utilitzen relacions empíriques desenvolupades en una altra localitat o gràfics experimentals.
- Simulació numèrica i física. En el passat, models a escala de ports, estuaris i rius s'havien utilitzat per examinar problemes de sedimentació com a conseqüència dels treballs d'enginyeria civil. Avui, aquest procés ha estat reemplaçat per la simulació de models per ordinador, una eina en constant sofisticació en la predicció i seguiment ambiental. La modelització es realitza ja de forma habitual en la investigació ambiental.
- Correlació entre espai i temps. Aquesta metodologia implica l'ús de dades espacials per indicar tendències temporals. Per exemple, en una població d'edats diverses, hi ha representats diferents estadis de la seva evolució. Amb l'estudi de tots els exemples presents avui en dia, es pot inferir un model d'evolució temporal d'aquestes morfologies, útil per a la predicció del canvi ambiental a llarg termini.
- Dades històriques. L'ús de dades històriques constitueix un complement important al seguiment de dades ambientals. La informació es pot obtenir de quatre formes distintes:
 - a) gràficament, incloent antics mapes, fotografies aèries, pintures o fotografies ordinàries;

- b) informes escrits, com articles de periòdics, anuals o altre tipus de registre d'esdeveniments;
- c) evidència oral d'observacions; i
- d) sèries de dades estadístiques, com les dades meteorològiques, registres mareals o fluvials.

Les dades històriques són una bona eina allà on existeixen suficients registres, encara que es requereix una certa precaució a l'hora de la seva interpretació. Es poden introduir errors en la informació històrica durant el seu registre, durant les seves còpies o edicions posteriors, o durant l'arxiu o el maneig dels documents. Amb l'ús de dades històriques és freqüent intentar la comprovació interna i externa de canvi o esdeveniment. La comprovació interna consisteix en la verificació de l'evidència. Això es porta a terme amb una sèrie de comprovacions. La comprovació externa consisteix a buscar altres dades o registres històrics secundaris que confirmin el fet inicial.

1.2.1.4.5.- Presentació de les dades

Una correcta i adequada presentació de les dades constitueix una de les parts essencials de la Geologia Ambiental. Majoritàriament es treballa per a persones no especialitzades, per tant, és essencial que la informació sigui clara, concisa, i en el format que pugui ser comprensible i fàcilment interpretat pel no especialista. Els mapes geoambientals en són el paradigma ja que són un mitjà ideal per manejar les dades, visualment assisteixen i fan comprensibles relacions espacials i transmeten aquesta informació a terceres persones (Bobrowsky, 2002).

A l'hora de resumir els resultats, el tècnic ha de tenir en compte els següents aspectes:

- Naturalesa de l'informe. És important tenir en compte si es requereixen recomanacions específiques, o simplement tenir present qui serà la persona que prendrà la decisió final sobre la base de la informació proporcionada. El producte final i la seva presentació han de contemplar les necessitats de l'usuari.
- Naturalesa del peticionari. És important tenir en consideració el tipus de persones que encarreguen i financen l'estudi, és a dir, si es tracta d'especialistes o no. L'informe final i la informació gràfica s'ha d'adaptar al nivell del sol·licitant. Si la informació i les recomanacions no poden ser enteses per les persones interessades, probablement no seran tingudes en compte.

- Llegendes de la cartografia. Per ser útils, els mapes presentats i les seves implicacions han de ser necessàriament clares, intel·ligibles i sense ambigüitats. Per exemple, les zones amb el risc d'allaus als Alps suïssos es representen en només tres colors i es defineixen en funció de les limitacions de planificació en la construcció. La necessitat de claredat en les presentacions d'informació geològica per a persones no familiaritzades ha conduït al desenvolupament dels mapes temàtics. Aquest concepte ha estat aplicat a la planificació d'usos del sòl en moltes parts del món. En general, cada làmina en una sèrie de mapes presenta un tema diferent simplificat de manera considerable per la major facilitat d'interpretació de l'usuari final. Per a una àrea particular, es produeixen una sèrie de mapes, on cadascun d'ells resumeix una variable rellevant per a la planificació, tal com el pendent del terreny, condicions del subsòl, àrees d'interès científic o natural, recursos minerals, etc. La major part de la informació en aquests mapes està també disponible en mapes i bases de dades especialitzats o tècnics, però la intenció d'un mapa temàtic és la de proporcionar informació sota una visió senzilla i a una escala estàndard, de manera que pugui ser fàcilment interpretat per una persona profana.
- Auditoria interna i externa. Tota la informació, mapes de resum i recomanacions han de ser molt precisos, particularment pel que fa a qüestions de seguretat pública, i per tant de responsabilitat. Especialment, les recomanacions han de ser ajustades als estàndards de qualitat del país. A més, un bon producte final és la millor manera d'assegurar futurs contractes consultius. Els informes finals han de ser sotmesos a auditories de qualitat, tant internes com externes. Per tal d'assegurar que això sigui possible es fa necessari que es proporcionin clarament els mètodes i fonts d'informació utilitzats en l'estudi. Si hi ha alguna ambigüitat sobre com s'ha obtingut la informació, la veracitat final de l'informe podrà ser qüestionada.

En essència, l'especialista en Geologia Ambiental i els seus productes actuen com a nexes d'unió entre els responsables no especialitzats i els detalls tècnics del tema en qüestió. Sis poden ser els conceptes clau que resumeixen les característiques comercials del treball: **intel·ligible, concís, clar, justificat, raonat i rellevant.**

A més, als responsables d'efectuar i dur a terme la gestió i planificació d'un territori concret, a fi efecte de poder actuar de la forma més encertada, podríem resumir que els cal (Jordana & Dalmases, 2002):

- tenir accés ràpid a totes les dades existents,
- aconseguir que les dades estiguin disponibles en formats que les facin compatibles i utilitzables conjuntament,

- dur a terme consultes complexes al conjunt de dades, inclòs l'anàlisi espacial en relació amb tot el territori gestionat i la correlació amb l'evolució històrica dels processos considerats, i
- disposar de la possibilitat de representar les dades incorporant la seva ubicació geogràfica, que és la que en bona mesura els dóna sentit.

En lloc de tenir aquestes necessitats bàsiques, a la realitat tot i existir moltes dades recents i històriques, la gran majoria es troben "amagades" en forma de literatura, a vegades inèdita, en treballs i estudis dispersos, en cartografies elaborades expressament per a algun estudi particular o bé en cartografies que tenen diferents escales, llegendes, projeccions o, en el cas de disposar d'informació digital, extensions informàtiques. En aquests casos la informació es té però és del tot impossible disposar al cent per cent d'ella ni creuar-la per manca d'homogeneïtat. Per aquest motiu en qualsevol treball s'ha de preveure una tasca, sovint poc tinguda en compte i infravalorada, de recollida i homogeneïtzació de dades. En conseqüència, és difícil generar estudis coherents i de visió àmplia, que tinguin en compte sèries històriques llargues i alhora que aglutinin el màxim conjunt de dades disponibles.

Aquesta problemàtica i manca d'homogeneïtzació són unes de les raons i objectius que ens han esperonat a dur a terme aquesta tesi doctoral. El fet d'emprar i gestionar el gran volum de dades territorials dins d'un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) és una de les aportacions que creiem que poden afavorir a la suplència d'aquestes necessitats bàsiques per gestionar, regular i ordenar l'àmbit d'estudi d'aquesta recerca. A l'apartat d'annexes és on es mostren els mapes temàtics més rellevants que aglutinen la producció d'informació creada en aquesta recerca. En quant a la sèrie de mapes secundaris realitzats per a l'anàlisi d'aquests principals es van presentant a mesura que es citen dins el text de la memòria en format figura. De totes maneres molta de la informació creada en aquesta tesi doctoral és consultable digitalment amb SIG.

2.- SITUACIÓ I ÚS DEL TERRITORI

En aquest capítol es fa una síntesi de l'enfocament que s'ha volgut donar a l'hora de tractar el territori i com aquest s'ha dividit en unitats territorials mínimes d'estudi: la conca hidrogràfica. A més es situa i localitza geogràficament l'àrea d'estudi alhora que intenta, sense afany de fer-ho de manera exhaustiva, fer una breu introducció al marc contextual en la vessant ambiental i d'ús del territori de la Costa Brava.

2.1.- El sistema conca hidrogràfica com a unitat territorial - ambiental d'estudi i de gestió

La conca hidrogràfica actua com a un sistema natural obert, el qual depèn de diferents factors interrelacionats. Qualsevol alteració d'un d'aquests fa que el sistema també es vegi afectat, produint-se alguna modificació de la dinàmica o morfologia de la llera (Ayala et al.,

1987). Per tant, aquest sistema delimitat per la divisòria d'aigües, actua com a un sistema procés-resposta autorregulat. Durant un cert període de temps aquest sistema arriba a assolir l'equilibri entre tots els seus factors geoambientals. Qualsevol canvi d'alguns dels seus paràmetres, com podria ser una modificació del règim pluviomètric, el canvi de l'ús del sòl, l'aportació de sediments al·lòctons o modificant els paràmetres hidràulics excavant la llera, produeix una alteració en el sistema que es tradueix automàticament en una modificació de la dinàmica i la morfologia del curs fluviotorrencial (Morisawa, 1985). Aquesta modificació es produirà per tal d'arribar novament a l'equilibri. El clar exemple d'això es pot veure en la soscavació dels pilars dels ponts que fa un curs fluvial per tal de restablir el perfil d'equilibri longitudinal com a conseqüència d'una extracció d'àrids aigües avall.

Les característiques biogeofísiques d'una conca tendeixen a formar sistemes hidrològics i ecològics relativament coherents, i per tant les conques hidrogràfiques s'haurien de fer servir com a unitats per a la planificació del desenvolupament (Rodgers et al., 1978). De totes maneres la planificació territorial en conques ja es porta a terme des de fa dècades, però sempre relacionada amb l'aprofitament de recursos hidràulics, com serien un exemple les "Confederaciones Hidrográficas" de l'Estat espanyol. La planificació de les conques hidrogràfiques va començar per tractar una problemàtica específica, com són les inundacions o l'abastament d'aigua per a consum humà. Més tard es va posar de moda l'enfocament de la planificació de propòsit múltiple, o sigui dividir el total de l'aigua disponible entre varis usos diferents. Aquest últim, però, pel fet que diversos usos de l'aigua són moltes vegades competitiu, li sorgeixen conflictes que fan que la planificació de propòsit múltiple sigui qüestionable. En certa mesura, la planificació integrada de conques hidrogràfiques fou la resposta a aquest problema ja que tracta de *coordinar i desenvolupar harmònicament els usos de l'aigua d'una conca mentre es tenen en compte altres processos de desenvolupament dins i fora d'aquesta* (Rodgers et al., 1978). La idea de planificació integral d'una conca és una extensió de la planificació integrada i va més enllà del recurs hídic específic per incloure-hi la major part dels altres recursos, així com molts aspectes de planificació socioeconòmica o regional (Forbes & Hodges (1971) en Rodgers et al., 1978). Amb aquesta idea la tesi que s'ha realitzat pretén incidir en variables geoambientals poc estudiades en l'àmbit de la Costa Brava, majoritàriament organitzades de manera natural en conques hidrogràfiques, per tal que sigui un marc de referència i una eina per a la posterior planificació integrada d'aquest litoral.

2.2.- Marc territorial

2.2.1.- Situació

L'estudi aquí present, que té com a objecte d'estudi les variables geoambientals d'un territori eminentment litoral, té com a marc territorial l'espai denominat Costa Brava Meridional, al nord-est de Catalunya i més concretament al sud-est de les comarques gironines.

Aquesta tram rocós del litoral és de caràcter escarpat i abrupte en molts trams, amb imponents penya-segats retallats per nombroses cales profundes i estretes separades per caps prominents, com correspon a una típica costa alta (Pallí & Brusi, 1992). Aquest tret geomorfològic ha donat lloc a la denominació genèrica de Costa Brava, terme que s'aplica de forma àmplia per referir-se a tot el litoral de les terres gironines. En aquest sentit, la Costa Brava, la longitud de la qual és de 221 km i només 57 són trams de costa baixa (Pallí & Brusi, 1992), s'estén des de la frontera amb França als Pirineus, fins a la desembocadura del riu Tordera, en el curs baix del qual limita amb les comarques barcelonines.

El traçat d'aquesta costa s'orienta resseguint fidelment les direccions de les grans unitats del relleu interior. Pren direcció nord-sud entre la frontera amb França i el Port de la Selva. Més al sud, entre aquest últim i Roses, els últims estreps pirinencs dirigits d'oest a est, envesteixen frontalment el litoral i formen la península accidentada i articulada del Cap de Creus. Des de Roses fins a Begur la costa agafa de nou una disposició nord-sud, obrint-se en ella dos grans golfs, el de Roses i els de Pals, separats pel massís del Montgrí. A partir del Cap de Begur i fins el delta del riu Tordera, s'orienta de nord-est a sud-oest, paral·lela a les serralades Litorals que constitueixen el Sistema Mediterrani.

2.2.2.- Localització

És aquest últim tram més meridional a on s'insereix la nostra àrea d'estudi (Figura 2.1). Comprèn bàsicament la façana litoral de les comarques gironines del Baix Empordà i La Selva, amb un total de 74,75 km de costa. Limita al nord amb la platja del Golfet de Calella de Palafrugell (terme municipal de Palafrugell, al sud del massís de Begur), i al sud amb la riera de Lloret, terme municipal de Lloret de Mar. Aquesta àrea seleccionada s'endinsa cap a terra ferma, des de la línia de costa fins al límits establerts per les divisòries d'aigües de les conques hidrogràfiques de les principals rieres, fet pel qual aquesta delimitació no correspon en cap cas a límits administratius. En total l'àrea d'estudi comprèn aproximadament 291,3 km². Com es comprovarà més endavant la delimitació territorial en conques dóna més sentit a l'estudi de variables geoambientals per a la planificació i gestió d'aquest.

En aquest tram del litoral, la costa és abrupta amb cales intercalades. La plataforma continental es caracteritza per estar formada per grans superfícies d'abració que comencen a fondàries de l'ordre de 80 metres a la Punta del Far i de 100 metres a la resta. Pel que fa al talús continental d'aquesta zona, destaca el Canó de la Fonera, davant de Llafranc.

Aquesta franja litoral està drenada bàsicament per una xarxa hidrogràfica, coneguda tradicionalment per l'administració, com a Rieres Costa Brava (DPTOP & DMA, 1992). Aquesta és constituïda per multitud de rieres i torrents que desemboquen directament al mar Mediterrani, orientats NW-SE, generalment de recorregut curt i de règim torrencial, per la qual cosa poden concentrar importants cabals d'aigua en un espai de temps relativament curt. D'aquestes rieres cal destacar-ne cinc bàsicament per ser les major entitat; aquestes, de nord a sud, són: l'Aubi, la riera de Calonge, el Ridaura, la riera de Tossa i, finalment, la riera de Lloret.

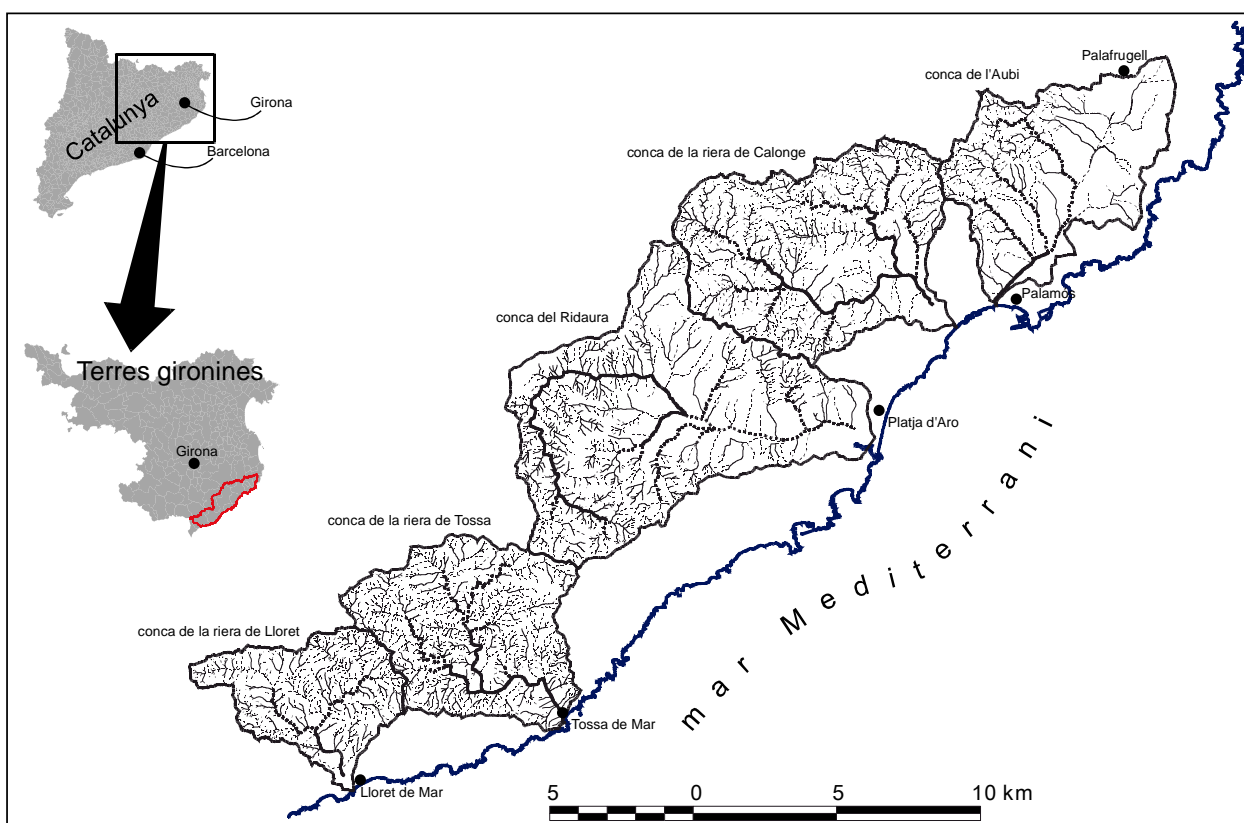


Figura 2.1.- Localització de l'àrea d'estudi i les principals subconques estudiades

2.3.- Ocupació del territori

Dins el que hem denominat ocupació del territori s'han volgut destacar els fets principals que han acabat decidint de manera evident l'evolució i l'ordenació del nostre àmbit d'estudi, amb una component socioeconòmica basada en el turisme de masses, i que des de tots els sectors implicats es veu la clara necessitat d'una planificació i gestió integral i definitiva d'aquest territori.

No va ser fins a partir dels anys cinquanta, època posterior a la postguerra i en plena dictadura, que es van començar a dibuixar els primers intents de planificar el territori. En aquesta dècada i en la dels seixanta els esforços es van centrar a dotar d'habitatges a les ciutats degut a les intenses migracions del camp. En aquest període es prioritzava la urbanització del territori sense tenir gaire presents, o gens, les vies de comunicació, els serveis o els equipaments. L'únic intent de planificació fou l'aprovació l'any 1956 de la *Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana de 12 de mayo*, que tipificava figures urbanístiques legals, els organismes de control, i encetava l'inici de la redacció dels plans generals o normes subsidiàries de tots els municipis.

Aquest intent d'ordenació va quedar ofegat ràpidament per un nou context econòmic i polític caracteritzat pel *desarrollismo* com a model economicosocial. Era el període del *Plan de Estabilización* del 1959, que afavoria un creixement ràpid i intens basat en la industrialització i el turisme com a gran font de diners. Per tant, els anys seixanta es van caracteritzar per un procés d'urbanització excepcional sense cap mena de regulació urbanística llevat de pocs casos. Els plans que es van fer durant aquesta època eren bàsicament paper mullat o recolzaven explícitament el *desarrollismo*. Com comenten varis autors, el punt més important d'aquesta febre urbanitzadora va ser la dispersió del sòl susceptible a ser urbanitzat en forma de taca d'oli; és a dir, la no diferenciació de les qualitats o aptituds que té el territori per ser edificat o preservat. Els aspectes paisatgístics, ecològics o d'equilibri territorial són deixats en segon terme i tot el sòl proper als nuclis preexistents o que pot disposar de comunicació és considerat com a apte per urbanitzar.

De totes maneres, la tendència urbanitzadora del període 1957-1974 respecte al de 1974-1993 ha estat la mateixa o fins i tot ha augmentat (Nuell, 2002). A l'inici de la dècada dels setanta es detecta la manca d'infraestructures i equipaments i l'augment de les densitats en les ciutats. Això va comportar la revisió de la Llei del Sòl, redactant definitivament la *Reforma de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana de 1975*. Es basà en la gestió del sòl urbà consolidat, la introducció del sòl no urbanitzable i la diferenciació entre sòl urbà i urbanitzable.

Amb l'aprovació de la Constitució Espanyola del 1978, Catalunya va assumir les competències exclusives en matèria d'ordenació del territori i urbanisme. Així durant la dècada dels vuitanta es van dur a terme les revisions dels plans vigents, i sobretot en els municipis turístics, com és el cas del nostre àmbit d'estudi, un dels principals reptes era el de regular les urbanitzacions iniciades en anys anteriors –que en molts casos eren il·legals-. Durant la dècada dels noranta, un cop superades les mancances d'equipaments i serveis, va aparèixer la nova llei del sòl (Decret legislatiu 1/1990, del 12 de juliol, de refosa dels textos legals vigents a Catalunya en matèria urbanística) i recentment la Llei 2/2002, de 14 de març, d'Urbanisme. En general no han implicat grans canvis però sí una visió més àmplia del territori. En teoria es van reduir les reserves de sòl urbanitzable, es va intentar regular les urbanitzacions de segones residències i es començava a veure que el territori és un bé comú i no renovable.

Una forma d'il·lustrar aquest breu repàs històric és a partir de la comparació de les hectàrees de sòl urbà en diferents períodes per als municipis costaners de la Costa Brava. La taula 2.1 corrobora que aquest creixement no s'ha moderat sinó que fins i tot ha augmentat.

		1957	1974	1993
C.Brava Nord	Portbou	27,3	33	36,1
	Colera	8,9	25,1	67,5
	Llançà	13,7	113,4	191,4
	Port de la Selva, el	12,8	28,3	100,4
	Cadaqués	17,7	51,9	123,5
	Roses	60,4	432,8	516,3
	Castelló d'Empúries	27,3	339,1	580,9
	Sant Pere Pescador	14,3	43,6	81,9
	Escala, l'	34,3	307,6	505,4
	Total C.Brava Nord	216,7	1374,8	2203,4
C.Brava Centre	Torroella de Montgrí	35	184,7	404,7
	Pals	21,1	47	216,7
	Begur	17,1	70,1	327,1
	Palafrugell	97,6	202,9	548,7
	Mont-Ras	6,1	22,7	53,1
	Palamós	72,4	122,3	220,5
	Calonge	77,8	126,3	580,4
	Castell-Platja d'Aro	26,9	187	520,3
	Santa Cristina d'Aro	15,6	77,8	317,3
	Sant Feliu de Guíxols	95,3	188,1	393,6
	Total C.Brava Centre	464,9	1228,9	3582,4
	C.Brava Sud	Tossa de Mar	28,4	130,4
Lloret de Mar		24,7	220,6	1013,3
Blanes		52,6	298,7	488,9
Total C.Brava Sud		105,7	649,7	1774,5
Total	787,30	3.253,40	7.560,30	

Taula 2.1.- Evolució del sòl urbà (hectàrees) a la Costa Brava durant els anys 1957, 1974 i 1993 (Nuell, 2002)

Una altra forma clara i exemplificadora de quina ha estat la tendència urbanitzadora del litoral estudiat, sempre a remolc de l'augment del sector turístic, són els tres mapes dels usos del sòl que exposa el procés de transformació territorial i paisatgístic que ha experimentat la Costa Brava entre 1956, just abans de la irrupció del turisme de masses, i el 2003 (Figura 2.2). Aquesta comparativa es fa de forma resumida a partir de tres grans indicadors: l'espai agrícola, l'espai forestal i l'espai construït.

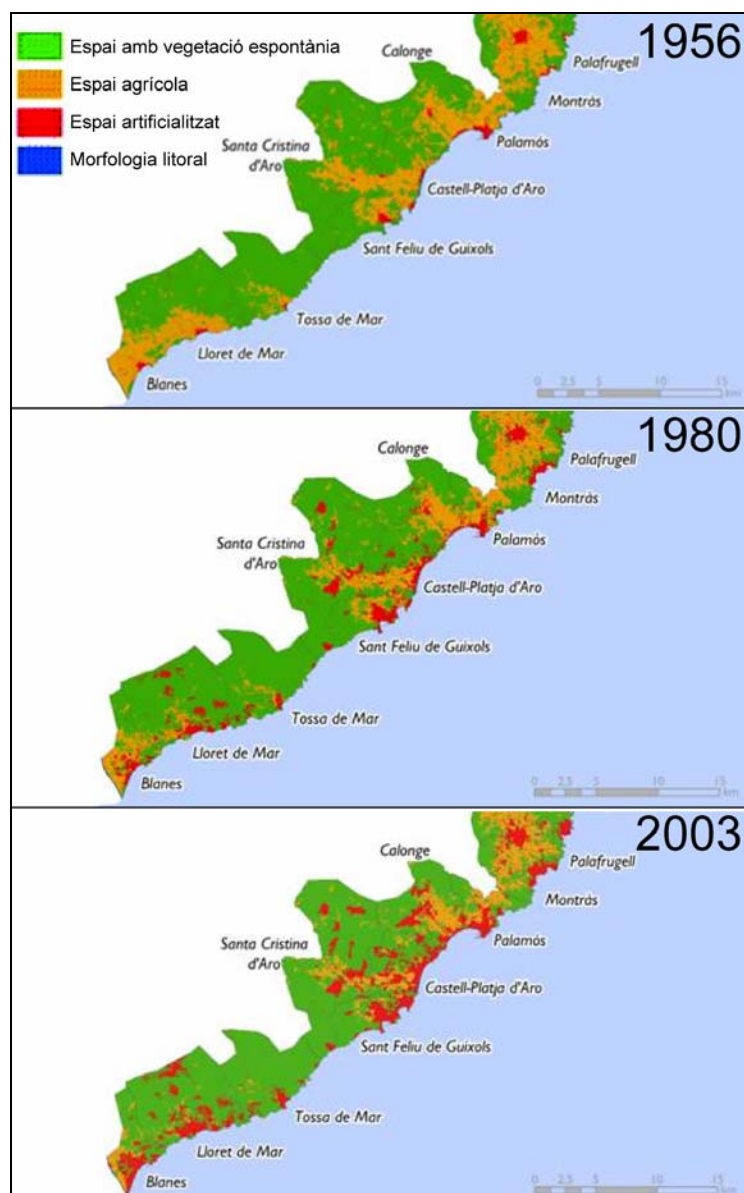


Figura 2.2.- Usos i cobertes del sòl dels municipis de la Costa Brava durant els anys 1956, 1980 i 2003. (Nogué, 2004. Modificat)

No és objecte d'aquesta tesi una anàlisi detallada de les transformacions que han patit els diversos usos i cobertes del sòl, àmpliament discutit en Nogué (2004), Nuell (2003) o Martí

(2001). Amb aquesta figura i taula presentades només es vol il·lustrar la gran pressió urbanística que ha patit tot el litoral estudiat en les últimes sis dècades, on l'espai construït s'ha vist incrementat de forma exponencial. L'any 1957 l'espai urbanitzat ocupava 1.139 ha, un 1,72% de la superfície total dels municipis de la Costa Brava. L'any 1980 havia crescut fins les 5.200 hHa (7,9%), tot quintuplicant el valor anterior, i actualment les construccions ocupen 8.800 ha (13,2%), havent-se multiplicat per vuit el valor de l'any 1957 (Nogué, 2004).

Del nostre àmbit d'estudi els creixements més destacats s'han localitzat als municipis que molt aviat es van especialitzar turísticament, com Lloret de Mar o Castell-Platja d'Aro. Aquest *continuum* urbà de primera línia de costa va des de Sant Telm a Sant Feliu de Guíxols, passant per Castell-Platja d'Aro, Torre Valentina i Sant Antoni de Calonge (Figura 2.3) fins arribar a la platja de la Fosca de Palamós.



Figura 2.3.- Exemple de la gran pressió urbanística. Panoràmica dels anys 50 i 2003 de la badia de Palamós fins Torre Valentina (Calonge) (Nogué, 2004)

Per tot el que s'ha exposat de forma resumida creiem que caldria elaborar Plans Directors Urbanístics d'àmbit, com a mínim, comarcal ja que aquesta urbanització difusa i dispersa es dona també a segona i tercera línia de costa, municipis estretament lligats a la dinàmica dels de primera línia de mar. Aquesta recomanació en part ja s'està començant a perfilar a partir de la *Iniciativa Estratègica per a la Gestió Integrada de les Zones Costaneres de Catalunya* (projecte ENPLAN) i el Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner, en tràmit en el moment de la redacció de la present memòria.

3.- OBJECTIUS I METODOLOGIA

3.1.- *Finalitat de la tesi*

3.1.1.- Enfocament de la recerca

La consideració del medi físic, en la qual es desenvolupen la pràctica totalitat de les nostres activitats, com quelcom dinàmic, subjecte a canvis i transformacions contínues conseqüència de la interacció home-medi, ha provocat inexorablement una revisió i renovació de moltes de les concepcions clàssiques de les ciències aplicades. El coneixement es fa més complex i la interdisciplinarietat entre les tasques d'estudi va en augment.

Seguint aquesta línia de revisió i renovació cal englobar-hi l'estudi del medi físic terrestre. Ja no es considera aquest com un objecte compartimentat disposat a una anàlisi aïllada, com s'ha fet fins ara, sinó que degut a aquesta nova consideració del medi com a quelcom que

va a ser emprat i transformat, unit a una creixent apetència d'aquest, es propicia al desenvolupament del conjunt de treballs que aporten, des de diferents punts de vista, tantes altres anàlisis diferents.

És en aquesta tendència, en les Ciències Geoambientals, on s'ha de contemplar el marc estructural d'aquesta tesi doctoral: en una anàlisi d'un territori més enllà del que fins ara tradicionalment s'ha fet, procurant traduir el coneixement del medi en informació sobre la infraestructura natural del territori, apta per prendre decisions sobre el seu ús i preservació.

Davant d'aquestes idees, entenem la Geologia Ambiental com una aptitud integradora dels conceptes i mètodes propis de les Ciències Geològiques en el coneixement dels problemes derivats a la interacció home-Terra.

Amb aquesta concepció del medi físic abiòtic hem centrat la nostra tesi a l'entorn de tres camps d'investigació:

- L'anàlisi de la qualitat i del comportament físic i químic dels materials terrestres en front les accions humanes i de la seva utilització com a recursos.
- L'estudi dels processos naturals i de la influència que puguin tenir sobre l'home o bé els efectes que aquest pot causar sobre aquells.
- Per últim, com a derivació dels anteriors, el disseny i aplicació d'instruments de tipus preventiu en la gestió del territori; és a dir, la planificació dels usos del territori.

Amb aquestes idees com a punt de partida consideràvem que a la Costa Brava Meridional conjuminaven una sèrie de característiques que ens permetien un millor aprofitament dels resultats que del seu estudi se'n poguessin obtenir.

3.1.2.- Objectius

En front el plantejament de l'enfocament que volíem imposar al treball que presentem, ens trobàvem amb una doble problemàtica. Per una banda saber quin tipus de variables específiques havíem de considerar, i per altra banda, el tractament que se n'havia de fer. Davant a aquestes consideracions ens marcàrem una sèrie d'objectius immediats.

Òbviament, en primer lloc, havíem d'identificar les variables que millor definissin la idiosincràsia pròpia de la regió i que al mateix temps, poguessin interferir sobre l'ús antròpic que d'ella se'n pogués fer. Havíem d'identificar doncs, aquelles variables ritme d'evolució de les quals és suficientment lent a escala humana com per a considerar-les constants, i

aquelles altres d'escala d'actuació temporal curta que les fa dinàmiques i la seva ràpida evolució les fa susceptibles de repercutir sobre una determinada ocupació de territori.

Després d'identificar i analitzar les variables més idònies per als nostres objectius, mitjançant la metodologia més apropiada i que es presentarà en el moment oportú, havíem de valorar, ponderar i representar la realitat geoambiental d'aquest territori en unitats de comportament uniformes davant l'actuació de cada una de les variables.

A banda d'aquests objectius de definició de variables i unitats de comportament, anàlisi de llur idiosincràsia i valoració de la seva influència sobre diferents activitats humanes, constituïa un objectiu la representació gràfica; és a dir, la delimitació i la situació geogràfica de les unitats de comportament: la seva cartografia. Tot això, procurant diferenciar l'objectivitat de les observacions de la subjectivitat de les interpretacions.

3.2.- Mètode de treball

D'acord amb el marc conceptual de la tesi i de la seva concreció en els objectius anteriorment exposats, la metodologia utilitzada ha estat molt diversa. En els diferents capítols que conformen aquest treball s'exposen de manera més detallada les eines metodològiques emprades per obtenir els coneixements que s'expliquen. A continuació s'exposen de manera resumida els diferents àmbits metodològics utilitzats, i posteriorment, s'incideix específicament en la principal eina utilitzada: el tractament informàtic de les dades mitjançant Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG).

Cal precisar que l'esforç principal ha estat abocat en la realització pràctica d'experiències cartogràfiques que fornissin la informació suficient per a permetre una ordenació més racional de l'àmbit territorial escollit. El mètode de treball, s'orienta fonamentalment a la confecció d'aquesta cartografia, i es va modificant durant les diferents etapes de realització.

3.2.1.- Principals etapes

En aquesta recerca aplicada es segueixen, a grans trets, els mètodes de treball desenvolupats i aplicats per Corominas (1982) i Linares (1995) en estudis territorials de característiques similars al nostre. Dins d'aquests dissenys metodològics s'han inserit tots aquells mètodes i tècniques, propis dels estudis geoambientals, que han estat descrits en un capítol anterior i que s'han aplicat en aquest estudi.

A grans trets es poden delimitar tres grans etapes en la confecció de la cartografia geològica aplicada a l'ordenació territorial. Aquestes etapes comprenen la recopilació de dades, la presa de dades a camp i la interpretació i tractament de la informació obtinguda.

Aquestes etapes no poden ser rígides ja que es produeix un solapament en el temps que fa que estiguem treballant en una etapa quan encara no hem acabat amb l'anterior.

a) Recopilació de dades

El ventall d'aspectes a considerar en aquest apartat és molt ampli. La tasca desenvolupada implica la recerca i l'estudi de les diferents dades existents sobre la zona i la temàtica analitzada.

Pel que fa a la recol·lecció de dades, han estat consultats els diferents organismes públics i privats que disposen d'informació sobre la zona.

Nombrosos autors s'han referit també a la importància que té aquesta fase prèvia que proporciona un volum de dades que no es poden menysprear (Bennet & Doyle, 1997 i Cooke & Doornkamp, 1990; entre d'altres). És una tasca que els autors esmentats i nosaltres coincidim a definir com a molt entretinguda, amb una gran inversió de temps i dificultada per la gran dispersió i natura variada de la informació.

En el nostre cas han estat visitades nombroses empreses i organismes. El temps invertit en aquestes visites està de l'ordre d'uns quants mesos, sense comptar les consultes a biblioteques i que s'ha perllongat de forma discontinua al llarg dels últims dos anys.

Molt al contrari del que pot semblar a primer cop d'ull, aquesta fase vol una certa especialització i coneixements, ja que el gran nombre de dades que apareixen necessiten una tria per tal d'escollir les que realment ens poden ser d'interès, i això no és fàcil de realitzar. Malgrat tot, com hem dit, considerem imprescindible aquesta fase, perquè la consecució d'aquestes dades per nosaltres mateixos, representaria una inversió de temps molt més gran i un potencial econòmic i de medis fora del nostre abast.

b) Presa de dades sobre el terreny

Aquesta segona etapa ha tingut per objectius, tres aspectes concrets:

- Comprovar cartografies o informacions prèvies.
- Recopilar dades addicionals o complementàries amb l'objectiu de millorar una font ja existent
- Adquirir noves dades de camp.

La principal limitació d'aquesta fase han estat els mitjans disponibles, que són en definitiva els que permeten d'aprofundir amb més o menys intensitat sobre determinats aspectes. Es pot dir que tots els treballs han estat realitzats sobre el terreny, llevat del reconeixement estereofotogramètric que s'efectuava abans d'anar a camp. Dins d'aquesta fase doncs hem dut a terme:

- 1) Cartografia, incidint sobretot en alguns aspectes que havien estat poc treballats anteriorment. La cartografia a camp, tant de materials com de processos, ha constituït el punt de partida i la base del treball que hem realitzat. Probablement aquesta etapa ha sigut la més laboriosa, degut en gran part a l'extensió de l'àrea estudiada, la seva orografia i la seva complexitat geològica en sentit ampli. La metodologia de treball ha sigut la clàssica, simple i al mateix temps costosa, consistent en la identificació i delimitació a camp dels límits areals entre unitats cartogràfiques d'interès geoambiental.
- 2) Aquest treball de camp de tipus cartogràfic es va complementar, en el cas de l'estudi dels materials, amb el de presa de mostres per al seu assaig al laboratori, i la realització de mesures geofísiques; així com amb el de realització d'assaigs *in-situ* per a l'estimació d'algunes de les seves propietats geomecàniques i hidrològiques.
- 3) Per últim, destaquem la realització de diversos inventaris referits a punts d'aigua, abocaments de residus inerts i explotacions de roques industrials.

c) Interpretació i tractament de les dades

Finalment, durant la fase que es desenvolupa en el gabinet, s'han realitzat totes aquelles tasques encaminades a elaborar, tractar, interpretar i, posteriorment, presentar les dades aconseguides en les etapes de realització anteriorment descrites. Culminen totes aquestes tasques amb la redacció de la present memòria d'aquesta tesi doctoral.

De totes les tasques desenvolupades destacarem dos aspectes metodològics: les tècniques de fotointerpretació i les de tractament informàtic de les dades

geoambientals. Les primeres, complementàries dels treballs de camp, han consistit en l'estudi de fotogrames aeris amb visió estereoscòpica a escales diverses, principalment 1:18.000, del ICC de l'any 1986, i 1:33.000, del *Servicio Geográfico del Ejército* de l'any 1956. La metodologia emprada ha estat la tradicional (Centeno et al., 1994; Easterbrook & Kovanen, 1998; Fernández, 2000 i Gutiérrez & Sampayo, 1981).

Mitjançant les segones, fonamentades en Sistemes d'Informació Geogràfica, hem representat i valorat el conjunt de la informació resultant de l'estudi dels diversos processos i variables que s'han analitzat en aquesta tesi.

Per últim, mitjançant la redacció de la memòria, que porta inherent la interpretació de les dades i elaboració de les conclusions, hem volgut transmetre els elements més notoris de la recerca efectuada. Hem procurat fer-ho amb la finalitat de que serveixin per la comunicació amb qui estigui interessat amb la temàtica i sobretot per obrir les portes de la problemàtica a qui vulgui aprofundir en la temàtica indicada, utilitzant les dades presentades i reelaborant o concloent resolucions diferents a les proposades per nosaltres.

Pel que fa a la part més formal de la redacció i presentació d'aquest document ens hem basat amb el recull d'aspectes formals i convencions per a la realització de tesis i treballs de recerca exposades en Rigo & Genescà (2000).

Aquests són els tres àmbits metodològics principals sobre els que es desenvolupa el treball que hem realitzat. Com hem indicat, en els diferents capítols que conformen aquest estudi s'expliquen més detingudament cadascuna de les eines metodològiques utilitzades.

3.2.2.- Elaboració i tractament informàtic de les dades. L'eina SIG

3.2.2.1.- Sistemes d'Informació Geogràfica

Dins d'aquest conjunt de tasques encaminades a l'elaboració i tractament de les dades cal destacar, per la notable rellevància que ha tingut en tota la tesi doctoral aquí presentada, l'eina dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG).

El programari SIG que s'ha utilitzat ha estat el programa ArcView 3.2 de caire majoritari en el present treball, el programa Idrisi 32 per a l'anàlisi d'algunes variables concretes i el programa Visor - MiraMon per a la consulta i captura de bases digitals accessibles des del web del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Aquests sistemes

són entesos, abastament per la majoria de comunitat científica, com una eina computeritzada per a la captura, l'emmagatzemat, l'extracció, l'anàlisi i la visualització de dades amb una component espacial i així també s'ha entès en el present treball. Aquesta eina disposa d'un conjunt de dispositius tècnics que faciliten enormement l'anàlisi multicriteri de descendència cartogràfica. En aquest sentit Bosque (1992) considera un SIG essencialment com una tecnologia (sistema de hardware i software) aplicada a la resolució de problemes territorials. La pràctica d'aquests sistemes és la d'emmagatzemar les dades obtingudes, ja sigui dades meteorològiques, sondatges, informació piezomètrica de cada punt d'aigua analitzat, entre d'altres; i treballar-les segons el criteri de l'usuari per a satisfer llurs objectius, plasmats definitivament en un suport cartogràfic. D'aquesta manera el mapa esdevé una abstracció de la realitat territorial, a partir de mostrar només les components desitjades, facilitant enormement la lectura, fins i tot per al més profà, d'un fenomen que representa una referenciació espacial.

De forma simple un SIG es pot contemplar com a un conjunt de mapes de la mateixa porció del territori, on un punt concret (definit per unes coordenades X, Y) té la mateixa localització en els mapes inclosos en el sistema d'informació (Bosque, 1992). D'aquesta manera és possible realitzar una anàlisi de les característiques espacials i temàtiques per obtenir un millor coneixement d'aquest punt concret. Aquesta idea també és compartida per la màxima:

*Knowing where things are and why is essential to rational
decision making* (Jack Dangermond, President d'ESRI)

En el camp de la planificació territorial hi ha una component de zonificació de riscos naturals, així com la zonificació de recursos per tal de preveure futurs emplaçaments. En aquest sentit la primera fase en la prevenció de perills o previsió de zones d'explotació és la identificació i caracterització d'aquests. Aquesta identificació i caracterització s'expressa usualment en forma cartogràfica mitjançant la zonació del territori. Els mapes resultants són una eina bàsica per a la planificació del territori.

En un SIG, entès com a programa informàtic amb unes capacitats específiques, se li poden trobar les següents funcions:

- Funcions per a l'entrada d'informació,
- Funcions per a la sortida i representació gràfica i cartogràfica de la informació,
- Funcions de gestió de la informació espacial, i
- Funcions analítiques.

Aquesta eina, per tant, no només permet entrar, sobreposar i visualitzar capes d'informació del territori estudiat, sinó que també permet fer càlculs amb aquestes capes, ja sigui

solapar-les, tallar-les, realitzar operacions o aplicar formules complexes amb els valors de diferents d'elles, crear corredors al voltant d'algun element, entre moltes d'altres. Totes aquestes operacions són aplicables de manera sistemàtica, ràpida i eficient. D'aquesta manera ha ampliat considerablement la possibilitat de tractar amb grans bases de dades i realitzar càlculs que eren inviàbles en grans àrees. En aquest sentit, la possibilitat de regionalitzar anàlisis territorials complexes s'ha vist enormement facilitada amb l'ús del SIG. Més endavant en aquest capítol es presentaran les principals tasques i funcions analítiques dutes a terme en aquesta tesi doctoral.

3.2.2.1.1.- Formats bàsics

A banda de les funcionalitats i la descripció d'aquestes sistemes d'informació, caldria fer esment dels dos formats bàsics, que existeixen i s'han emprat, per estructurar la informació pel que fa a la representació d'entitats geogràfiques i la seva associació amb els atributs temàtics. Aquesta estructuració s'anomena **vectorial** o **ràster**.

En la representació vectorial, el límit o contorn d'un objecte es defineix per una sèrie de punts que, quan s'uneixen mitjançant línies, formen la representació gràfica d'aquest objecte. Els punts són codificats mitjançant un parell de nombres que representen les coordenades X i Y. Els atributs d'aquests objectes s'emmagatzemen en una base de dades consultable. Per això cada objecte vectorial ha de tenir un identificador que el relacioni amb els atributs de la base de dades (relacions topològiques).

En l'estructura ràster, la representació gràfica dels objectes i dels seus atributs temàtics es realitza en un mateix arxiu de dades. No es defineixen objectes, se subdivideix l'àrea d'estudi en una malla de cel·les o píxels (de l'anglès *picture element*), on s'hi registra l'atribut temàtic o característica de la superfície terrestre en aquest punt. D'aquesta manera cada cel·la posseeix un únic valor numèric que pot representar l'identificador de l'objecte, el codi d'un atribut qualitatiu o el valor d'un atribut quantitatiu. És per això que en un sistema ràster les dades controlen directament la seva representació visual.

En quant al concepte anteriorment esmentat sobre les relacions topològiques o topologia, aquest expressa relacions entre objectes de forma qualitativa; diuen si dos polígons són contigus, si un està dins un altre, si dues línies estan connectades per una tercera, etc., o sigui, donen informació de la posició relativa dels objectes respecte els altres.

En l'estructura ràster la informació topològica, la posició relativa d'un píxel a un altre, es troba inherent a cada píxel ja que cada un, unitat mínima en què es divideix una imatge ràster, està georeferenciat i per tant les coordenades ja donen la informació suficient per

saber si una cel·la està al nord de, sobre de, a la dreta de, etc (la imatge és ja de per si una base de dades). Així en el model ràster els límits no queden registrats explícitament però es poden inferir aproximadament a partir dels valors de les cel·les.

En l'estructura vectorial, en canvi, les relacions topològiques s'estableixen, de la mateixa manera que la informació temàtica, en una base de dades associada a on s'especifica cada punt, la unitat geogràfica més elemental, a quina línia o polígon pertany (dóna forma als objectes a partir de punts i línies aïllades sense sentit geomètric) i a on està respecte els altres objectes (a la dreta de, a l'esquerra de, junt a, sobre de, dins de, fora de, al N, S, W o E de, etc.)

Finalment no podem passar per alt les diferències entre estructura ràster i vectorial pel que fa a volum que ocupen els fitxers. De totes maneres per a la quantitat de dades gestionades amb el SIG d'aquesta tesi, de l'ordre de 12 GB, no suposa cap problema el límit d'espai d'emmagatzematge de dades en PC's convencionals, dotats de 80 GB o més. Aquest aspecte sí que agafa un rol molt més important en empreses o administracions on el volum de dades augmenta uns quants ordres de magnitud.

El sistema ràster té una estructura de dades molt simple però menys compacta que la vectorial. En aquest sentit el volum d'emmagatzematge és molt més gran perquè la imatge conté dins seu, píxel a píxel, la informació de les coordenades, la informació temàtica i fins i tot en píxels o zones de valor=0 o de nul interès estan inclosos en la memòria. El volum per tant és directament proporcional a la grandària de la imatge i a la resolució.

Per contra, el model vectorial és una estructura de dades més complexa que el model ràster. Estructura de dades també descrita com una xarxa per alguns autors (manual d'ArcView). De totes maneres, però, és molt més compacta perquè només emmagatzema els límits dels elements i els seus atributs i no el que queda dins els seus límits.

3.2.2.1.2.- Formats avançats

A part de les formes bàsiques per representar elements del món real, n'existeixen d'altres de més sofisticades que et permeten la modelització de superfícies. Aquestes s'utilitzen per moltes aplicacions com són els estudis de visibilitat, càlculs volumètrics, contorns, relleus ombrejats, vistes amb perspectiva 3D, entre d'altres.

Les superfícies reals varien contínuament i seria impossible enregistrar el nombre infinit de mostres que caldria per definir-les exactament. És per aquest motiu que s'agafen mostres representatives i posteriorment, fent servir tècniques matemàtiques denominades

interpolació, es construeixen els buits entre els punts escollits. L'exactitud del procés dependrà de la quantitat de dades i de la seva distribució, a part del mètode d'interpolació.

En les anàlisis en tres dimensions s'utilitzen dos tipus de formats avançats per representar les superfícies:

- GRID. Els GRID representen superfícies utilitzant una malla regular de punts. La grandària de les cèl·lules es calcularà fent la mitjana dels valors dels punts més propers, donant més pes específic als contigus. La resolució dependrà de la distància entre aquest punts i per tant a menys distància entre ells més fina serà la malla i més exactes seran les superfícies modelades. Modelar superfícies amb GRID és normalment més senzill i els càlculs posteriors amb ells són més eficients. De totes maneres presenta el desavantatge que com que és una malla rígida no s'adapta completament a la variabilitat de la superfície a representar, pel que les dades originals poden ser capturades i reflectides incorrectament.
- TIN (Triangulated Irregular Networks). Els TIN representen superfícies utilitzant cares triangulars no sobreposades i contínues. En aquest cas la grandària de les cèl·lules dependrà de la quantitat de dades de que es disposi i de la seva distribució. Aquí la resolució varia al llarg de la superfície; essent fina en àrees complexes o on hi hagi més dades, mentre que en àrees pobres d'informació serà de menor resolució. Una característica fonamental dels TIN és que les coordenades dels punts d'informació superficial originals es mantenen, evitant amb ell qualsevol pèrdua d'informació original. L'inconvenient principal rau en el cost de temps i d'espai d'emmagatzematge en el procés de construcció d'aquest, així com la resta de processos que es realitzin amb ell.

A la figura 3.1 es mostren gràficament les diferències entre un format i l'altre.

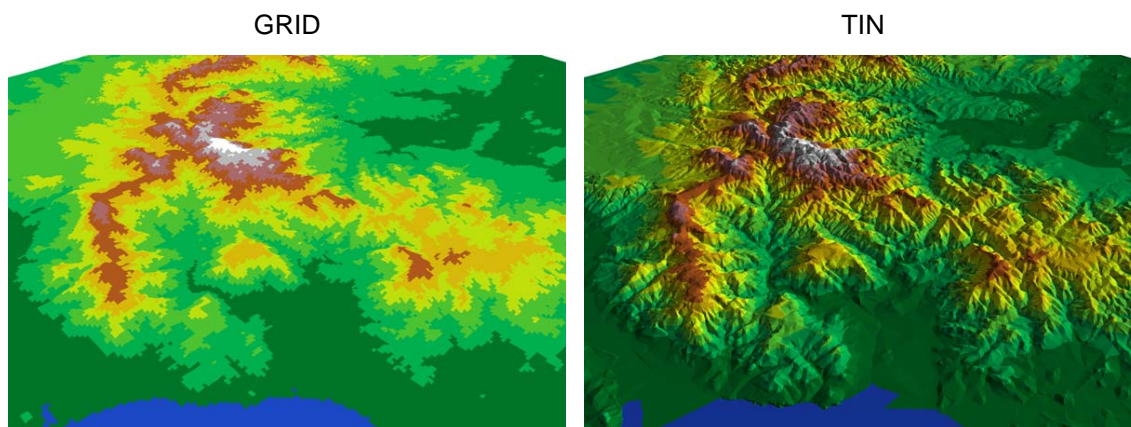


Figura 3.1.- Comparació del resultat d'una visió tridimensional de la plana final de la riera de Calonge (en primer pla) i el massís de les Gavarres (al centre) amb GRID i amb TIN

D'entrada es pot apreciar com el GRID fa una representació de la superfície més tosca i amb els límits no tan ben definits en comparació al major detall del TIN. Per contra a la major definició d'aquest segon format hi ha l'inconvenient de la grandària d'emmagatzematge i per tant de retruc la facilitat de treball tridimensional (moviment del bloc 3D, càlculs...). Mentre que, en el cas anteriorment presentat, el GRID ocupa 1,12 MB, el TIN n'ocupa 5,57 MB.

3.2.2.1.3.- Avantatges i inconvenients de l'ús del SIG

Dels grans avantatges de l'ús dels SIG els més rellevants són:

- el fet de ser aplicables nombroses tècniques d'anàlisi del territori. Deguda a la velocitat de càlcul dels SIG es poden aplicar tècniques complexes que requereixen un gran nombre d'encreuament de mapes i càlculs de taules
- la possibilitat de millorar models, avaluant llurs resultats i ajustant les variables d'entrada. L'usuari pot obtenir els millors resultats en un procés de prova i errors, executant els models varies vegades
- en el transcurs de la recerca els mapes d'entrada derivats d'observacions de camp es poden actualitzar ràpidament. De la mateixa manera, una vegada conclòs el projecte les dades poden ser utilitzades per altres usuaris de manera efectiva

De totes maneres cal no perdre de vista alguns inconvenients:

- la gran quantitat de temps que es necessita per entrar les dades, sobretot el procés de digitalització i entrada d'atributs
- l'error en què es pot caure posant massa èmfasis en l'anàlisi de les dades i no en la qualitat de la obtenció i maneig d'aquestes. Són moltes les vegades que es podrien emprar diferents mètodes analítics, fins i tot com a mètode de contrastació, però falten o són incertes les dades d'entrada necessàries per aplicar-los.

3.2.2.1.4.- Avaluació d'errors

Quan es fa servir un SIG es manegen una gran quantitat de dades i sovint es realitzen un gran nombre d'operacions, els quals fan que els possibles errors que es puguin produir siguin importants. Tot i que amb aquestes eines sempre s'obté un resultat final, aquest pot ser que no reflecteixi la realitat. És per aquest motiu que s'exposen els possibles **errors** que es poden efectuar en qualsevol projecte basat en SIG (Burrough, 1986):

1. Errors en les dades originals
 - Errors geomètrics (posició) i de classificació en la recollida de mapes analògics
 - Errors geomètrics i de classificació en dades de sensors remots
 - Errors en altres fonts de dades (mostreig de camp, dades meteorològiques recollides incorrectament, entre d'altres)
 - Imprecisions per el caràcter indefinit de límits naturals
2. Errors durant l'entrada de dades en el sistema
 - Errors durant la digitalització i per la limitada precisió del perifèric (ratolí, taula digitalitzadora)
 - Errors de transcripció dels atributs del elements digitalitzats
3. Errors d'emmagatzematge de dades
 - Errors de precisió limitada en què han sigut guardades les coordenades i altres dades numèriques
 - Errors per la conversió del sistema vectorial a ràster
4. Errors en l'anàlisi i manipulació de dades
 - Propagació d'errors en la combinació de capes
 - Errors per a l'ús incorrecte de fórmules
 - Errors procedents del sistema d'interpolació (p.ex. interpolació per determinar mapes piezomètrics, mapes d'isopaques)
5. Errors en la sortida de les dades i aplicacions
 - Errors cartogràfics per la limitació dels aparell de sortida de dades
 - Aplicació incorrecta de les sortides del SIG (p.ex. modificació de la mida de gràfics no proporcional entre x-y)

A banda dels possibles errors també cal tenir en compte el que s'anomena **incertesa**. Aquest aspecte és el que va directament associat a aspectes d'anàlisi que tenen un alt grau de subjectivitat, com ara les ponderacions o atribucions de valors mitjançant taules. El grau d'incertesa es relaciona amb alguns factors com l'escala d'anàlisi, el temps per la recollida de dades, la grandària de l'àrea d'estudi, l'experiència de l'investigador i la disponibilitat i veracitat dels mapes existents.

També, a part de l'error i l'incertesa, cal tenir present la **precisió** de la informació i mapes de partida. En aquest aspecte l'investigador l'únic que pot fer és triar la millor informació i més precisa de què es pugui disposar. Un cas concret d'això és la precisió del Model Digital d'Elevacions de partida, ja que els mapes que en derivin estaran condicionats per aquests.

En el nostre cas només es disposava del MDE amb una precisió (mida del píxel) de 30X30 metres.

Amb tot l'exposat cal dir que les limitacions més importants en què ens podem trobar sempre seran derivades de l'escala en què s'han elaborat les dades, alhora que la informació proporcionada és de caire regional i per tant, en conseqüència, no es pretén que la informació presentada en aquesta memòria sigui utilitzada a escales majors de la representada, ni pot substituir als estudis de detall necessaris a les escales pròpies dels projectes constructius o d'implementació d'activitats concretes.

3.2.2.2.- Principals tasques i anàlisis fetes

En aquest apartat s'ha fet una recopilació de totes les operacions d'anàlisi fetes, no amb l'afany de fer una gran descripció teòrica de les eines i potencialitats dels SIG i del programa emprat sinó tan sols fer un recull d'aquestes amb una breu definició i algun exemple concret. Moltes de les funcions venen directament amb el programari utilitzat (ArcView 3.2, SaptialAnalyst, 3DAnalyst) tot i que en algunes de les operacions ha calgut l'ajuda d'*scripts* baixats del web d'Esri (<http://arcscripts.esri.com>).

- Paquet de *Geoprocessing* compostat per:
 - *Dissolve*: procés per a dissoldre límits o nodes entre polígons o línies adjacents que tenen el mateix valor en un atribut especificat (p. ex. Per la “neteja” de petits polígons adjacents que representen la mateixa categoria litològica o després d'una reclassificació serveix per unir polígons contigus que obtinguin el mateix valor reclassificat, cas emprat per obtenir finalment la capa d'Unitats Homogènies del Llindar d'Escolament Parcial).
 - *Merge*: per a la creació de nous temes que continguin dos o més temes adjacents de la mateixa categoria. (p.ex. per a la unió del mapes d'usos del sòl dels diferents municipis adjacents estudiats).
 - *Clip*: per tallar temes a partir d'un altre tema (p.ex. per tallar el tema d'usos del sòl de l'àmbit d'estudi per a cada una de les subconques (*cookie cutter*) per a la posterior anàlisi del coeficient d'escolament superficial).
 - *Intersect*: per a l'integració d'informació de dos temes diferents en un de sol, però de només els elements que estiguin espacialment continguts dins d'un dels dos temes elegits (p.ex. per solapar el mapa d'usos del sòl del 1993 de les diferents subconques amb el mapa de zones urbanes i urbanitzables procedents del Plans Generals d'Ordenació

- Urbana per acabar obtenint un escenari futur d'usos del sòl en què tot l'urbà i urbanitzable previst en el Pla s'acabi convertint en urbà).
- *Union*: per a la producció d'un nou tema que contingui els elements i atributs dels dos temes poligonals (igual que l'anterior però sense cap tall amb els límits d'un dels dos temes).
 - *Assign data by location*: per a l'ús de la relació espacial per ajuntar dades d'una taula d'atributs d'un tema a la taula d'atributs d'un altre tema. Depenent del tipus dels elements la junció serà un dels tres tipus de relació espacial: "el més aprop", "dins de" o "part de" (p.ex. per assignar el valor puntual de la resistència a la compressió simple al polígon litològic al qual està a dins).
- **Buffers**: creació d'un polígon de determinada amplada al voltant d'elements lineals. Per exemple s'ha emprat per determinar les zones d'exclusió (pous municipals, ponts, infraestructures fluvials, ...) per a l'explotació de recursos geominers. També per a l'obtenció de polígons que defineixin camins forestals per a la posterior anàlisi d'erosió potencial.
 - **Càlcul d'àrees, perímetres i longituds d'estructures vectorials**: per tot el conjunt d'anàlisis morfomètriques aquesta eina ha estat fonamental. Per a l'anàlisi hidrològica de les principals rieres estudiades l'eina SIG també ha sigut del tot imprescindible per al càlcul d'àrees de les conques, mesures de cotes o longituds dels tàlvegs, entre d'altres.
 - **Interpolació de punts per obtenir mapes d'isolínies**: piezometria, isopaques o isolínies de precipitació. Per aquesta tasca cal tenir l'extensió Spatial Analyst. Dels diferents mètodes d'interpolació possibles (*kriging*, *trend*, *IDW* i *Spline*) s'ha fet servir l'*Spline* amb la opció *tension*, ja que "tendeix a reflectir més acuradament les superfícies naturals" (Arthur & Pollock, 1998). En aquesta publicació es fa una anàlisi comparativa dels diferents mètodes des del punt de vista geològic.
 - **Generació de punts a partir de línies o polígons**: aquesta generació de punts permet fer nous punts d'aigua per a la posterior interpolació de la superfície del nivell freàtic, considerant aquests nous punts com a punts de cota del nivell freàtic igual a zero. La generació de punts es pot fer a partir dels nodes o cada certs intervals d'una distància determinada.
 - **Vistes 3D**: representació de variables geoambientals de forma més entenedora a partir de la potencialitat de la visió tridimensional que ofereixen els SIG. Un

exemple d'això ho veiem a la Figura 7.12. Aquesta opció es comenta amb més detall a l'apartat següent.

- MDT i TIN: l'ús del Model Digital d'elevacions del Terreny (MDT), definit més amunt com a GRID, per al càlcul de pendents i longituds de vessants per a l'aplicació de la USLE; també emprat per al càlcul d'orientacions i aspecte de les vessants. La creació de TIN's (*Triangulated Irregular Network*) a partir del mapa topogràfic ens ha servit per a la restitució topogràfica automàtica de punts d'aigua (valor de la coordenada Z msnm, per al posterior càlcul de la cota absoluta del nivell freàtic).
- Creació de talls topogràfics o perfils longitudinals de les rieres a partir del TIN o MDT i la línia per a la qual vols que passi aquest tall.
- Water Layer: (Figura 3.2) extensió que permet simular inundacions a la vista 3D a partir d'un MDT i una alçada d'aigua donada. Aquesta funció, juntament amb els càlculs de cabals i criteris geomorfològics, ens ha ajudat a definir les zones que es podrien veure afectades per inundacions de gran magnitud (zones inundables).

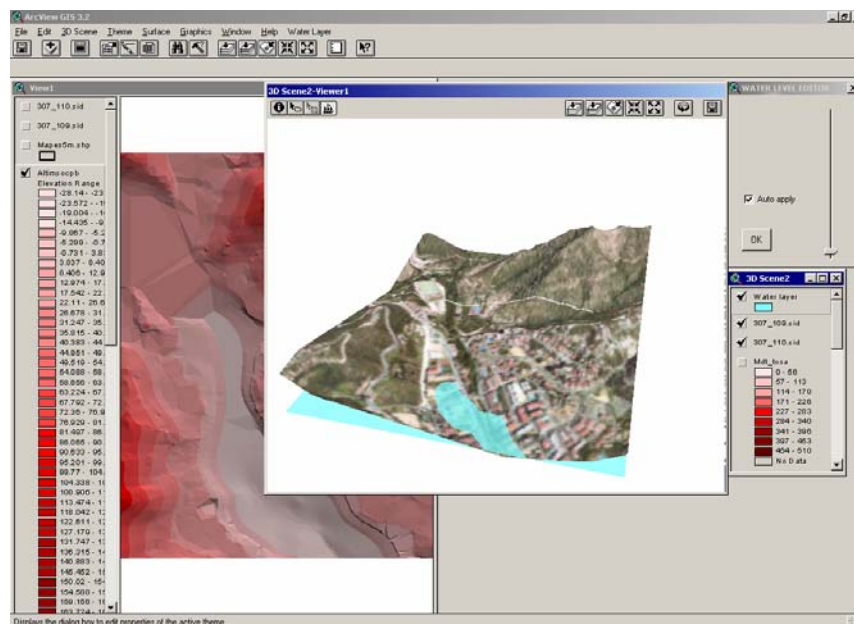


Figura 3.2.- Exemple de la funcionalitat de *WaterLayer*. Detall 3D de la zona de Tossa de Mar.

- Calculadora de mapes ràster. Permet operar amb els atributs de cada capa entre elles o amb constants. Pot des de sumar i restar, fer operacions encadenades i fins i tot operacions trigonomètriques i logarítmiques. Els resultats sempre representats com a una nova capa ràster on cada píxel tindrà el valor resultant de la operació feta. S'ha emprat en el tema d'erosió hídrica per aplicar la USLE, en què cada paràmetre, constant o exponent s'ha definit com a un mapa. També en els càlculs

morfomètrics per a la creació dels histogrames (representació percentual de l'àrea ocupada de les diferents classes altitudinals).

- Convertir polígons a línies, línies a polígons, fer un polígon a partir de punts, fer una línia a partir de punts. En el nostre cas s'ha emprat el de crear polígons a partir de línies per tal de convertir les interpolacions piezomètriques i d'isolínies de precipitació a polígons. Aquests polígons després serveixen per fer els càlculs d'àrees o simplement per representar intervals.
- Creació d'Hiperlinks o Hot Links: com ja s'ha comentat ulteriorment, els SIG són bàsicament una eina que faciliten enormement la tasca a la comunitat científica encarregada d'estudiar dades amb una component espacial. De totes maneres aquests sistemes també poden funcionar com a finalitat. És a dir, com a sistemes interactius per a la cerca d'informació a la base de dades relacionada així com un "portal" per a la representació i guiatge cap a un altre tipus d'informació en que no és possible representar-la sobre un mapa. Gràcies als hiperlinks que permet oferir l'ArcView es poden associar arxius a elements situats en la vista. Aquests poden ser fotografies, textos, programes interns del SIG (scripts), un document extern o un projecte nou. En l'exemple que es presenta a continuació (Figura 3.3) es mostra que aquesta funció va bé per "demandar" al programa l'esquema del tall transversal (en aquest cas en format FreeHand) d'una riera concreta.

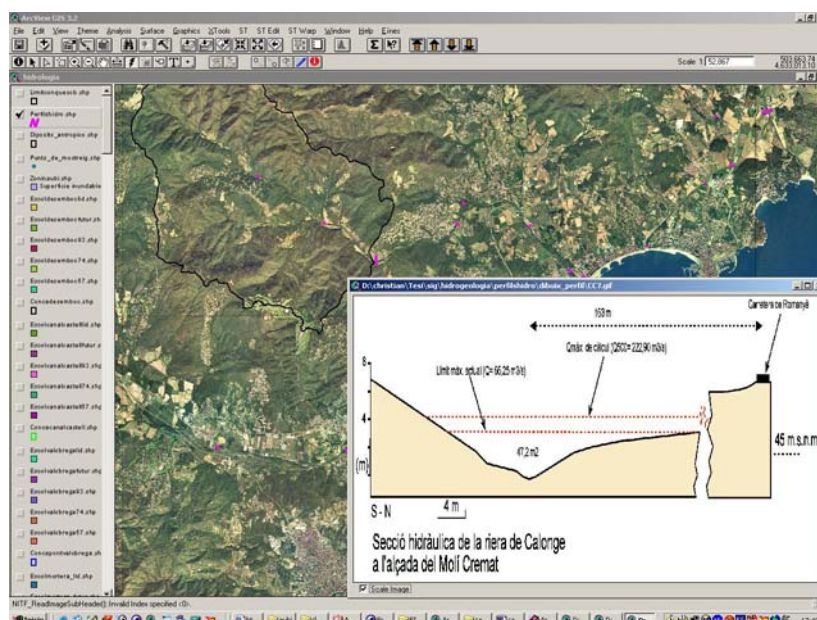


Figura 3.3.- Exemple de la funcionalitat d'un Hiperlink o Hot Link per a una secció hidràulica de la conca de Calonge

3.2.2.3.- Sortida gràfica. Models tridimensionals.

Tal com que es presenta en la descripció de les múltiples funcions que poden fer els SIG, una d'elles és la sortida de la informació, bàsica o producte de l'anàlisi, en format de mapes o *layouts*. Cal remarcar i deixar clar que els SIG no tenen com a finalitat última aquesta funció, sinó com a una capacitat addicional que tenen. Aquesta, però, difereix dels productes especialitzats en el disseny gràfic o CAD. Aquests últims sí que estan configurats expressament per a la sortida gràfica, donant sovint resultats òptims. Els SIG en canvi, tot i que no estan pensats solament en aquest aspecte i per tant amb capacitats de sortida menors, presenten l'avantatge de poder crear multitud de mapes, amb informació diferent de forma ràpida i eficaç.

Els mètodes convencionals són àmpliament usats per convertir mapes, de qualsevol tipologia (litològics, de vegetació, d'usos del sòl, entre d'altres) a mapes digitals en dues dimensions, els quals encara poden ser comparats amb un mapa analògic de paper. Polígons, polilínies i punts digitals representen informació present en la superfície del terreny, i gairebé sempre sense relleu, cosa que els fa, un cop impresos, no gaire diferents dels mapes tradicionals. Aquesta abstracció de la realitat en forma de 2D fa que només un nombre reduït d'usuaris pugui interpretar la informació de la tercera dimensió i resti amagada per al no-expert. Només qui imagini i entengui les estructures superficials podrà interpretar i penetrar la segona dimensió.

Mapes tridimensionals ofereixen a la comunitat científica una immillorable via de simular certa informació geològica, geomorfològica, tectònica o topogràfica per a un ampli ventall de publicacions, tant en l'àmbit científic com en el més divulgatiu (Malolepszy, 2003). Per tal de confeccionar aquests models tridimensionals, fins fa pocs anys, requeria l'ús de software i hardware molt sofisticat. Actualment, però, l'avenç tecnològic ha fet que per una banda hi hagi la possibilitat de disposar de maquinària capaç d'emmagatzemar, treballar i visualitzar un gran volum de dades complexes per representar l'espai 3D, i que per altra banda s'apropi el programari capaç de confeccionar aquests models (extensió 3D-Analyst de l'ArcView) a la comunitat usuària de SIG en general.

Avantatges de l'ús del 3D n'hi ha força, tot i que es destacaria:

- Models computeritzats permeten actualitzacions o modificacions del model quan apareix nova informació addicional o quan es volen testar els paràmetres del model, i
- Major facilitat d'entendre mapes per al públic en general ja que aquesta representació de la realitat s'hi acostava molt més, a vegades semblant a una imatge

Tot i els clars beneficis que poden aportar aquests models tridimensionals, aquestes actualitzacions requereixen un esforç, sobretot de temps, considerable. Hi ha sovint la falsa creença que “el fet de ser digital, deu ser fàcil de fer o requereix un mínim esforç” (Malolepszy, 2003).

Amb tot això, finalment, cal remarcar la importància de la representació i sortida gràfica en tres dimensions de la informació territorial de base o derivada de l'anàlisi mitjançant SIG. Treballs com aquesta tesi doctoral, encaminats a aportar dades geoambientals d'un territori concret, es veuran molt més entesos i acceptats per als responsables de llur gestió i planificació.

B.- VARIABLES ESTÀTIQUES I CLIMÀTIQUES

4.- Litoestructura

5.- Hidrometeorologia

6.- Morfologia

4.- LITOESTRUCTURA

Aquest capítol té com a objectiu descriure les principals característiques litològiques i estructurals del conjunt de materials aflorants que constitueixen l'àrea d'investigació. Com és lògic s'ha donat una major atenció a aquelles associacions litoestructurals més interessants a nivell d'estudiar la dinàmica natural dels processos i els recursos geològics.

Es disposa de força dades publicades sobre la configuració geològica i tectònica de la zona estudiada. A efectes de la recerca cartogràfica que es presenta, han resultat essencials els mapes geològics de detall publicats per l'Àrea de Geodinàmica de la Universitat de Girona, com són: el mapa geològic de Sant Feliu de Guíxols (Pallí, 1978), el mapa geològic de Castell-Platja d'Aro (Pallí, 1980), el mapa geològic de Santa Cristina d'Aro (Pallí, 1985), el mapa geològic de Palamós (Pallí & Brusi, 1987), el mapa geològic de Palafrugell (Pallí & Roqué, 1990), el mapa geològic de Tossa de Mar (Pallí & Roqué, 1992 a), el mapa geològic de Mont-ras (Pallí & Roqué, 1992b), el mapa geològic de Calonge (Pallí & Roqué, 1992c), el mapa geològic de Lloret de Mar (Pallí, Roqué & Linares, 2003). Tots ells a escales compreses entre l'1:10.000 i l'1:15.000.

Altres mapes publicats de la zona són el mapa geològic 1:25.000 de Calella de Palafrugell (ICC, 2004), i els mapes geològics 1:50.000 de Palafrugell, Blanes i Sant Feliu de Guíxols (IGME, 1983a, 1983b i 1983c).

Tota aquesta informació s'ha sintetitzat, digitalitzat i unificat les llegendes per a la incorporació al SIG d'aquesta tesi. El resultat final es presenta en el **Mapa 1.- Litologia**, de l'apartat d'annexes.

Les descripcions que tot seguit es realitzen es fonamenten, principalment, en els següents treballs de la geologia regional: Pallí & Roqué (1995), Pallí & Roqué (1996 b), Pallí & Roqué (1998), Roqué (1993), Roqué & Pallí (1991), Roqué & Pallí (1994a i 1994b) i Roqué & Pallí (1998).

4.1.- Emmarcament regional

La zona estudiada es localitza íntegrament dins la part gironina de la serralada Litoral, i més concretament, en les seves subunitats de la serralada de la Selva Marítima i massissos de les Gavarres i de Begur.

La individualització d'aquests massissos és deguda a la tectònica distensiva iniciada al Neogen, la qual va comportar la compartimentació en blocs i el seu moviment relatiu: els blocs enfonsats van donar lloc al sistema de fosses tectòniques del Vallès, Penedès, Selva i Empordà; mentre que els blocs enlairats van constituir dues alineacions muntanyoses a grans trets paral·leles a la línia de costa: les serralades Litoral i Prelitoral (Figura 4.1).

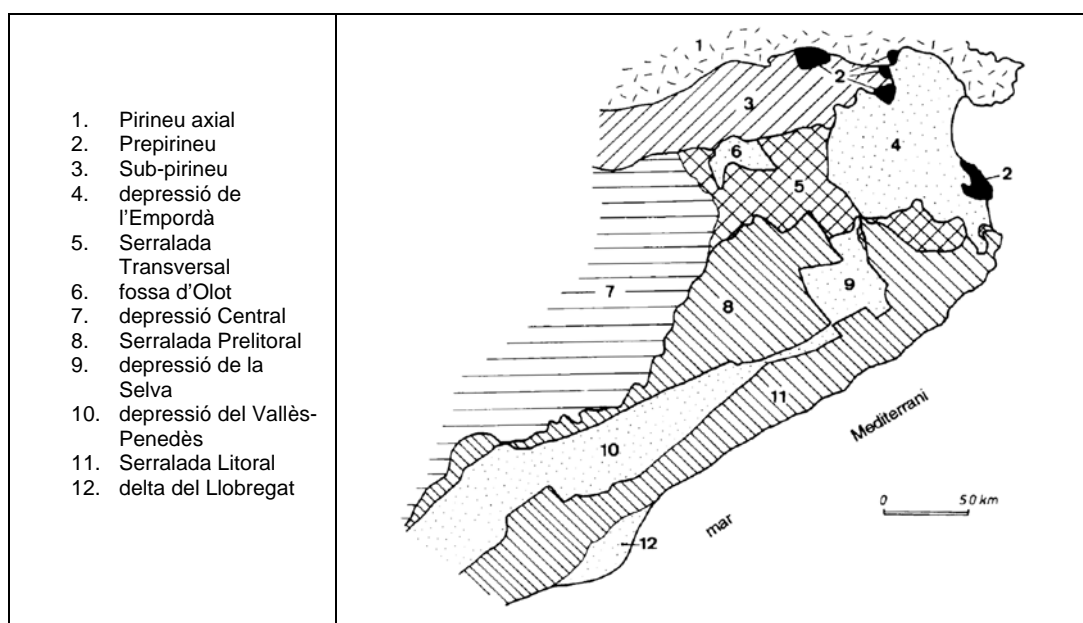


Figura 4.1.- Unitats de relleu del nord-est de Catalunya (segons Pallí & Roqué, 1998)

En aquest sector la serralada Litoral és constituïda bàsicament per granitoides paleozoics travessats per dics prims de roques hipoabissals de composició diversa. Localment, sobretot al massissos de les Gavarres i de Begur, afloren roques de metamorfisme de contacte associades a les masses ígnies.

Les rieres estudiades s'encaixen al si de la massa de granitoides aprofitant la xarxa de fractures principals que els afecten. Deixant de banda les que es van formar durant l'orogènesi herciniana, les falles més recents que configuren l'actual modelat paisatgístic es poden agrupar en dos sistemes d'orientació i edats diferents. El primer està constituït per falles de direcció NE-SW i edat Oligocè superior - Miocè inferior. El segon sistema inclou falles de direcció NW-SE que actuaren com a falles extensives des del Miocè mitjà fins al Quaternari. És precisament aquest segon grup de falles les que han donat lloc a la majoria de les rieres que drenen la Costa Brava.

Associat a la dinàmica d'aquestes rieres aflora un conjunt divers de dipòsits quaternaris de tipus al·luvial i col·luvial-al·luvial. Prop de la desembocadura el gruix de dipòsits quaternaris assoleix algunes desenes de metres, però aigües amunt aquesta espessor decreix ràpidament.

Els sediments al·luvials dipositats per les rieres estudiades estan constituïts majoritàriament per sorres derivades de l'erosió dels mantells d'alteració desenvolupats sobre els granitoides. Localment inclouen nivells lenticulars de graves. Prop de la desembocadura apareixen intercalacions de dipòsits de maresma, formats per lutites i sorres negres, que marquen la transició vers els sediments de cordó de dunes litoral i de platja. A la part baixa d'alguns dels torrents tributaris dels cursos principals apareixen ventalls al·luvials antics, tallats per la xarxa hídrica actual, que estan constituïts per blocs i graves amb una abundant matriu lutítica.

4.2.- Materials del substrat cristal·lí

En aquest apartat es descriuen les roques ígnies i metamòrfiques presents en el nostre àmbit d'estudi, les quals ocupen la major part de materials del substrat.

4.2.1.- Els granitoides

El batòlit que ocupa gairebé la totalitat de la Costa Brava central i meridional, emplaçament del qual va tenir lloc entre el Carbonífer superior i Permià inferior, està formada per dos conjunts de roques; d'una banda les roques plutòniques que constitueixen la major part del seu volum i per altra banda les roques hipabissals que apareixen en forma de discs de poc gruix.

El primer conjunt de roques es diferencia en funció de la composició mineralògica i de la textura. Les més abundants són les granodiorites, seguides per granits i alguna representació de termes més bàsics, com quarsdiorites o diorites. Localment es troben episienites i epimonzonites, associades genèticament a la formació de fractures posteriors a la cristallització de la massa intrusiva. Les granodiorites són roques de color gris, generalment de mida de gra gros i equigranulars. Estan compostes per quars, plagiòclasi, feldspat potàssic i biotita com a minerals essencials; i apatit, zircó, moscovita, clorita i epidota com a accessoris. Sovint presenten grans cristalls d'ortosa, classificant-se aleshores com a granodiorites amb megacristalls. Freqüentment es troben, associats a aquestes roques, enclavaments de quarsdiorites (*gabarro*s) de dimensions variables i generalment de forma el·lipsoidal.

Els granits per la seva banda es caracteritzen per ser de colors clars –leucogranits- i per tenir una mida de gra que varia de fi a gros. Aquests estan formats per abundant quars, feldspat potàssic i plagiòclasi. Tenen un contingut relativament baix de biotita, presentant, a més, moscovita, granats, zircó i apatit com a minerals accessoris.

Les episienites i epimonzonites presenten, mineralògicament, un baix contingut de quars i de plagiòclasi, essent molt elevada la quantitat de feldspat potàssic. Quant a les diorites i quarsdiorites, són roques compostes per plagiòclasi, horblenda i biotita. El quars i feldspat potàssic hi són, però en petites quantitats.

El segon conjunt de roques, les hipabissals, es formen en les etapes finals de la cristallització del magma, quant el fluid residual cristal·litza en les fractures de la massa plutònica ja consolidada i dins les roques encaixants, per això, aquests discs travessen indistintament tant les roques ígnies com les metamòrfiques de la zona estudiada. D'entre les hipabissals se'n poden diferenciar tres grans tipus: les aplites i pegmatites, els pòrfirs i els lampròfirs. El primer tipus es formen en els darrers episodis de cada intrusió plutònica. Es componen de quars i feldspat potàssic, són pobres en biotita i els minerals accessoris més comuns són la moscovita i la turmalina. Quant a la mida de gra, es fa més fi en les aplites i més gros en les pegmatites.

Els pòrfirs són de composició variable, trobant-se des de termes àcids, com són els granítics i els granodiorítics, fins a bàsics com diorítics, passant pels monzonítics i monzodiorítics.

L'emplaçament dels pòrfirs és posterior a la solidificació de totes les roques plutòniques, si bé la composició és similar i s'hi relacionen genèticament.

Finalment els lampròfirs són més bàsics que els pòrfirs, sense cap mena de relació amb el batòlit. En el nostre àmbit d'estudi n'hi ha dues varietats: l'espessartita i la camptonita. El seu emplaçament és posterior (la primera del Permià superior i la segona del Cretaci superior) al de totes les roques plutòniques i filonianes fins ara esmentades.

4.2.2.- Les roques metamòrfiques

Els sediments paleozoics presents a la zona d'estudi comprenen un lapse temporal que cal situar entre el Cambrià i el Carbonífer. Majoritàriament es tracta de sediments detrítics marins de granulometria fina (llims i argiles, sorres fines), encara que esporàdicament també hi ha nivells de conglomerats, calcàries i gresos de gra gros, així com intercalacions de roques vulcanosedimentàries. Tots ells han estat afectats pel metamorfisme regional hercinià, al qual se sobreposa, en la majoria dels afloraments, un metamorfisme de contacte degut a l'emplaçament de les masses ígnies que van donar lloc als granitoides. El primer tipus de metamorfisme és sempre de caràcter dèbil, i per tant la transformació dels materials originaris és poc important, donant marbres de les calcàries, pissarres o fil·lites de les argiles o quarsites dels gresos. Per contra, els efectes del metamorfisme de contacte són de major grau, essent més intensos quan més ens apropem als afloraments de roques plutòniques. Això és degut a que es va desenvolupar una aurèola de metamorfisme tèrmic al voltant del batòlit. A les zones més pròximes als granitoides es troben roques que han sofert una transformació important respecte dels materials originaris, com ara són les cornianes, les cornubianites, els marbres o les cornianes calcosilicatades, apareixent les unes o les altres en funció de la composició del sediment d'origen. A les parts més allunyades de l'aurèola, els efectes del metamorfisme de contacte es redueixen a l'aparició, en els materials pelítics, de nous minerals en forma de taques. Les roques que en resulten són típicament els esquists pigallats.

4.3.- Formacions superficials

4.3.1.- La sedimentació fluviotorrencial

En l'àrea d'estudi els sediments fluviotorrencials quaternaris solen ser graves, sorres i llims que omplen les valls estretes i profundes encaixades en el substrat rocós, sense que s'hi observin aterraments clars o ben definits. Bàsicament aquests es disposen en la part

mitja i baixa de les rieres, formant planes relativament estretes i només eixamplades al tram final de la desembocadura.

En aquestes rieres existeix una plana al·luvial al final del curs, on hi ha extensions de llims d'inundació, tot i que, en la llera els dipòsits visibles són de graves i majoritàriament sorres. Aquests materials provenen de la denudació dels vessants de la conca, on el sòl descansa directament sobre la roca alterada o sauló, matèria prima dels dipòsits abans mencionats.

4.3.1.1.- Dipòsits de ventalls al·luvials

Els dipòsits de ventalls al·luvials corresponen a cossos sedimentaris d'acumulació de materials, de mides variables i caracteritzades per una morfologia conoïdal, de ventall o de con projectat. A més es caracteritzen per estar situats en zones a on hi ha un canvi de pendent brusc durant el seu període sedimentari, davant un front muntanyós o en l'interior d'una àrea muntanyosa. La forma semicònica, un perfil radial, generalment còncau, de longitud limitada i perfils transversals convexos, són els aspectes morfològics més característics d'un ventall al·luvial (Marcén et al., 1996)

A partir d'estudis de camp, els mapes geològics existents i la fotografia aèria s'han reconegut l'existència de ventalls al·luvials en la nostra zona. La seva composició està determinada per l'àrea font, i per tant es tracta de sediments detrítics constituïts per graves de naturalesa granítica englobats en una matriu argiloarenosa. Es caracteritzen per ser dipòsits caòtics, molt heteromètrics, i els clastes dels quals presenten un cert arrodoniment pel fet d'haver estat arrossegats per un sistema fluviotorrencial.

4.3.1.2.- Dipòsits al·luvials

Aquests estan formats com a conseqüència de l'activitat d'una xarxa hidrogràfica jove, en els que s'inclouen els dipòsits de la plana d'inundació, barres i ocasionalment terrasses. Pel que fa als primers constitueixen gairebé la totalitat del fons de les valls, formant dipòsits continus en els col·lectors principals. Cal destacar les dimensions importants del Ridaura (6,5 km²), de 500 a 1100 metres d'amplada a la part baixa, i l'extensió també considerable de l'Aubi (5,9 km²). Molt menor desenvolupament d'aquests dipòsits es troben a la riera de Calonge (2,3 km²), Tossa (1,8 km²) i Lloret (1,6 km²); i de forma totalment residual les rieres de Sant Feliu de Guíxols (0,5 km²) i de S'Agaró (0,3 km²). Per a les cinc primeres rieres s'han estudiat amb major detall en el capítol de recursos geomíniers, en l'apartat d'àrids naturals.

En general les formes acumulatives en els llits actuals són molt poc freqüents; les barres són de poca importància degut al caràcter encaixat i rectilini dels cursos principals.

Bàsicament la composició dels dipòsits al·luvials és sorrenca, explicació de la qual cal buscar-la als diferents tipus de granitoides que constitueixen les vessants d'aquestes rieres. Prop dels torrents tributaris hi ha abundància d'elements grollers de diversa litologia ja que el relleu circumdant és molt acusat i perquè, donat el caràcter estacional d'aquests torrents, es comporten com rambles (IGME, 1983c).

Els dipòsits al·luvials enllacen progressivament amb sediments fluviodeltaics a la zona de desembocadura de les rieres principals, on es reconeixen els dipòsits típics dels morfoambients de maresma, duna i platja.

4.3.2.- Dipòsits de vessant

Són els que en el mapa litològic confeccionat s'han denominat com a dipòsits col·luvials sobre roques plutòniques i metamòrfiques. Estan constituïts per sorres i lutites amb còdols, la litologia dels quals coincideix amb el sòcol circumdant. Fonamentalment són el resultat de l'acció erosiva sedimentària de les aigües d'escolament superficial sense enllitar i de la gravetat, que tendeixen a acumular aquests materials en la part inferior dels vessants i en els fons de les valls de poca entitat, per això a nivell cartogràfic solen resseguir els torrents. Assoleixen els màxims gruixos (no solen superar els 5 m de potència) en el punt de ruptura de pendent. Pendent avall és freqüent que enllacin de forma transicional amb els dipòsits al·luvials.

4.3.3.- Productes d'alteració

Com s'ha comentat, dins l'àrea d'estudi gairebé tot el substrat correspon a roques granítiques i metamòrfiques. L'alteració química d'aquestes defineix les seves propietats i els seus comportaments resultants. Aquests mantells d'alteració actuen com a àrea font de subministrament de sediments per ser transportats durant episodis de màxims pluviomètrics.

La distribució en planta d'aquests mantells d'alteració respon a la superposició de diferents factors litològics (mineralogia i textura de la roca), estructurals (disposició, espaiat, llargada i obertura de les discontinuïtats) i, en el cas de les roques metamòrfiques, sedimentaris (gruix de les capes).

Aquest mantell té l'origen genètic en la interacció de l'atmosfera, hidrosfera, biosfera i litosfera. El procés d'alteració inclou la descomposició (principalment hidròlisi) dels minerals originals o primaris de la roca hoste, així com la formació (cristal·lització) de productes minerals secundaris més estables en les noves condicions ambientals. Aquest procés d'alteració depèn d'entre molts factors de la solubilitat de la roca i els productes alterats; del

relleu superficial; de la mida de les partícules de la roca, essent les de granulat fi menys susceptibles a l'alteració que les de granulació gruixuda; la permeabilitat de la massa rocosa; la composició mineral; la naturalesa i abundància de la fauna i flora activa del sistema, així com, molt especialment, de les condicions climàtiques de la zona.

Segons (Larsson, 1985), un perfil d'alteració inclou els nivells següents (Figura 4.2):

Zona (a): sorres argiloses, argiles sorrenques, sovint solidificades. Generalment de només uns metres de potència. Presenta elevada porositat però baixa permeabilitat, afectant directament a la capacitat d'infiltració del terreny.

Zona (b): acumulació massiva de minerals secundaris (argiles) en els quals es pot preservar algun mineral primari estable en la seva forma original. El gruix varia dels pocs metres a 30 metres. Presenta elevada porositat però baixa permeabilitat, afectant també a la capacitat d'infiltració.

Zona (c): roca que ha sofert progressives alteracions, formant-se un estrat de grans terrosos de cristalls agregats desintegrats i fragments rocosos. Pot presentar d'uns pocs metres a uns 30 metres de potència. Presenta baixa porositat però permeabilitat apreciable.

Zona (d): roques fracturades amb fissures. Pot tenir des de desenes a varies vintenes de metres de potència. El sistema de fractures té una baixa porositat però permeabilitat moderada (sistema de fractures).

Tot i que existeixen diferències de potència, extensió i caràcters físics de la capa alterada segons l'indret estudiat, el paisatge i perfils típics que es poden formar sobre roques plutòniques és el següent (Figura 4.2):

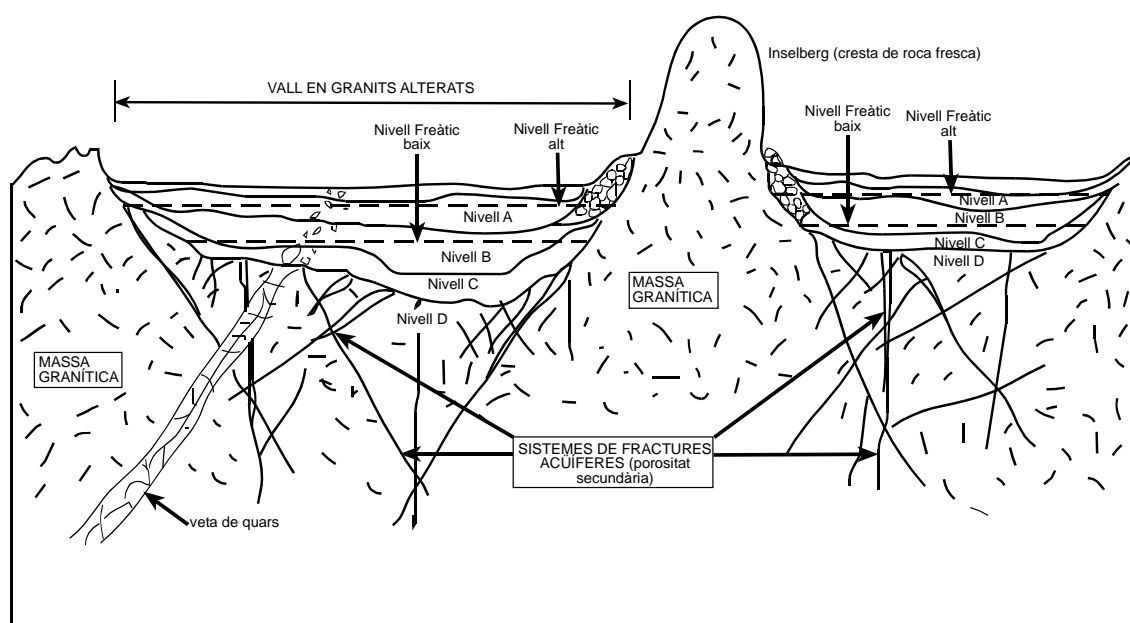


Figura 4.2.- Paisatge típic de sòcol granític (segons Larsson, 1985)

En la zona estudiada els mantells d'alteració estan formats per arenites, les quals tradicionalment es denominen sauló. El gruix que assoleixen és molt variable segons la litologia i l'estructura de la roca mare. Sobre granodiorites s'han detectat potències d'entre 20 i 35 m en nombrosos llocs i, localment, de fins a 50 m.

Aquesta espessor dels perfils d'alteració ha estat relacionada amb condicions climàtiques diferents de les actuals. En aquest sentit, caldria considerar-los formes heretades de climes tropicals (segurament amb una estacionalitat marcada pel règim de precipitacions, és a dir de tipus sabana); condicions que es creu que s'haurien donat en aquest territori durant el Neogen. L'existència de mantells de sauló d'aquesta edat a la veïna depressió de la Selva queda confirmada ja que els sediments continentals atribuïts al Pliocè són formats essencialment per sauló mobilitzat per ventalls al·luvials. Rodas et al. (1992) senyalen la presència de paleosòls rubefactats rics en caolinita sota d'algunes colades de lava datades del Miocè superior. Les característiques geoquímiques d'aquests paleosòls es poden interpretar com un argument més que confirmaria l'existència de condicions climàtiques tropicals durant aquest estatge.

4.4.- Estructura

Entre els factors geològics que cal considerar en l'estudi geoambiental d'aquest àmbit d'estudi l'estructura dels materials que hi afloren n'és un que no caldria deixar de banda. L'existència de discontinuïtats d'origen tectònic en els granitoides i en les roques metamòrfiques aflorants determina en gran mesura el seu comportament. A més, permeten que la seva alteració progressi en profunditat.

D'altra banda cal considerar l'efecte sobre el modelat i sobre els dipòsits sedimentaris que poden tenir aquelles estructures actives durant el Quaternari (neotectònica), aspecte aquest que fins ara ha estat molt poc estudiat en l'àmbit territorial que ens ocupa.

Les estructures de deformació fràgil de la zona estudiada s'han originat majoritàriament en les darreres fases de l'orogènia hercínica, una vegada es van haver emplaçat els plutons granítics. Es tracta de fractures a petita escala (diàclasis) de direcció preferent NE-SW i subordinada NW-SE, en les quals s'introdueixen bona part de les roques hipoabissals emplaçades tardanament en el cicle hercinià (pòrfirs, aplites i pegmatites, entre altres). Al mateix temps es generen falles de direcció NW-SE (IGME, 1983c).

No obstant això, moltes de les estructures tectòniques fràgils a petita escala són molt tardanes dins el cicle de deformació hercinià o clarament posteriors, com queda evidenciat pel fet que moltes diàclasis i fins i tot algunes falles afecten els lampròfirs de tipus espessartita que es van emplaçar fa uns 253 milions d'anys (Permià superior) i també els dics de camptonita, els quals daten de fa uns 85 milions d'anys (Cretaci superior).

Durant la tectònica distensiva lligada a l'orogènia alpina es van reactivar les falles hercinianes de direcció NW-SE i se'n van generar de noves de direcció NE-SW i ENE-WSW. Aquestes falles són les que configuren les unitats de relleu existents i les que tenen una major transcendència paisatgística, ja que orienten bona part dels principals sistemes fluviotorrentials de les conques estudiades. Aquestes unitats de relleu es caracteritzen per un conjunt de blocs delimitats per falles, els quals es troben enlairats i esfondrats els uns respecte els altres. Així, clàssicament les planes del corredor de Palafrugell, de Calonge i d'Aro han estat interpretades com a zones esfondrades, i els blocs enlairats haurien donat lloc als massissos muntanyosos de Begur, de les Gavarres i de Cadiretes. L'orientació de la línia de costa –NE-SW- segueix també la direcció dels accidents tectònics alpins, els quals submergeixen el continent sota el Mediterrani.

5.- HIDROMETEOROLOGIA

L'àmbit objecte d'estudi, dins les terres gironines i inserida dins la Costa Brava Meridional, té marcadament el que s'anomena clima mediterrani. Moltes vegades s'han descrit aquestes terres com les que gaudeixen, no només d'un clima, sinó d'una pluralitat de climes. Tot i això les Rieres Costa Brava, així les anomena l'Agència Catalana de l'Aigua, al estar encarades a mar i delimitades per la serralada litoral, es pot dir que gaudeixen clarament de clima mediterrani (Saurí et al., 1997).

El clima mediterrani es caracteritza per tenir un hivern fred relativament humit, i un estiu sec amb temperatures caloroses. El fet distintiu de la resta de climes és la coincidència de l'època calorosa amb la seca. A les conques de la Costa Brava, a l'igual que a la resta de les terres gironines (amb matisos sobretot a la seva part més septentrional), tampoc és l'hivern, època freda, l'estació més humida. El màxim pluviomètric sol aparèixer a la tardor com a conseqüència de la posició que té aquesta àrea dins de la Península Ibèrica. A

l'hivern les perturbacions que provenen de l'Atlàntic impulsades pels vents de l'oest, descarreguen a les muntanyes gallegues, cantàbriques i als Pirineus, motiu pel qual aquests mateixos vents arriben amb menys intensitat i secs. Per tant és la tardor l'època de l'any en què es registren els màxims pluviomètrics. Aquest fet explica perquè el mar Mediterrani, en aquesta època, és un mar calent després d'escalfar-se a l'estiu. Si les capes mitges i altes, fredes i humides, de la troposfera arriben a la costa, aquestes s'embussen, condensen per l'escalfor del mar i descarreguen amb força (Martín & Olcina, 1996).

En definitiva, les estacions més seques són l'estiu per la presència d'anticiclons subtropicals, i l'hivern per la poca activitat ciclogènica. Pel contrari, a la primavera hi ha una precipitació destacada per canvis bruscos i sobretot a la tardor és a on es concentren els màxims per la important activitat de les depressions.

En aquest capítol centrarem la nostra atenció en el coneixement de les precipitacions. De manera complementària es descriuen altres elements climàtics com la temperatura, evapotranspiració i el règim de vents.

5.1.- Règim de precipitacions

En el nostre àmbit d'estudi, i en general a la Mediterrània catalana, a banda de les precipitacions frontals, convectives i orogràfiques, les precipitacions torrencials també es poden relacionar amb la situació anomenada popularment per "gota freda". A Martín & Olcina (1996) s'hi fa una descripció de totes les seves característiques i condicions meteorològiques per al seu desenvolupament.

5.1.1.- Procedència de les dades presentades

Les dades de precipitació diària, emprades per als càlculs que es presenten en els apartats següents, per a l'elaboració de les respectives taules i gràfiques, així com per als diferents càlculs en capítols posteriors, pertanyen a les estacions meteorològiques següents (Taula 5.1 i Figura 5.1):

OBSERVATORI	Seqüència d'anys complets	UTM_X	UTM_Y
Begur (INM-292A)	26	517670,63	4645417,48
Blanes (ajuntament)	32	483515,42	4613835,46
Cassà de la Selva (estació automàtica)	8	494050,00	4636080,00
Castell-Platja d'Aro (depuradora)	10	502718,81	4628686,45
El Far de Sant Sebastià	70	516884,64	4638460,67
Palafugell (INM)	43	513699,70	4640558,20
Palamós (INM)	28	510734,22	4632766,52
Sant Feliu de Guíxols (INM-283A)	67	503160,37	4625579,32
Santa Agnès de Solius (INM)	25	496955,52	4629417,46
Santuari Mare de Déu del Vilar	10	481583,12	4618315,39
Tossa de Mar (INM)	81	494392,89	4618661,88

Taula 5.1. Relació d'observatoris meteorològics consultats, amb el total d'anys mostrals i coordenades UTM

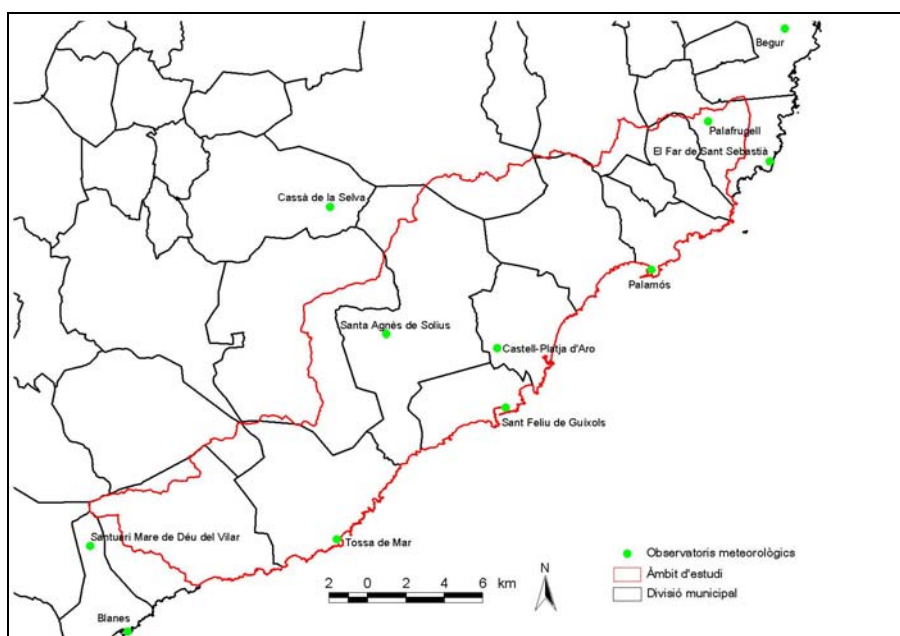


Figura 5.1.- Situació dels observatoris meteorològics consultats

A banda d'aquestes fonts de dades emprades, s'han pogut enriquir, contrastar i revisar a partir de dades d'altres indrets, dels que caldria destacar:

- ❑ Dades recollides pel farmacèutic Enric Madrenys de Tossa,
- ❑ Dades recopilades per el projecte de Soler & Bayés (2001),
- ❑ Dades recopilades pel projecte de Boté (1996),
- ❑ Dades recopilades pel projecte de Dolz & Sánchez (2001),
- ❑ Dades recopilades pel projecte CENSA (1999), i
- ❑ Dades de la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (XAC).

Totes les dades han estat revisades prèvia utilització. En alguns casos s'han omès alguns anys per falta de dades en alguns mesos i en altres estacions s'han corregit errors de transcripció informàtica. A tal d'exemple, i potser el més important, és el cas de les dades revisades de l'estació meteorològica del Far de Sant Sebastià. Les dades del primer any de funcionament d'aquesta estació, el 1891, donen precipitacions excepcionalment altes (el doble de mesos plujosos d'altres anys) i per aquest motiu s'ha despreciat aquest any. També s'ha corregit la dada de l'1 de desembre de 1945 que donava l'inversemblant xifra de 629 mm mentre que el mateix dia a l'estació de Tossa registrava 20,4 mm i a Sant Feliu 15,1 mm. Aquesta dada s'ha modificat per 62,9 mm. Només amb aquestes dues modificacions fan passar una precipitació màxima per a un període de retorn de 500 anys de 736,34 mm/24hores a 405,57 mm/24hores.

5.1.2.- Directrius bàsiques de la precipitació en l'àmbit d'estudi

A banda de la descripció dels tipus de precipitació, es creu convenient el fet d'esmentar unes quantes directrius bàsiques sobre la pluviometria mediterrània ja que aquesta és especialment complexa en el territori català.

Precipitació mitjana anual

Tal com s'observa en la figura 5.2, el nostre àmbit d'estudi presenta una precipitació mitjana anual que va des de l'interval de 600-650 mm envoltant el poble de Tossa de Mar fins a un interval màxim de 850-900 mm, illa de precipitació que envolta el Puig d'en Ponç (414,5 m.s.n.m) de la Serra Llonga, divisòria d'aigües entre la conca del Ridaura i de la riera de Calonge. Gran part, però, té una precipitació mitjana anual de 700 a 750 mm. Aquesta disparitat de valors en un àmbit geogràfic climàticament tant reduït denoten una variabilitat de relleu important.

Aquests intervals ens indiquen que ens trobem just en la divisòria entre la Catalunya seca i humida, límit de la qual ve definida per la isohieta de 700 mm (Sabiron et al., 1998).

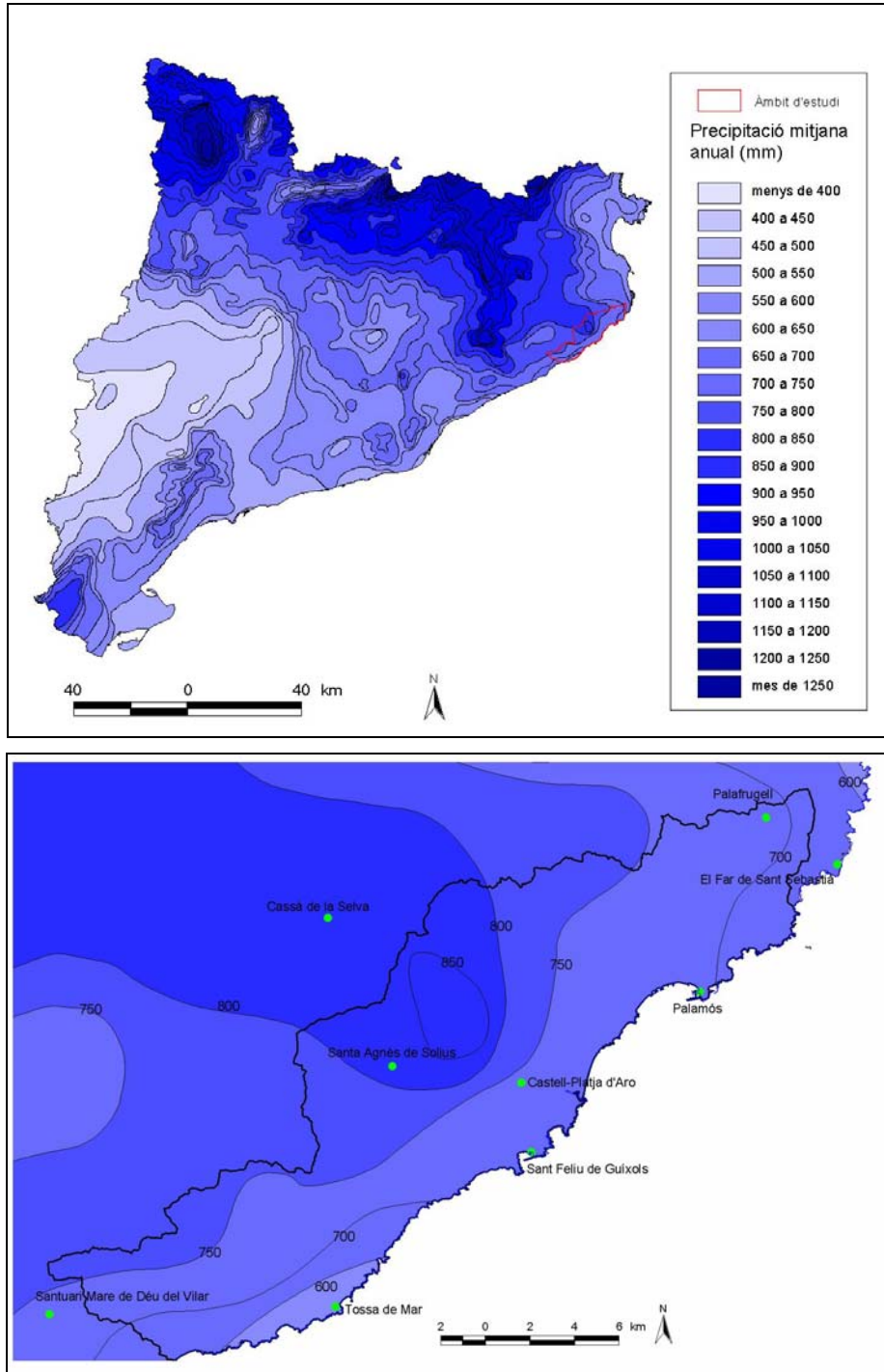


Figura 5.2. Precipitacions mitjanes anuals de Catalunya i detall de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atles Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)

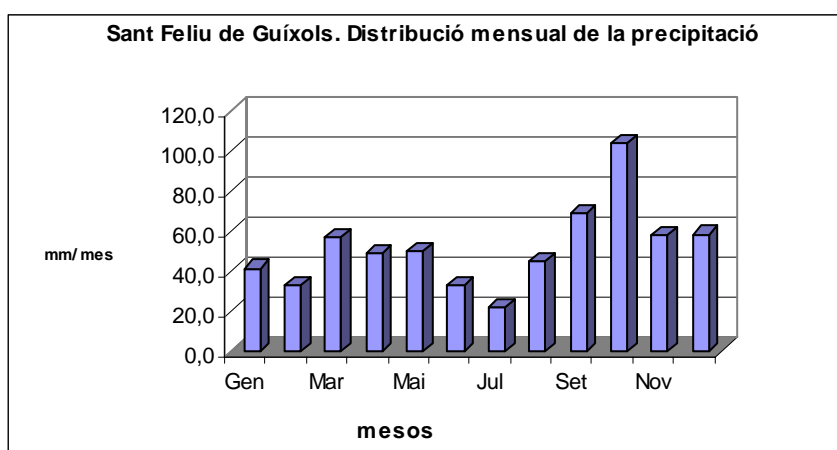
Distribució mensual

Tant important com el valor pluviomètric absolut anual, és el repartiment de la precipitació al llarg de l'any. Com ja s'ha comentat anteriorment aquesta repartició, en el clima mediterrani, no és del tot homogènia. La pluviometria es reparteix pràcticament durant tots els mesos de forma més o menys arbitrària i continuada durant tot l'any amb dos màxims situats a la

primavera i a la tardor. A continuació es presenten les dades de quantitat de precipitació mitjana mensual per a les estacions meteorològiques consultades, juntament amb l'exemple d'una gràfica característica (Taula 5.2 i Gràfica 5.1):

Mesos/ Observatori	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
Begur	49,7	43,3	51,6	60,0	60,2	40,8	22,7	41,2	56,7	109,9	66,8	58,4
Blanes	54,4	38,3	48,6	58,3	53,6	43,4	29,7	50,0	68,7	81,0	61,9	54,0
Cassà	77,0	21,2	24,3	51,7	34,0	49,9	10,8	42,9	57,6	45,1	64,0	88,4
Platja d'Aro	55,2	33,9	39,8	47,5	49,2	66,3	24,4	32,7	90,1	121,6	57,9	62,2
Far de Sant Sebastià	51,2	42,4	58,6	61,2	52,6	41,6	21,5	34,8	61,9	85,2	78,4	69,6
Palafrugell	43,5	40,6	61,4	55,2	49,7	36,1	17,6	42,3	61,4	121,1	67,4	57,6
Palamós	52,7	43,3	58,7	53,1	55,7	52,0	21,2	38,4	63,3	94,6	60,0	62,9
Sant Feliu	41,5	32,6	57,0	49,4	50,0	33,4	22,1	45,4	69,3	103,7	57,6	58,5
Solius	69,9	49,0	61,8	62,9	56,0	55,3	20,7	50,3	76,1	109,1	80,7	58,7
Santuari del Vilar	68,3	29,4	51,8	60,7	51,1	71,3	26,6	37,1	102,2	87,2	62,4	93,3
Tossa	40,2	44,3	58,9	51,9	53,9	29,7	19,3	41,4	67,1	102,1	59,2	56,8

Taula 5.2.- Precipitació mitjana mensual (mm/mes) per a les estacions meteorològiques consultades



Gràfica 5.1.- Exemple de la distribució mensual de la precipitació. Estació meteorològica de Sant Feliu de Guíxols

En totes les dades de les estacions consultades es pot comprovar el fet que tenen dos intervals de precipitació anuals, amb un màxim centrat, en gairebé totes les estacions, a l'octubre, i dos períodes més secs intercalats. Per descriure millor aquest fenomen es parla del ritme pluviomètric anual.

Ritme pluviomètric anual

Una forma de fer evident la distribució desigual de les precipitacions al llarg de l'any consisteix en calcular els valors estacionals per la simple addició de les precipitacions

mitjanes dels tres mesos corresponents a cada estació. Així, les d'hivern serien les resultants de sumar les precipitacions mitjanes de desembre, gener i febrer, les de primavera sumant les de març, abril i maig, i així successivament per a la resta d'estacions. Amb aquestes sumes s'obté l'*indicatiu estacional*, definit per l'ordenació de les lletres inicials de les quatre estacions segons les corresponents quantitats pluviomètriques estacionals en sentit decreixent. En l'àmbit d'estudi tenim que és TPHE de forma majoritària, i només envoltant el cap de Begur és THPE (dades de la cartografia del Dept. Medi Ambient i Habitatge) (Figura 5.3). D'aquesta manera es veu ràpidament que el màxim pluviomètric és la tardor, el mínim és l'estiu i només els màxims i mínims secundaris difereixen segons la zona per factors aerològics i geogràfics (Sabiron et al., 1998).

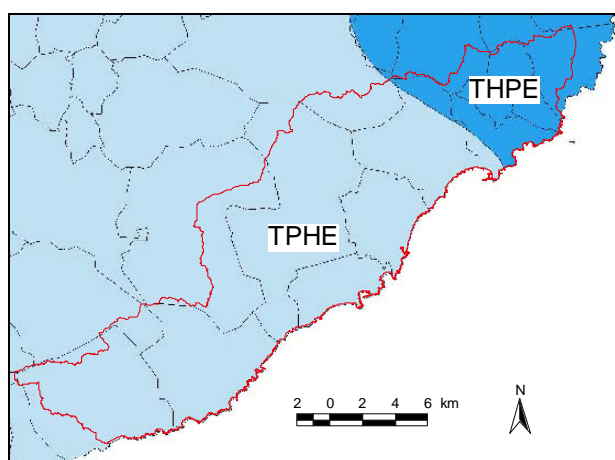


Figura 5.3. Règim pluviomètric estacional de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atles Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)

Aquest àmbit geogràfic també té una elevada variabilitat interanual molt important. Un exemple d'això és a Blanes on en alguns anys arriben pràcticament a 900 mm/any i en altres anys, com el 1981, van superar poc més de 350 mm/any (Soler & Bayés, 2001). Un altre exemple és a Tossa de Mar on s'ha observat un màxim anual de 1090,7 mm/any, el 1959, any en què aquesta localitat patí una forta inundació, i un mínim anual de 352 mm/any, el 1952.

La irregularitat pluviomètrica diària també és un tret característic d'aquest clima. És a dir, pocs dies de l'any aporten un percentatge elevat de la precipitació total anual. En determinats casos un 25% dels dies aporta més del 50-60% de la precipitació total anual (Soler & Bayés, 2001).

A banda del possible anàlisi de la precipitació per mesos, no amb l'afany de fer un anàlisi estadístic exhaustiu, s'han representat les mitjanes pluviomètriques diàries per mesos. En la gràfica 5.2 es presenten, a mode d'exemple, les mitjanes diàries per mesos de l'estació de

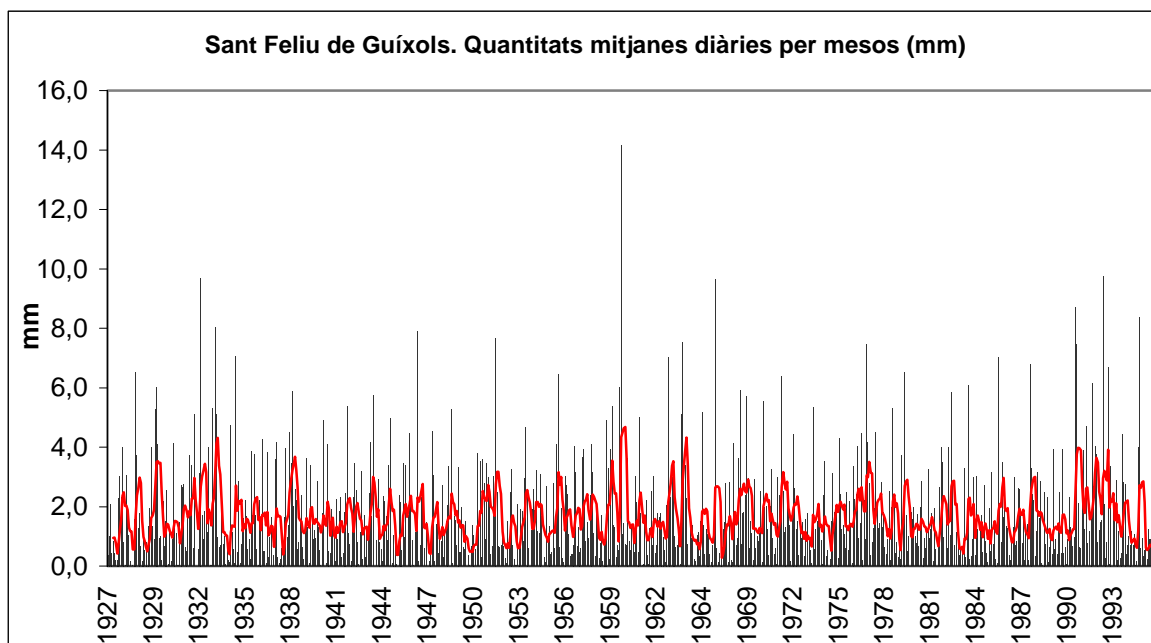
Sant Feliu de Guíxols. És a dir, per a cada mes de què s'han disposat dades diàries s'ha fet la mitjana de precipitació que ha caigut cada dia. Per tal de suavitzar aquests resultats s'han calculat les mitjanes mòbils centrades de 5 en 5 mesos (línia vermella); d'aquesta manera s'elimina el soroll o els valors extrems de les sèries amb origen aleatori.

Amb aquestes gràfiques es pot intuir una certa tendència a tenir cicles d'anys més humits i anys més secs. D'alguns d'aquests observatoris Soler & Bayés (2001) efectuaren una anàlisi de períodes humits (període amb precipitacions freqüents i abundants) i secs (períodes freqüentment secs i alhora de precipitació escassa) al llarg de l'any, calculant de cada observatori, amb un mínim de 30 anys de registre, la freqüència absoluta de precipitació de cada data (nombre de vegades que s'ha registrat precipitació). A continuació s'exemplifica aquesta anàlisi per a l'observatori meteorològic de Sant Feliu de Guíxols (Gràfica 5.2).

A Blanes, estació meteorològica més meridional de l'àmbit estudiat, es mesura un període sec que comprèn els mesos de juny, juliol i part d'agost, mes a partir del qual comencen a aparèixer alguns períodes de precipitació de tres dies. A partir de setembre fins a novembre apareixen períodes de precipitació amb sis dies de mitjana. Un segon màxim secundari de períodes humits apareix a la primera i segona setmana d'abril amb també sis dies seguits de precipitació.

A l'estació de Cassà els tres primers mesos de l'any tenen un període sec relativament marcat. A l'abril apareix un període de 13 dies de precipitació, però és durant el període de finals de setembre i tot l'octubre que hi ha el període més important tant com per freqüència com per quantitat. La resta de mesos, tret dels de l'estiu que configuren un segon període sec, no presenten anomalies.

Al Far de Sant Sebastià, molt proper a l'observatori de Palafrugell, hi ha dos períodes secs, manifestant-se els mesos de gener i febrer, i el segon i més important, de juny fins a setembre. Només s'identifica un període de precipitació de durabilitat significativa corresponent a divuit dies seguits del novembre. Els mesos de setembre, octubre i abril també tenen algun període de precipitació però que no contraresten la importància del primer.



Gràfica 5.2.- Exemple de l'anàlisi de les quantitats mitjanes diàries per mesos. Estació meteorològica de Sant Feliu de Guíxols

A Tossa de Mar, apareix un període humit de 6 dies el mes d'abril i no torna a repetir-se fins a la meitat de setembre, amb 3 dies de precipitació. L'últim període important es dibuixa a finals d'octubre. El període sec és molt marcat i coincideix amb l'estiu astronòmic.

L'àmbit d'estudi també es caracteritza per tenir una elevada intensitat de precipitació diària i horària. Mentre l'Europa atlàntica sol presentar un règim de precipitació tranquil (pluja fina, constant i de dies consecutius), a les comarques gironines es poden arribar a recollir les mateixes quantitats en pocs minuts. A l'apartat d'episodis de màximes precipitacions es presenta la taula d'intensitats horàries, per a precipitacions de diferents períodes de retorn i per les principals conques estudiades.

Si hi ha certs dies de gran intensitat de precipitació, també hi ha períodes de sequera pronunciada. Segons Soler & Bayés (2001), en l'observatori del Far de Sant Sebastià s'arribà a l'extrem de registrar 90 dies sense un sol mil·límetre de precipitació. Aquest és un element important a l'hora d'analitzar els recursos hídrics, ja que la presència de períodes llargs de sequera total o de precipitació inferior al coeficient d'escolament (l/m^2 necessaris perquè comenci a haver-hi escolament superficial) poden produir conseqüències socioeconòmiques greus. Totes aquestes característiques mencionades manifesten la clara inseguretats en la gestió i previsió dels recursos hídrics.

5.1.3.- Episodis de màximes precipitacions

Aquest apartat té com a objectiu principal quantificar i presentar les característiques de les precipitacions màximes a partir de les dades de pluviometria diària de les diferents estacions meteorològiques consultades. Aquest apartat és de gran importància, no només pel fet de caracteritzar el factor meteorològic principal ocasionant dels principals processos geològics estudiats, sinó també pel fet de ser un apartat de recopilació de dades existents disperses en una gran varietat de fonts d'informació.

A més, les dades estimades mitjançant mètodes estadístics, seran emprades en posteriors capítols per tal d'estimar el règim de cabals per a diferents períodes de retorn mitjançant l'aplicació del mètode hidrometeorològic.

5.1.3.1.- Precipitacions màximes per a períodes de retorn de 10, 25, 50, 100 i 500 anys.

Per a l'aplicació del mètode hidrometeorològic desenvolupat més endavant en la present memòria, s'ha de conèixer la quantitat mitjana màxima de precipitació corresponent a diferents períodes de retorn.

S'entén precipitació màxima per a un període de retorn concret T com a la màxima precipitació que pot succeir cada interval de T anys. També es pot entendre com a la precipitació màxima ocorreguda dins dels T anys històrics.

De totes maneres cal tenir present que pel seu caràcter aleatori, existeix una certa probabilitat que es produeixi o sigui superat en un període menor que l'esmentat període de retorn. La probabilitat que es doni una precipitació en un període meitat del seu T , és de 0,40 i que es produeixi en un terç del seu T és de 0,26. A tall d'exemple, si es desitja que la probabilitat de succeir aquest esdeveniment plujós en 20 anys sigui menor que 0,1, s'ha de disposar un període de retorn de 200 anys (Junta d'Aigües, 1994).

Per això s'han fet els càlculs de la precipitació màxima diària per a diferents períodes de retorn: 10, 25, 50, 100 i 500 anys. Tot i això, per al càlcul de cabals, al igual que ha fet l'Agència Catalana de l'Aigua en la realització de l'INUNCAT, els períodes de retorn emprats han sigut els de 50, 100 i 500 anys.

Per assolir aquesta dada es necessitaria una sèrie de dades de precipitació màxima corresponent a aquest interval de temps. Però tant en els observatoris pròxims de la zona

com el propis de l'àmbit d'estudi, hi manquen registres sistemàtics per a aquests llargs intervals de temps i solament es disposen de registres diaris de precipitació per a períodes relativament més curts.

Per aquest motiu, les dades de precipitació diària que s'han recopilat per a aquesta tesi doctoral, s'han ajustat a una distribució extrema de Gumbel amb la finalitat d'obtenir la precipitació màxima previsible per a cada període de retorn desitjat. El motiu bàsic per haver emprat la distribució de Gumbel és perquè gairebé totes les dades trobades en diferents fonts d'informació que s'estimava la precipitació màxima per a diferents períodes de retorn feien servir aquesta; d'aquesta manera ens serà més fàcil comparar-les amb les pròpies. A més, el fet de ser una metodologia de formulismes relativament senzills ens permet entrar-la en una fulla de càlcul i així obtenir ràpidament els resultats finals.

A banda d'això, les dades obtingudes mitjançant la distribució de Gumbel s'han passat segons la distribució de probabilitat SQR-Etmàx. Aquest pas és possible mitjançant diferents paràmetres multiplicadors tabulats (Junta d'Aigües, 1994), per a cada període de retorn, a partir de quin sigui el coeficient de variació de la sèrie de valors màxims anuals de precipitacions diàries.

El motiu d'aquest pas és perquè recentment s'està desenvolupant una certa orientació a aplicar la distribució SQR-Etmàx que va ser proposada per a aquestes finalitats l'any 1986 (Etoh et al., 1986), en lloc de la de Gumbel. Experiències en rius de Catalunya indiquen que aquella distribució s'ajusta millor al comportament natural del nostre país (Ferrer, 1993). A més a més l'ACA també ha emprat aquest mètode estadístic per a la redacció de l'INUNCAT, adduint que:

- és l'únic model que ha estat proposat específicament per a la modelització estadística de màximes pluges diàries,
- és de formulació ràpida i de fàcil presentació de resultats,
- proporciona resultats més conservadors que els de la llei de Gumbel tradicional, i
- demostra una bona capacitat de reproduir les propietats estadístiques observades en el conjunt de dades emprades.

D'acord amb les formulacions de Gumbel d'estadística matemàtica aplicada a la distribució de valors màxims d'una sèrie de n registres periòdics, la precipitació màxima corresponent a un període de retorn determinat, es calcula mitjançant la fórmula:

$$X = \bar{X} - \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] + Y_n$$

en la que:

- **T** és el període de retorn escollit per als càlculs
- **X** és la precipitació màxima en 24 hores que correspon a un **T** determinat
- **X** és la mitja de la sèrie de valors màxims anuals de precipitacions diàries
- σ_x és la desviació típica de la sèrie de valors màxims anuals de precipitacions diàries
- **Y_n** i σ_n són paràmetres estadístics que no depenen dels valors de la sèrie de precipitacions, sinó solament de la mida de la mostra **n**, és a dir el nombre de períodes anuals de què es disposa (Junta d'Aigües, 1994).

La fórmula utilitzada es dedueix mitjançant transformacions elementals de la llei de distribució de Gumbel:

$$P(X \leq x) = e^{-e^{-y}}$$

essent **y** la variable reduïda donada per la fórmula:

$$y = a \cdot (X - X_g)$$

on **X_g** és el mode de la distribució i **a** un paràmetre de dispersió, per als que Gumbel proposa com a procediment d'estimació:

$$X_g = \bar{X} - \sigma_x \cdot \frac{Y_n}{\sigma_n}$$

per altra banda sabem que:

$$\frac{1}{T} = P(X > x) = 1 - P(X \leq x)$$

$$a = \frac{\sigma_n}{\sigma_x}$$

i per tant:

$$P(X < x) = 1 - \frac{1}{T} = \frac{T-1}{T} = e^{-e^{-y}}$$

i d'aquí:

$$y = -\ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

De la combinació de les anteriors expressions resulta la fórmula proposada, que relaciona la precipitació **X** corresponent a un període de retorn **T**. A la taula 5.3 es pot observar les dades de precipitació màxima diària (mm/24h) obtingudes per a l'anàlisi de distribució de Gumbel i el corresponent pas a distribució SQR-Etmàx.

Observatori meteorològic	Període de retorn (T anys)	Precipitació màxima diària (Gumbel)	Precipitació màxima diària (SQR-Etmàx.)
Begur	10	166,20	162,40
	25	201,59	205,03
	50	227,85	239,10
	100	253,91	276,09
	500	314,13	369,08
Blanes	10	156,17	151,85
	25	190,77	193,99
	50	216,44	227,52
	100	241,91	264,54
	500	300,79	359,15
Cassà de la Selva	10	135,18	131,44
	25	167,59	170,42
	50	191,63	201,45
	100	215,50	235,65
	500	270,65	323,15
Castell-Platja d'Aro	10	135,52	133,59
	25	160,89	162,99
	50	179,71	184,36
	100	198,40	208,72
	500	241,58	269,74
El Far de Sant Sebastià	10	158,07	146,78
	25	193,66	197,24
	50	220,07	238,92
	100	246,29	285,18
	500	306,86	405,57
Palafrugell	10	170,18	165,47
	25	207,50	211,01
	50	235,19	247,24
	100	262,68	287,24
	500	326,19	389,48
Palamós	10	138,44	136,24
	25	165,99	167,36
	50	186,42	193,39
	100	206,70	221,98
	500	253,57	291,46
Sant Feliu de Guíxols	10	128,17	125,27
	25	153,21	154,85
	50	171,79	178,73
	100	190,23	204,96
	500	232,85	269,25
Santa Agnès de Solius	10	192,17	186,86
	25	235,01	238,98
	50	266,78	280,45
	100	298,32	326,22
	500	371,21	443,22
Santuari del Vilar	10	123,96	122,14
	25	148,21	150,05
	50	166,20	171,53
	100	184,06	194,32
	500	225,33	253,39
Tossa de Mar	10	119,68	116,81
	25	142,66	144,54
	50	159,70	165,93
	100	176,62	189,40
	500	215,72	248,71

Taula 5.3.- Dades de precipitació màxima diària (mm/24h) per a T=10, 25, 50, 100 i 500 anys dels diferents observatoris meteorològics consultats

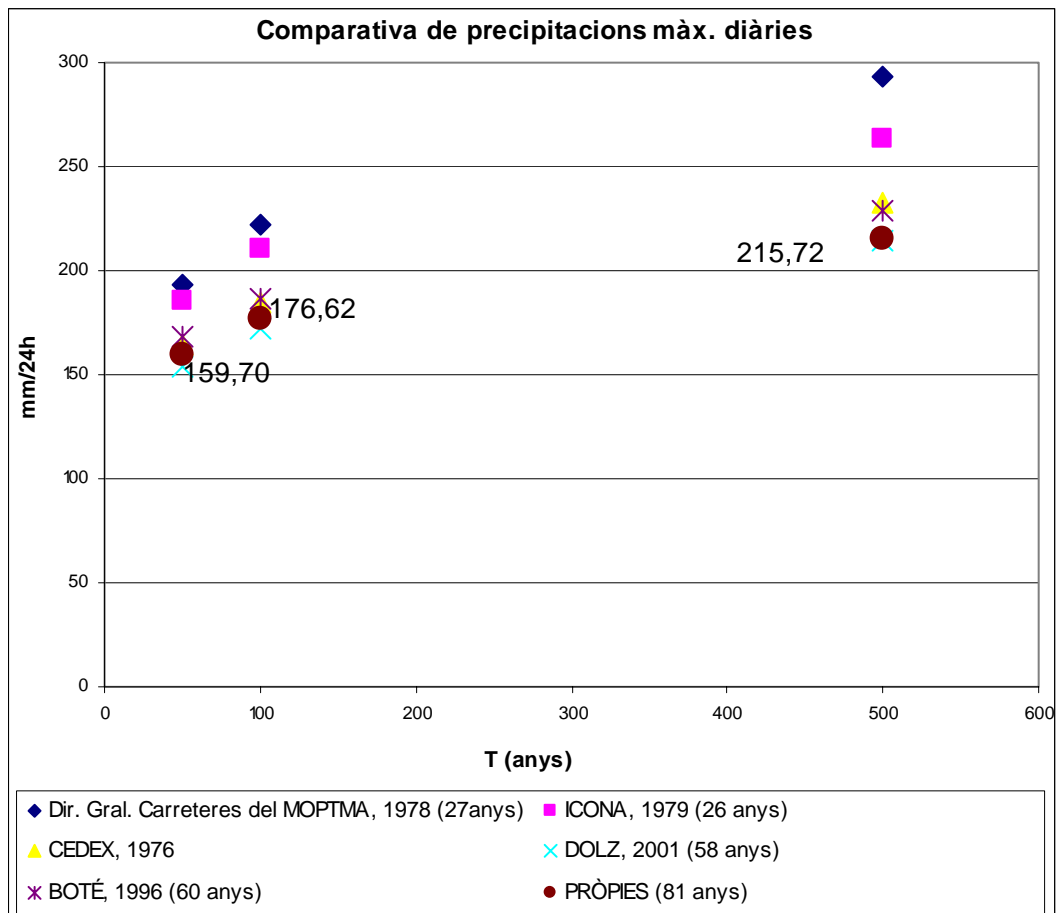
Les dades de precipitació màxima diària per al mètode de distribució SQR-Etmàx., que provenen de la conversió mitjançant la taula anteriorment esmentada de Junta d'Aigües (1994), són les dades emprades per al càlcul hidrometeorològic de cabals màxims per a

diferents períodes de retorn, ja que, com s'ha comentat més amunt, fruit d'experiències en rius de Catalunya aquesta distribució s'ajusta millor al comportament natural d'aquest territori.

Malgrat les dades calculades gràcies a uns registres històrics força complets, a tall d'exemplificar la validesa de totes les dades, s'ha fet una anàlisi comparativa per a les dades concretes de Tossa de Mar. En aquesta estació meteorològica s'ha obtingut un registre històric complet de 81 anys mentre que en altres estudis aquests registres són molt més curts. Totes les dades de precipitació s'han presentat a la taula 5.4 i la gràfica 5.3 corresponent, segons la distribució de Gumbel, per tal de poder-les comparar:

Font de les dades	Període de retorn (T anys)	Precipitació màxima diària
Pròpies (81 anys)	50	159,70
	100	176,62
	500	215,72
Dir. Gral. Carreteres del MOPTMA, 1978 (27 anys)	50	193,14
	100	222,37
	500	293,364
ICONA, 1979 (26 anys)	50	185,8
	100	211,0
	500	263,5
CEDEX, 1976	50	164
	100	185
	500	233
Dolz & Sánchez, 2001 (58 anys)	50	154,0
	100	172,3
	500	214,5
Boté, 1996 (60 anys)	50	168,45
	100	186,62
	500	228,61

Taula 5.4.- Dades de diverses fonts de precipitacions màximes diàries (mm/24hores), segons distribució de Gumbel, a la conca de la riera de Tossa per a diferents períodes de retorn



Gràfica 5.3.- Comparativa de precipitacions màximes diàries a la conca de Tossa per a diferents períodes de retorn

Estudiant la gràfica anterior ens adonem que en general les dades obtingudes a partir d'una sèrie extensa d'anys, com és el cas de les dades pròpies a on s'hi indica el valor, solen donar dades de precipitació màxima diària un xic més baixes. En canvi les dades obtingudes a partir de sèries relativament més curtes donen valors més elevats.

Per tant veiem que els càlculs realitzats s'acosten molt als estudis més recents i més exhaustius. Aquest motiu, juntament amb el fet de tenir una sèrie de dades tant extensa, dona encara més raó a emprar les pròpies dades per a l'estudi posterior de càlcul de cabals.

5.1.3.2.- Duració i intensitat de les precipitacions que originen les avingudes

La duració més desfavorable de la precipitació, és a dir aquella que originarà els cabals majors, és equivalent al temps de concentració de la conca receptora.

El temps de concentració ve determinat per les característiques físiques de la conca i la seva xarxa de drenatge; bàsicament per la longitud i pendent mitjà del curs principal. La determinació d'aquests paràmetres sobre la base cartogràfica del SIG d'aquesta tesi, ha fet possible l'estimació precisa del temps de concentració. Tots aquests paràmetres s'han calculat i desenvolupat en els apartats corresponents a factors geomorfològics i en el càlcul hidrometereològic de cabals màxims.

Per tant, per a calcular la intensitat de precipitació més desfavorable per a diferents períodes de retorn, es parteix de les dades calculades en l'apartat anterior juntament amb les dades de temps de concentració. Per al càlcul de la intensitat teòrica per a diferents duracions cal partir de la precipitació mitjana màxima diària i aplicar-li un coeficient reductor en funció de la superfície de la conca (Ayala, 1986). Aquest coeficient, proposat en Témez (1982), per a conques d'àrees compreses entre 1 i 3000 km², es calcula com:

$$K_a = 1 - \frac{\log A}{15}$$

on:

K_a és el factor reductor de la pluja diària

Log A és el logaritme decimal de l'àrea **A** de la conca estudiada en km²

En la figura 5.4 es presenta la localització de les principals subconques de les rieres estudiades així com la situació dels perfils hidràulics representatius d'aquestes. Juntament a aquesta, la taula 5.5 mostra per a les diferents subconques la longitud del curs principal en metres, el pendent mitjà en tant per cent d'aquest tàlveg, la duració del temporal (**T_c**) en hores; equivalent als seus respectius temps de concentració més el temps a efectuar la distància d'escolament (**d_e**: distància des de la divisòria d'aigües fins al curs principal), i la intensitat per a aquesta duració del temporal (**I_{T_c}**) en mm/hora, per períodes de retorn de 50, 100 i 500 anys.

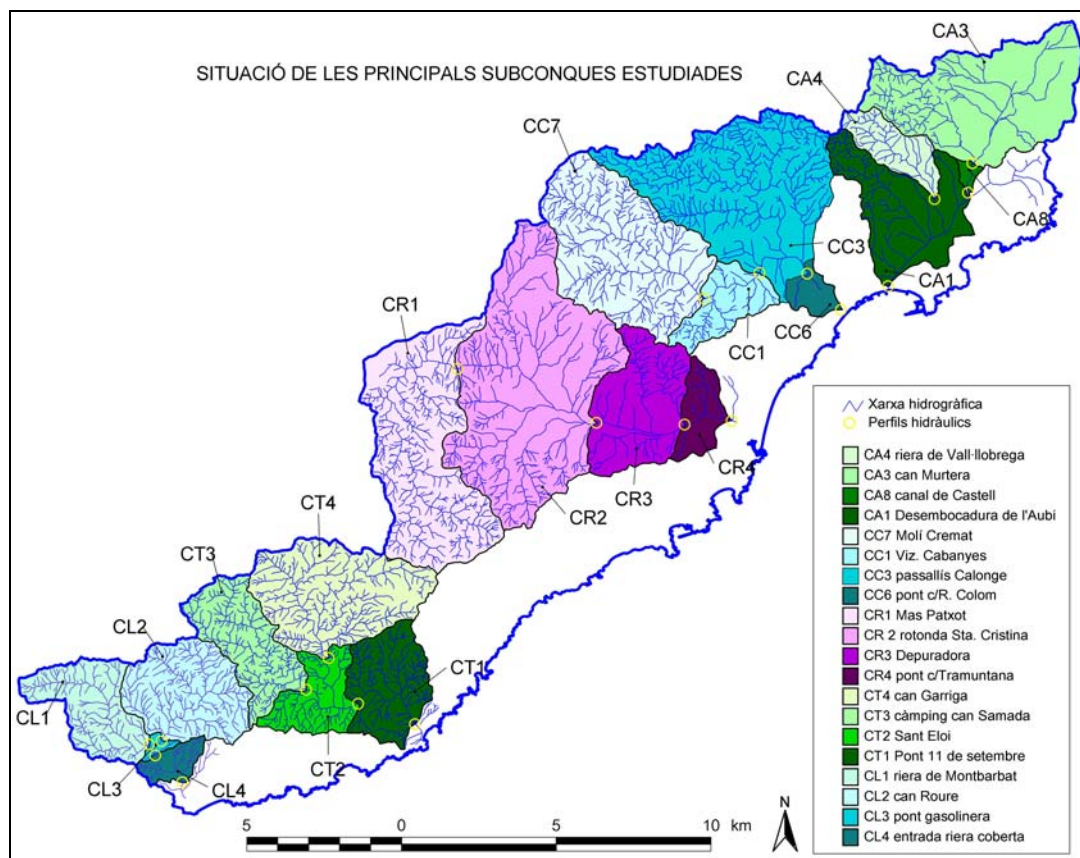


Figura 5.4.- Situació de les principals subconques de les rieres estudiades

Conca ppal.	Subconca	Longitud tàlveg (m)	Pendent Mitjà (%)	Tc (h)	Període de retorn (T)		
					50 anys	100 anys	500 anys
					I_{Tc} (mm/h)	I_{Tc} (mm/h)	I_{Tc} (mm/h)
Aubi	riera de Vall-llobrega	4870,909	6,082	2,006	57,032	65,505	86,365
	can Murtera	6506,596	2,313	2,852	42,975	49,359	65,078
	Canal de Castell	7613,98	2,075	3,235	39,404	45,259	59,671
	Pont desembocadura de l'Aubi	8793,87	3,629	3,245	39,672	45,566	60,077
Riera de Calonge	Molí Cremat	7885,084	5,792	2,693	38,027	42,402	52,360
	Passalls Viz. Cabanyes	10111,38	4,757	3,322	32,734	36,500	45,072
	Passalls Calonge	12356,86	4,012	3,952	28,391	31,658	39,092
	Pont c/R. Colom	14012,81	3,566	4,420	26,209	29,224	36,087
Ridaura	Mas Patxot	11011,06	3,882	3,698	44,710	51,701	69,509
	Rotonda Sta. Cristina	16598,09	2,732	5,283	33,711	38,982	52,409
	Depuradora	19590,76	2,377	6,111	30,145	34,859	46,866
Riera de Tossa	Pont c/Tramuntana	21296,88	2,221	6,576	28,517	32,975	44,334
	Pont 11 Set.	11227,95	3,233	3,777	37,654	43,333	56,472
	Pla de St. Eloi	8302,92	4,197	2,896	45,557	52,427	68,324
Riera de Lloret	Càmping can Samada	7471,45	4,577	2,644	50,345	57,937	75,504
	Can Garriga	5409,03	5,923	2,010	59,331	68,278	88,981
	riera Montbarbat	6001,04	4,612	2,293	47,231	53,714	69,707
Riera de Lloret	riera can Roure	5156,462	5,779	1,985	51,466	58,530	75,957
	pont gasolinera	6615,582	4,138	2,501	43,369	49,322	64,007
	entrada riera coberta	8183,136	3,523	2,991	38,322	43,582	56,559

Taula 5.5.- Intensitats horàries de la tempesta a partir de la precipitació màxima diària en funció de la longitud i pendent dels tàlvegs de les diferents subconques

5.2.- Altres factors climàtics

5.2.1.- Règim de temperatures

5.2.1.1- Variacions mensuals de les temperatures. Oscil·lacions mensuals

Un altre factor important a tenir en compte a l'hora de fer una descripció climàtica de l'àmbit d'estudi és la temperatura de l'aire. Aquesta té una gran incidència sobre la resta d'elements climàtics ja que és la font principal d'energia perquè es donin altres processos, com poden ser els d'evaporació, condensació o moviments convectius, entre d'altres.

La mitjana termomètrica anual de l'àmbit d'estudi (Figura 5.5) està comprès entre els 14°C i 16°C, valors que es poden assolir gràcies a l'efecte que fan les aigües càlides del mar Mediterrani als mesos més freds.

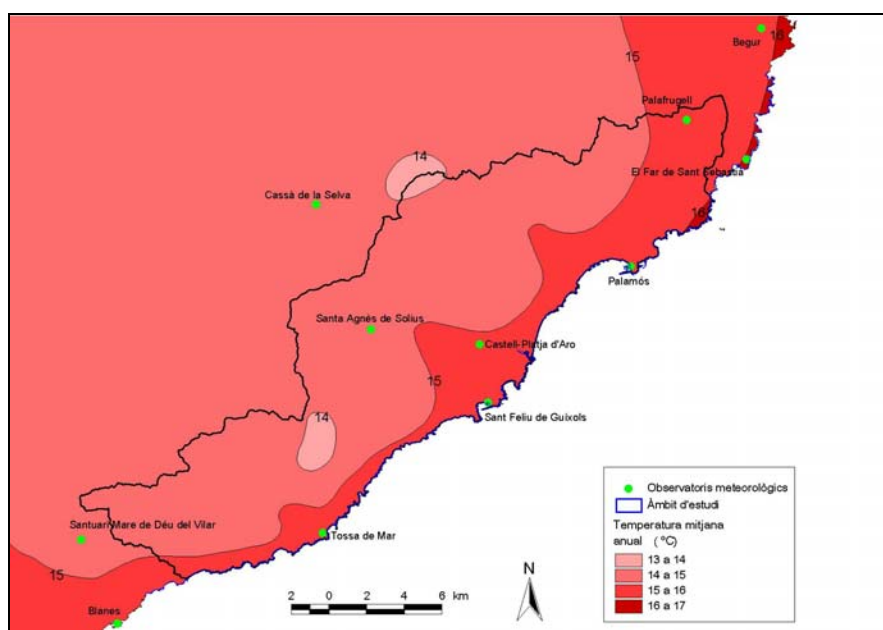


Figura 5.5. Temperatures mitjanes anuals de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atles Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)

Aquest efecte termoregulador del mar també es fa palès en els mesos més càlids, en què les temperatures mitjanes de l'estiu són lleugerament inferiors a la regió seca de la Depressió Central. La dada que ho corrobora és l'amplitud tèrmica de la regió, diferència entre la temperatura màxima i la mínima (Figura 5.6). Aquesta és de 15 a 16 °C a les capçaleres de les rieres, de 14 a 15 °C seguint la franja de la costa i menys de 14 °C de diferència entre gener i juliol al tram de costa de Palamós al cap de Begur.

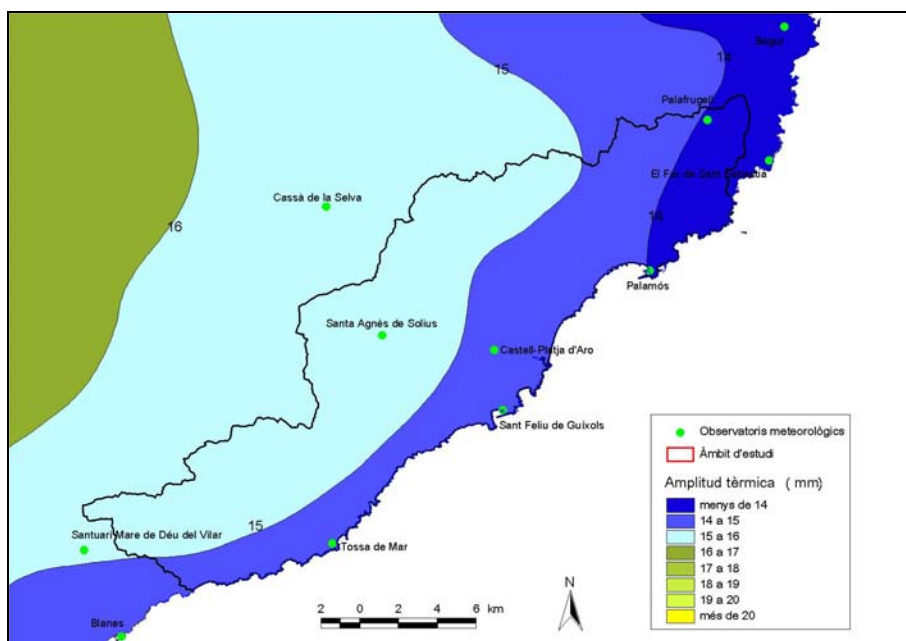


Figura 5.6. Amplitud tèrmica anual de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atlas Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)

A banda de la relativa importància que pot tenir la mitjana tèrmica anual, és gairebé molt més interessant conèixer el ritme mensual de les temperatures mitjanes. Aquest ritme cíclic segueix un patró ben simple, amb un màxim al juliol i un mínim al gener. A continuació (Figura 5.7), a tall d'exemple, es presenten els mapes de temperatura mitjana per als dos mesos extrems.

De totes maneres, les corbes termomètriques representatives no són del tot simètriques ja que a l'agost les temperatures són molt similars al mes precedent. D'aquesta manera fa que el pendent ascendent de gener a juliol, sis mesos, sigui força regular i suau; en canvi el pendent descendent d'agost a gener, cinc mesos, és un xic més acusat. Observant les dades, es pot considerar que l'àrea d'estudi és una zona temperada ja que en el mes més fred no es registra cap hivern amb temperatures mitjanes mensuals de menys de 5°C, illes termomètriques situades al puig de Cadiretes (518,4 m.s.n.m) i al puig d'Arques (535 m.s.n.m). Per tant l'hivern rigorós no existeix en aquesta zona.

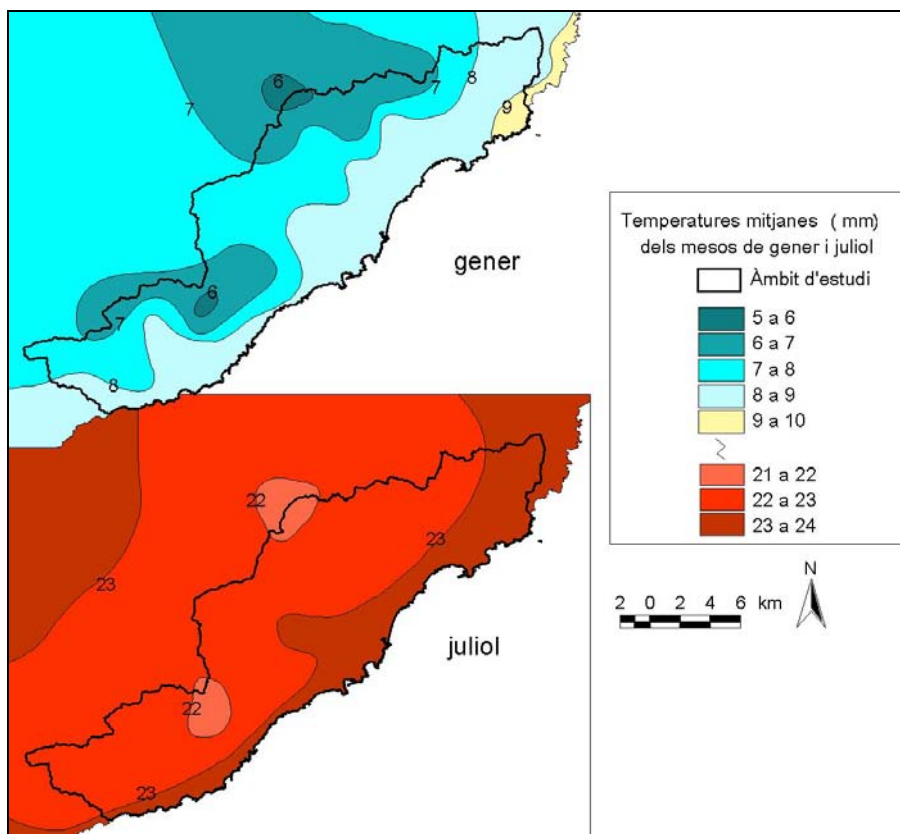


Figura 5.7. Temperatura mitjana dels mesos de gener i juliol de l'àmbit d'estudi (dades segons l'Atlas Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)

5.2.1.2.- Variacions termomètriques espacials.

Al llarg de tot l'àmbit d'estudi, de forma més o menys paral·lela a la costa i entrant resseguint les principals valls, travessa la isoterma de 15°C de mitjana anual. Només arran de la costa, al cap de Sant Sebastià i de Begur, en una franja estreta de 500 a 1000 metres de la línia de la costa cap a terra, és travessat per la isoterma de 16°C de mitjana anual. Aquests valors termomètrics anuals, d'entre els 15 i 16°C, només són assolits a Catalunya prop del litoral mediterrani i únicament ultrapassats per 1°C a les terres de l'Ebre. Aquestes temperatures mitjanes són de les més altes de Catalunya, sobrepasant les de la Depressió Central i molt per sobre, fins a 10°C, de les comarques pirinenques de més gran altitud (Sabiron et al., 1998).

Un fet destacable, que s'observa amb el seguit de figures presentades anteriorment, és la coincidència d'illes termomètriques, i fins i tot també amb les de precipitació, amb la presència de les serres i cims muntanyosos més importants de l'àmbit d'estudi. Ens referim als ja mencionats puig de Cadiretes i puig d'Arques. En ambdós coincideixen clarament les temperatures mínimes mitjanes de gener, juliol i anual.

5.2.2.- Evapotranspiració

Segons l'Atlas Climàtic de Catalunya (DMA, 2005) tota l'àrea d'estudi està dins la regió amb una evapotranspiració potencial de 712 a 855 mm, que l'anomenen Mesotèrmica II (B'2). Aquesta quantitat en mm (equivalent a l/m^2) és la quantitat màxima d'aigua susceptible d'ésser cedida en forma de vapor per una superfície de sòl completament coberta de vegetació i contínuament alimentada d'aigua sota unes determinades condicions climàtiques; el valor de l'ETP s'ha obtingut seguint el mètode ideat per Thornthwaite. Com podem comprovar en la figura 5.8, tan sols a sectors litorals del sud-oest del Llobregat, tot el delta de l'Ebre i l'extrem sud-occidental de la Depressió Central tenen una capacitat evaporant més gran, mentre que únicament en territoris de moderada a gran altitud dels Pirineus, el Montseny i els ports de Beseit aquesta capacitat és clarament inferior a la nostra àrea d'estudi. En aquesta figura també es representen les regions tèrmiques segons la proposta d'aquest mateix autor, que es basa en determinats intervals de l'ETP.

Finalment, d'acord amb el criteri de Thornthwaite, el clima de la nostra àrea d'estudi pot qualificar-se de sec subhúmit, amb un petit o moderat excés d'aigua a l'hivern i una concentració relativament petita de l'eficàcia tèrmica a l'estiu. Aquestes dades s'observen a les gràfiques següents (Gràfiques 5.4, 5.5 i 5.6). Malgrat tractar-se d'un clima sec, no pot ser considerat de semiàrid (Sabiron et al., 1998).

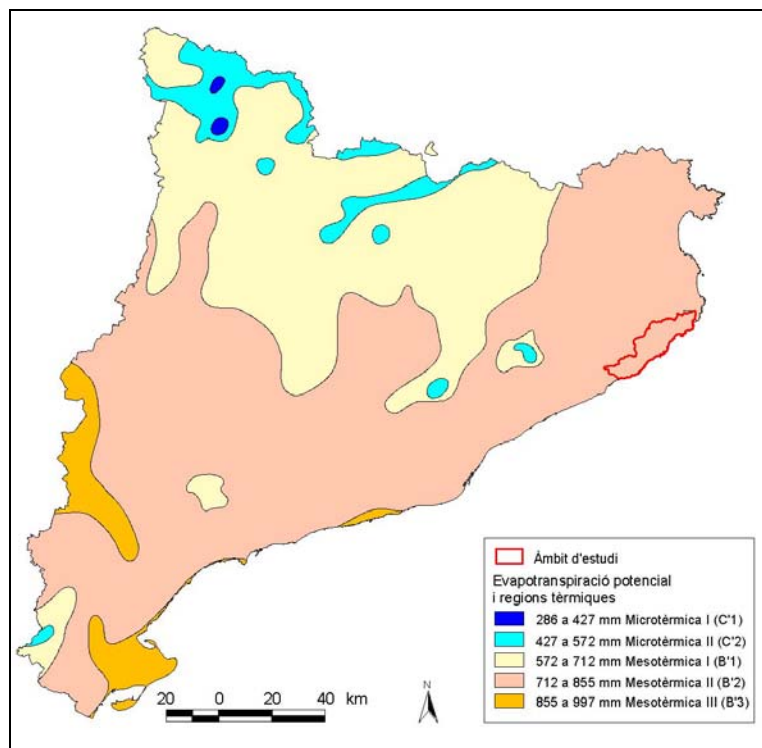
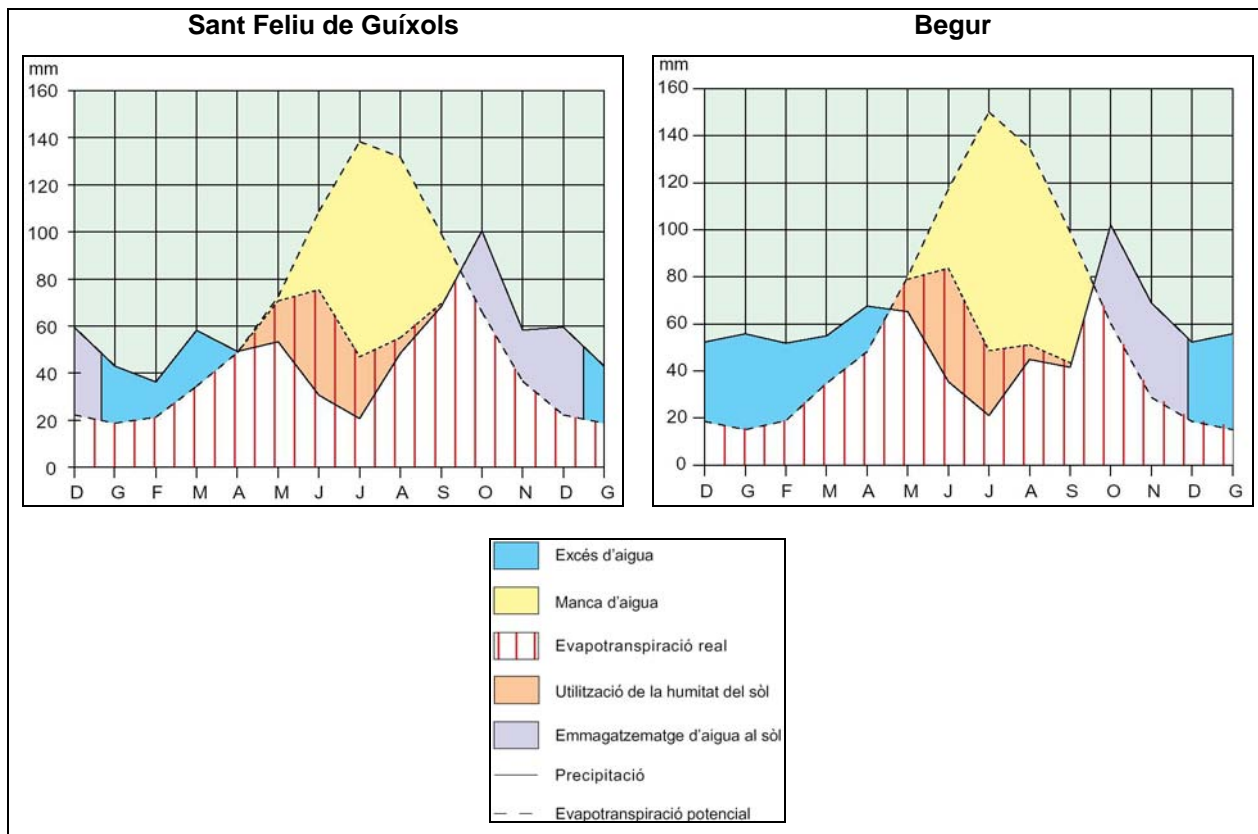


Figura 5.8. Evapotranspiració potencial i regions tèrmiques de Catalunya (dades segons l'Atlas Climàtic de Catalunya. DMA, 2005)



Gràfiques 5.4 i 5.5.- Evapotranspiració i balanç hídric de Sant Feliu de Guíxols i Begur, segons Thorntwaite, per a un emmagatzematge d'aigua al sòl de 100 mm (reproducció de Sabiron et al., 1998. Centre Meteorològic de Catalunya)



Gràfica 5.6.- Evapotranspiració i balanç hídric de Palafrugell, segons Thorntwaite, per a un emmagatzematge d'aigua al sòl de 100 mm (reproducció de Lledó & Roqué, 2005)

5.2.3.- Règim de vents

El vent és un dels factors climàtics que està més subjecte a les característiques del relleu. Les serralades muntanyoses el poden fer desviar, disminuir o augmentar. Fins i tot el relleu modest del litoral pot crear variacions de vent a escala més gran. En general es pot afirmar que la component dominant al litoral objecte d'estudi és del SW i la component de N bufa freqüentment a la part nord-est. Les roses dels vents (Figura 5.9), extretes de Sabiron et al. (1998), referents a les dades de Begur fan palesa aquesta freqüència preponderant dels vents de component nord a la part septentrional del nostre àmbit d'estudi, per més que no tots són pròpiament tramuntana.

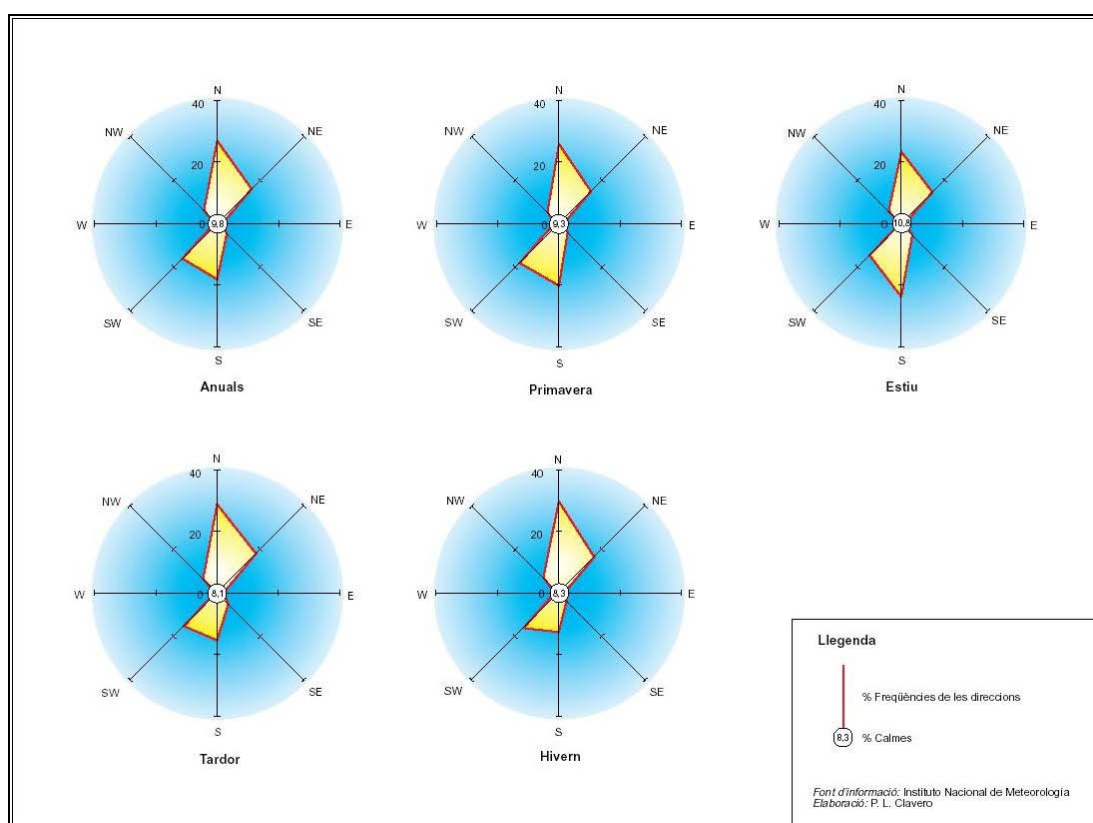


Figura 5.9.- Freqüència relativa de les direccions dels vents al cap de Begur (Sabiron et al., 1998)

La velocitat del vent en general és molt variable. Sobretot al litoral més septentrional de les terres gironines el vent és protagonista per la seva força, però en general no és constant. Per exemple a l'Empordà només un 30% dels fluxos que bufen a l'any són entre moderats i forts (Pareta, 1999).

D'altra banda, el percentatge de calmes -velocitats que no superen 1 nus- al litoral i prelitoral arriba sovint a representat prop d'un terç del total de les mesures, exemple del qual el trobem a l'aeroport de Girona on el percentatge és del 34%.

Sens dubte el vent que té més protagonisme tant per virulència com per freqüència és la Tramuntana. Aquest en general és fred i sec, de component N, i arrenca violentament des del Rosselló apuntant fins a les Balears. Aquest és més freqüent a l'hivern i a inicis de primavera que en cap altra estació. A la zona del Cap de Creus és on presenta la màxima força. Aquest es pot dir que impera com a vent dominant des de les últimes estribacions dels Pirineus fins el pas entre Palamós i Sant Feliu de Guíxols, tot i que eventualment aquest límit arriba fins a Lloret (Fontserè, 1950). Aquesta divisòria emmarca una zona de contrast entre els vents forts de component nord amb els adormits a ponent d'aquesta.

En l'àmbit d'estudi, a banda de la Tramuntana també incideixen altres tipus de vents que responen a causes molt més locals. En les situacions sinòptiques més estables, amb la presència d'un anticicló o pantà baromètric ampli, és quan es donen les situacions més a adients perquè hi hagi contrastos termomètrics entre terra ferma i el mar. En conseqüència es formen les marinades o brises i els vents terrals. De forma general es pot afirmar que de dia existeix una marinada, que entra per les principals valls de les rieres i és canalitzada fins més enllà de la serralada Litoral per els punts més baixos, i de nit el terral entra cap a mar.

Per exemple aquesta marinada es dona a Cassà de la Selva i al Gironès més meridional, mentre que a l'interior de les Gavarres més altes ja hi ha una preponderància a que bufi fort la Tramuntana.

6.- MORFOLOGIA

6.1.- Característiques geomorfològiques generals

L'àmbit d'estudi d'aquesta tesi doctoral es caracteritza per ser una zona amb un fort predomini de la dinàmica fluviotorrencial, donant peu al desenvolupament d'una geomorfologia peculiar, típica de zones amb un sòcol dur i resistent recobert per un mantell d'alteració espès.

El desenvolupament dels mantells d'alteració sota condicions tropicals genera extenses superfícies d'aplanament, restes de les quals es preserven encara avui dia en posicions somitals de la zona estudiada, fonamentalment a la conca alta del Ridaura. En aquest cas, els retalls de les superfícies d'aplanament se situen a uns 140 m d'altura i connecten amb el sistema de glacis que davallen cap el fons de la depressió de la Selva (glacis de Llagostera i de Cassà). El curs del Ridaura s'ha encaixat profundament en aquesta superfície i ha

eliminat bona part del perfil d'alteració. Aquest fet ha permès que en alguns llocs arribi a aflorar en superfície el relleu de fons del mantell d'alteració. En el sector de Solius aquest relleu de fons és constituït per un conjunt de domos granítics que emergeixen sota el sauló (Roqué & Pallí, 1996). La relació entre aquests domos i l'estructura de la roca és força evident, com queda palès per la disposició dels domos just en els espais delimitats per les fractures principals (Figura 6.1).

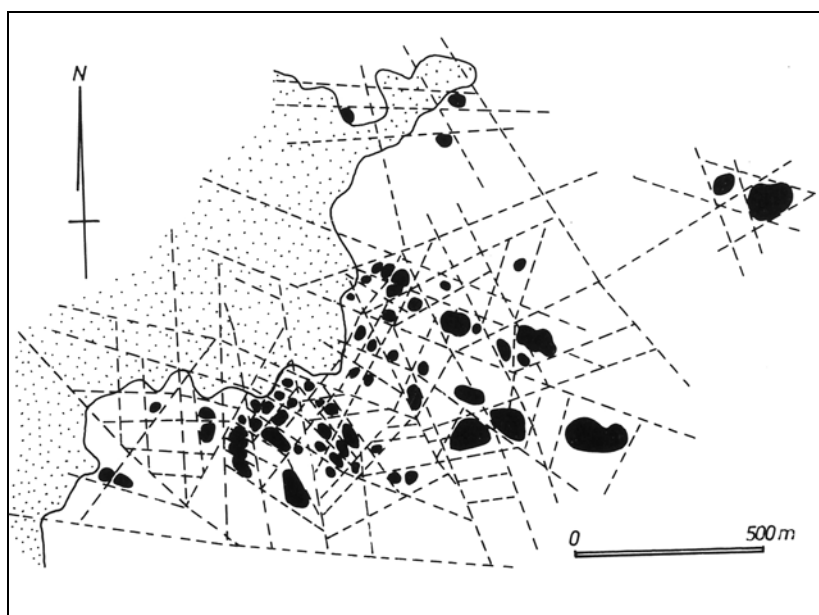


Figura 6.1.- Disposició dels domos granítics (en negre) respecte la xarxa de fractures principals (línies discontinúes) del sector de Solius. Els domos emergeixen de la superfície d'aplanament modelada en sauló (en puntejat a la figura) (Roqué & Pallí, 1996)

La presència de nuclis residuals dels mantells d'alteració (boles granítics) i de formes elaborades en el relleu de fons (domos, castells rocallosos, tors) és força freqüent en la majoria d'afloraments de roques plutòniques desproveïdes de la capa de sauló arreu de la zona d'estudi (Roqué & Pallí, 1991, 1994a i b i 1996; Pallí & Roqué, 1997). Tanmateix, la relació amb superfícies d'aplanament no és tant evident com a la conca alta del Ridaura.

Pel que fa a la producció cartogràfica de la morfologia de l'àmbit d'estudi caldria destacar sobretot la produïda a l'àrea de Geodinàmica Externa de la UdG com és el mapa geològic de Sant Feliu de Guíxols (Pallí, 1978), el mapa geològic de Castell d'Aro (Pallí, 1980), el mapa morfològic de la conca del Ridaura (Pallí, Trilla & Estalrich, 1985), el mapa geològic de Santa Cristina d'Aro (Pallí, 1985), el mapa morfològic de Tossa de Mar (Pallí & Roqué, 1993), la cartografia geoambiental de la conca del Ridaura (Pallí & Roqué, 1995) o el mapa morfològic de Sant Feliu de Guíxols (Pallí & Roqué, 1996), entre d'altres cartografies incloses dins de publicacions.

6.2.- Anàlisi morfomètrica

La xarxa hidrogràfica de les rieres que drenen l'àmbit d'estudi i les seves característiques morfomètriques venen determinades bàsicament pel substrat cristal·lí pel qual discorren, fracturat per tot un conjunt de falles disposades perpendicularment entre elles, amb una orientació preferent NW-SE i NE-SW. Aquestes intervindran com un factor més, a banda de l'ocupació del sòl, climatologia, o obres antròpiques a la llera; en l'evolució morfodinàmica i dinàmica fluvio-torrencial. Per aquest motiu s'ha volgut fer una especial atenció a l'estudi morfomètric sistemàtic de les conques, seguint els sistemes clàssics de Horton-Strahler (Horton, 1945, 1970; Strahler, 1952, 1988), els quals aquests índex influeixen de manera directa en el tipus i intensitat de les riuades (Durán et al., 1985).

S'ha optat per a l'anàlisi morfomètrica de les conques pel fet que aquesta pot aportar dades rellevants en el comportament morfodinàmic d'aquestes. D'aquesta manera, a banda de completar la caracterització hidràulica, enfocant la problemàtica del risc d'inundacions d'una forma més global, no només del punt de vista de fer-ho a nivell de conca sinó també des del punt de vista multidisciplinar, també permetrà establir les bases metodològiques per a una posterior anàlisi comparativa de diferents conques hidrogràfiques de la Costa Brava.

Per altra banda el fet que les rieres desembocuin directament a la mar Mediterrània es pot considerar que no tenen plana costanera, o aquesta és ínfima, i que per tant en tot l'àmbit d'estudi hi hagi un clar predomini del modelatge geomorfològic provocat per l'aigua en moviment. Per tant és un sistema eminentment d'erosió fluvio-torrencial i l'anàlisi d'aspectes morfomètrics es fa molt convenient.

Pel que fa a la metodologia, durant molt de temps la quantificació de característiques del medi físic, amb una importància creixent des dels anys 60, s'han basat en característiques del relleu a partir de mapes topogràfics i mesures directes a camp (López et al., 1988). Amb l'entrada de la microinformàtica durant els anys 70 es va començar a tractar a petita escala amb imatges de satèl·lit. No ha sigut fins l'aparició dels Sistemes d'Informació Geogràfica, juntament amb els models d'elevacions del terreny (MDT), que s'ha permès aproximar el problema a la gran escala, no només per a la descripció morfològica del terreny sinó també per a estudis geoambientals i per a l'estudi de riscos naturals (Irigaray et al., 1997).

En aquest apartat, per tant, es presenten els resultats obtinguts en la quantificació i descripció de diferents paràmetres del medi físic a partir del SIG i dels MDT, de resolució 30x30 metres i cedida per l'Institut Cartogràfic de Catalunya, d'aquesta tesi doctoral.

6.2.1.- Xarxa de drenatge

La xarxa de drenatge és tot el conjunt de rieres, torrents, torrenteres i rierols entrelaçats de tal manera que fan possible que l'aigua caiguda dins dels límits de la divisòria d'aigües, dreni en forma d'escolament superficial directa fins fora del sistema estudiat (conca hidrogràfica) (Strahler, 1988).

La xarxa de drenatge, simplificada a partir de línies, també anomenades tàlvegs, s'ha resolt a partir de l'anàlisi de fotografia aèria i posterior digitalització, a una escala aproximada d'1:2500, per a la incorporació al SIG. Molts dels càlculs posteriors es basen en el dibuix acurat de la xarxa de drenatge, i de les divisòries d'aigües, cosa que li dona una importància cabdal. Aquesta es pot veure dibuixada en la figura 6.2.

Cal tenir present que el sistema d'erosió ideal que Horton (1945) féu servir per l'anàlisi morfomètrica pertany a la fase de maduresa del cicle de denudació en clima humit. Per tant les conclusions morfomètriques s'hauran d'agafar amb precaució tot i que perfectament vàlides alhora de fer un posterior estudi comparatiu entre conques. A més, a pesar de les visibles diferències superficials entre els sistemes de clima humit i semiàrid, tenen una geometria notablement similar si es comparen les zones de relleu madur (Strahler, 1988).

En qualsevol cas, aquest estudi que es presenta en aquest capítol parteix de la hipòtesi de treball que existeix una relació estadística entre la freqüència d'un cabal determinat i la configuració del tàlveg pel que circula (Tricart, 1960).

Bàsicament el que determina les principals característiques de la xarxa de drenatge, i les diferències d'altres conques, és el tipus de règim pluviomètric, el substrat geològic i llurs característiques estructurals i en bona part també la variació del nivell de base de les rieres (Strahler, 1988).

En el nostre àmbit d'estudi les diferents conques hidrogràfiques es caracteritzen per tenir un substrat de roques cristal·lines amb uns pendents moderadament alts. El pendent màxim avaluat, mitjançant el SIG i els MDT, és del 100,8% (45,2°), píxel 30x30 metres situat en els doms granítics de Solius, a la capçalera del Ridaura (Roques Bessones i Roca Ponça). En aquesta zona existeixen doms granítics de parets quasi verticals. De totes maneres la pendent mitjana ponderada de les conques estudiades va del 12,70% a l'Aubi fins al 30,16% a la riera de Tossa, fet que fa que les lleres es presentin força encaixades i amb desnivells importants, sobretot les que drenen els massissos de l'Ardenya i de les Gavarres.

A més, el fet que a nivell regional tot el substrat rocós estigui fortament travessat per fractures en direcció NW-SE i NE-SW, fa que les rieres presentin al llarg de tota la xarxa de

drenatge canvis de direcció sobtats, formant colzes de 90° com el Sot d'Aiguabona que drena el Turó de Rossell a la conca de Lloret, o fins i tot canvis de direcció de 180° com ocorre al torrent d'Aiguafina que drena les aigües que provenen de la vessant W i N del puig de Cadiretes, el qual passa a drenar en sentit sud. Aquesta característica també la presenta la part alta de la riera del Ridaura, al municipi de Santa Cristina d'Aro. Amb un recorregut de 21,3 km i un desnivell de 445,5 m, la capçalera es troba a només 2,98 km del mar. Això és degut, però, a la forta erosió regressiva del Ridaura, que al remuntar i guanyar curs, va permetre a partir del Pliocè capturar algunes de les ramificacions superiors dels afluents del Ter a la comarca de la Selva (Pallí, 1966).

Riera d'Aubi

La riera de l'Aubi que discorre pel corredor de Palafrugell, fins al 1924 anava des d'aquesta població fins a la badia de Palamós, però en aquell any es van efectuar les obres de desviament en el seu curs mitjà, fragmentant la conca de l'Aubi en dues d'independents (Trijuque, 1999 i Sabiron et al., 1998). Aquestes, en la bibliografia general, s'anomenen, l'Aubi alt i l'Aubi baix. Respectivament desemboquen a la platja de Castell i a la badia de Palamós. Deixant de banda aquesta divisió, l'Aubi "natural" presenta una xarxa clarament dissimètrica. La majoria de rieres tributàries provenen del seu marge dret, des dels vessants de les Gavarres, degut al major relleu d'aquesta zona. Cal tenir present des d'ara que, aquest Aubi "natural", com que ha sigut el precursor principal de les diferents característiques de la morfometria fluvial que s'analitza, s'ha considerat que la seva xarxa de drenatge i la seva conca van des de Palafrugell fins a la badia de Palamós.

El topònim en sentit estricte, no s'aplica fins a les proximitats de la masia de la Torre Roja, on el les petites rieres de Vila-seca, d'en Belluga, de la Tortuga, de Santa Margarida i de Vilarnau conflueixen successivament i defineix un curs més ample i precís. Considerant el seu actual drenatge, l'Aubi alt recull per la dreta les aigües de la riera de Torrentbó i, per l'esquerra, ja en el tram artificialitzat, la riera de Canyelles, una petita conca litoral que avui aprofita per sortir al mar. L'Aubi baix, d'altra banda, discorre rectilini, amb poc pendent i fortament canalitzat com a col·lector de les diverses rieres que hi desguassen per la dreta. Els cursos principals corresponen a les rieres de Vall-llobrega, de Corbatxes, de Bell-lloc i de Belitrà.

Riera de Calonge

La riera de Calonge adquireix aquesta denominació únicament en el tram més baix de la conca, neix de la confluència de la riera dels Molins o de Cabanyes i la riera de Rifred o de la Ganga en l'indret anomenat el Desembocador, i desemboca al mar entre les platges de Sant Antoni i Torre Valentina. La riera dels Molins rep aquest nom a causa de la presència de diversos molins fariners al llarg del seu recorregut. Aquesta aplega els desguassos de les rieres de Mas Cases, de Mas Riera, de Ruàs i de Mas Monjo i hi ha qui l'anomena riera de

Cabanyes en el seu tram final. La riera de Rifred o de la Ganga inicia el seu recorregut en el coll de la Ganga, davalla ràpidament incorporant per la dreta la riera de Sant Cebrià i del Folc, i per l'esquerra la riera de s'Orinella. El nom de riera de Rifred l'adquireix en passar prop d'aquest barri, abans d'arribar al Desembocador. A partir d'aquest punt i fins al mar, la riera de Calonge, de forma rectilínia i redreçada per l'home, només incorpora al seu curs pel seu marge esquerre la riera del Tinar.

Aquesta artificialització de l'últim tram ha fet que consideréssim la xarxa de drenatge i la conca hidrogràfica, per a posteriors càlculs morfomètrics, des de la capçalera fins a on antigament hi havia les maresmes, punt natural de desembocadura. Aquest límit ha estat considerat per la categoria del mapa litològic de *dipòsits de maresma*.

El Ridaura

El Ridaura neix dins la comarca del Baix Empordà, als peus de l'ermita de Sant Baldiri, al massís d'Ardenya, i, transcorreguts uns centenars de metres, entra dins la comarca del Gironès, orientant-se inicialment cap a Llagostera. La captura fluvial, esmentada per primer cop en Pallí (1966), fa retornar el curs cap a la vall d'Aro, novament dins del Baix Empordà. Els principals afluents del Ridaura són, per la dreta, les rieres de Solius i del Vilar, i per l'esquerra, les rieres de Salenys, de Bell-lloc o de la Font Picant, i els torrents de Canyet, de la Coma i de Malany. Desemboca en el sector més meridional de la platja Gran de Platja d'Aro.

Altra vegada, el fet que antigament i de forma natural el Ridaura desembocqués en maresmes, i que per l'acció humana s'assequessin i aquest s'allargués de forma rectilínia fins a la línia de la costa, per als càlculs següents, la xarxa de drenatge i la conca hidrogràfica s'han considerat des de la capçalera fins a aproximadament al límit dels *dipòsits de maresma* del mapa litològic.

Riera de Tossa

Fent referència a la toponímia tossenca, la riera de Tossa es caracteritza per tenir un curs principal que rep el mateix nom, que va des de la collada de Terra Negra, que fa de divisòria d'aigües i per a on passa la carretera comarcal GI-689, fins a la desembocadura. Aquest però, tot i que popularment es considera com a curs principal, no és el curs més llarg, sinó que és el torrent d'Aiguafina. Tot i això s'ha considerat com a curs principal per els càlculs posteriors de morfometria, ja que és el curs torrencial amb més dipòsits de sedimentació i per tant probablement el geològicament més actiu. Aquesta riera presenta dues bifurcacions importants, donant primer el torrent de Samada, que drena la meitat W de la conca, i més amunt el torrent d'Aiguafina anteriorment esmentat.

Pel que fa a la plana al·luvial aquesta és pot dividir en dues. Una correspon a la plana de Sant Eloi que va des de la bifurcació entre el torrent de Samada i la riera de Tossa i el meandre que dirigeix la riera de E cap a S, a l'altura de la depuradora municipal de Tossa de Mar. Aquesta està bàsicament recoberta per camps agrícoles i cases disperses, així com el complex turístic Sant Eloi. Les amplades varien entre 150 i 50 m. L'altra part de la plana fluvial correspon a la part final de la riera de Tossa, avui dia tota recoberta per el teixit urbà del poble de Tossa. En aquest cas les amplades són de 450 i 140 m. El fet de no haver-hi cartografiats dipòsits de maresma a la part de la desembocadura en les cartografies consultades, i els preexistents es troben a profunditats d'aproximadament 8 m segons sondatges consultats, s'ha considerat la xarxa de drenatge i la conca hidrogràfica fins al límit amb el mar.

Riera de Lloret

La riera de Lloret pren aquesta denominació en el tram més ample, en el qual també la plana al·luvial té més entitat (de 186 fins a 800 metres d'amplada), des de la seva gran bifurcació entre els torrents de Montbarbat i de can Roure, fins a la desembocadura a la part de més a ponent de la platja Gran de Lloret. Els últims 1220 metres ha estat coberta per l'entramat urbà. La riera de can Roure ahora té diversos desguassos dels que destaquen el Torrent de can Creixell, de les Cigonyes i el Sot d'Aiguabona. En quant al ramal esquerra de la riera principal solament es destaca el torrent de Montbarbat, el qual per longitud és el curs principal de la conca hidrogràfica.

El curs final d'aquesta riera ha estat del tot artificialitzat i a més és l'única de tot l'àmbit d'estudi que a més ha estat coberta. El fet d'existir dipòsits de maresma a la part final de la plana s'ha suposat novament que de forma natural aquesta riera desembocava allí. Per aquest motiu aquesta categoria litològica s'ha considerat com a límit final de la xarxa i de la conca hidrogràfica de la riera de Lloret a efectes de càlculs morfomètrics.

6.2.2.- Morfometria fluvial de les conques

La mesura de qualsevol forma o geometria rep el nom de morfometria. En el cas en que la mesura es faci de les propietats geomètriques de la superfície sòlida d'un sistema d'erosió fluvial s'anomena morfometria fluvial (Horton, 1945 i 1970; Strahler, 1952 i 1988; Abrahams, 1984; Sánchez, 1990; Keller & Pinter, 1999; Jiménez, 1999; entre d'altres)

Totes les mesures que es presenten a continuació s'han realitzat gràcies al SIG emprat en aquest tesi, que a part de ser una eina molt útil per a la presentació de mapes i per a l'emmagatzematge de bases de dades geogràfiques, permet fer càlculs de longituds, àrees, perímetres o pendents, entre d'altres.

En aquest apartat, el fet d'haver una gran quantitat de mesures i relacions morfomètriques, s'ha optat per presentar-les seguint l'esquema següent (Ayala & Olcina, 2002):

- **Propietats lineals del sistema de drenatge:** anàlisi planimètrica de la xarxa de drenatge com a un sistema ramificat de línies sense amplada.
- **Propietats superficials de la conca de drenatge:** anàlisi planimètrica de la superfície del terreny.
- **Propietats de relleu del sistema fluvial:** anàlisi d'altures relatives de les superfícies i línies respecte a la base horitzontal de referència (en el nostre cas el nivell del mar).

Com a generalització es pot dir que les línies, unidimensionals, compleixen la funció de transport l'aigua i sediments fora de la conca en què drenen; les àrees, bidimensionals, tenen la funció d'interceptar la pluja i aportar sediments; i finalment el relleu, tridimensional, dona la dimensió vertical del paisatge, condicionant la velocitat d'escolament i la intensitat del procés d'erosió i transport (Ayala & Olcina, 2002).

6.2.2.1.- Propietats lineals

6.2.2.1.1.- L'ordre de la conca, Shreve's Magnitude i la relació de bifurcació

L'ordre de la conca es dedueix de la classificació, segons la jerarquia per ordres, dels diferents segments dels canals de la xarxa de drenatge. En aquest cas l'ordre del curs principal a la desembocadura de la conca dona lloc a l'ordre de la conca (Strahler's Basin Order) (Strahler, 1952).

Un cop determinada la xarxa de drenatge amb fotografia aèria (Figura 6.2) s'ha fet la seva classificació segons la llei de Strahler (1952, 1988). Fent servir aquesta metodologia, els ordres i el nombre de canals de cada ordre de les conques estudiades es presenten a la taula següent (Taula 6.1).

Conca	Ordre	N1 (Magnitud Shreve)	N2	N3	N4	N5	N6
Aubi	5	198	49	12	3	1	0
riera de Calonge	6	574	137	29	9	2	1
Ridaura	6	675	170	44	11	3	1
riera de Tossa	6	608	137	33	7	2	1
riera de Lloret	5	345	84	14	2	1	0

Taula 6.1.- Ordres i nombre de canals de les conques principals

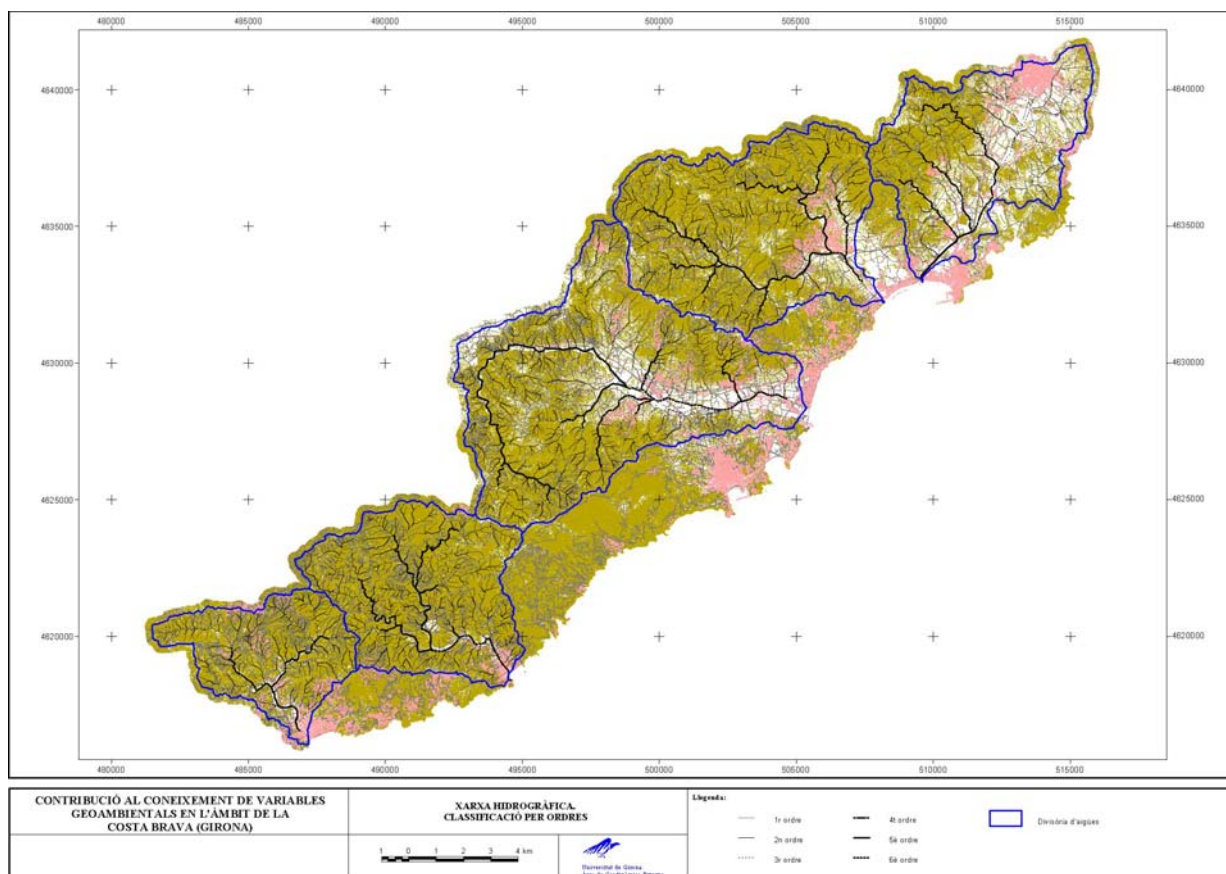


Figura 6.2.- Mapa de la xarxa hidrogràfica de la zona estudiada. Classificació per ordres

Com podem veure amb la jerarquitització de les xarxes les conques de la riera de Calonge, de Tossa i el Ridaura presenten un ordre superior, de 6, que les de l'Aubi i Lloret, de 5.

Una de les propietats lineals més importants és el que es coneix com a Magnitud de Shreve (*Shreve's Magnitude*) o també més conegut com a el nombre de canals de primer ordre. Aquesta dada morfològica ha sigut correlacionada amb el pic d'avinguda en varis estudis a la serralada dels Apalatxes o als rius del centre de Texas, deduint que el nombre de canals de primer ordre és la variable que més bé es correlaciona amb el pic d'avinguda per un ampli rang de regions fisiogràfiques (Morisawa, 1985 i Patton & Baker, 1976). La importància del nombre de canals de primer ordre rau en el fet que per a events de gran intensitat plujosa el nombre i longitud total d'aquests canals representen fins al 50% del total de la xarxa hidrogràfica de la conca. Per tant, com més gran és la Magnitud de Shreve en una conca determinada, més curt serà el temps de resposta pluja-escolament superficial directe i d'altra banda, més erosionada estarà la conca.

En els casos estudiats es veu una clara diferència entre conques (Taula 6.1). El Ridaura i la riera de Tossa presenten una Magnitud de Shreve de 675 i 608 respectivament, valors molt superiors a la resta i amb una diferència remarcable respecte l'Aubi, de tan sols 198.

Tant o més important és el percentatge que aquests canals de primer ordre suposen respecte el nombre total i la longitud total dels canals. A continuació es mostren aquests percentatges (Taula 6.2).

Conca	Percentatge en nombre dels canals de 1r ordre	Percentatge en longitud dels canals de 1r ordre
Aubi	75,29	35,21
riera de Calonge	76,33	36,77
Ridaura	74,67	47,51
riera de Tossa	77,16	57,06
riera de Lloret	77,35	55,96

Taula 6.2.- Ordres i nombre de canals de les conques principals

En tots els casos podem observar que el percentatge en nombre dels canals de primer ordre, de l'ordre del 76% de mitjana, és sensiblement superior al 50% que es demostra en Morisawa (1985) i en Patton & Baker (1976). En quant al percentatge en la longitud dels canals de primer ordre aquests són més dispers, existint una certa relació depenent de l'entitat que agafa la plana al·luvial. Els casos de les rieres de Lloret i Tossa, amb una plana més incipient i per tant longituds menors per els ordres més grans, representen de l'ordre d'un 56-57% del total de les longituds de tots els canals. Per a conques amb planes més importants aquest percentatge disminueix fins al 35,21% per al cas de l'Aubi. Aquests percentatges ens comencen a donar la idea de quines conques estan sotmeses als fenòmens erosius més importants (Lloret i Tossa).

A partir de la classificació dels diferents trams de les rieres es poden extreure altres paràmetres. La relació de bifurcació **Rb**, (Taules 6.3 a 6.7) és la relació existent entre el nombre de canals N_n d'un ordre qualsevol n i les de l'ordre immediatament superior (Horton, 1945 i Strahler, 1988), que per a qualsevol canal es pot expressar com:

$$Rb = \frac{N_n}{N(n+1)}$$

Aubi (ordre 5)			Riera de Calonge (ordre 6)		
Ordre del segment, n	Nombre de segments, Nn	Relació de Bifurcació $R_b=Nn/N(n+1)$	Ordre del segment, n	Nombre de segments, Nn	Relació de Bifurcació $R_b=Nn/N(n+1)$
1	198	4,04	1	574	4,19
2	49	4,08	2	137	4,72
3	12	4,00	3	29	3,22
4	3	3,00	4	9	4,50
5	1		5	2	2,00
			6	1	

Ridaura (ordre 6)			Riera de Tossa (ordre 6)		
Ordre del segment, n	Nombre de segments, Nn	Relació de Bifurcació $R_b=Nn/N(n+1)$	Ordre del segment, n	Nombre de segments, Nn	Relació de Bifurcació $R_b=Nn/N(n+1)$
1	675	3,97	1	608	4,44
2	170	3,86	2	137	4,15
3	44	4,00	3	33	4,71
4	11	3,67	4	7	3,50
5	3	3,00	5	2	2,00
6	1		6	1	

Riera de Lloret (ordre 5)		
Ordre del segment, n	Nombre de segments, Nn	Relació de Bifurcació $R_b=Nn/N(n+1)$
1	345	4,11
2	84	6,00
3	14	7,00
4	2	2,00
5	1	

Taules 6.3 - 6.7.- Resum de la classificació per ordres de les rieres estudiades i la relació de bifurcació

En el nostre cas veiem que R_b dóna generalment valors compresos entre 3 i 4,72. Aquests valors entren clarament dins el rang de 3-5 senyalat per Strahler (1988), i per tant els resultats seran similars i comparables a conques de muntanya de la Península (López et al., 1988). Aquests també reflecteixen el fet de trobar-nos en conques formades per roques homogènies i al mateix temps són indicadors del funcionament torrencial de la xarxa hidrogràfica de la zona (Sánchez, 1990). Aquesta relació es perd en l'última, corresponent a N_5/N_6 per a la riera de Calonge i de Tossa, i a N_4/N_5 per a la riera de Lloret, donant un valor de 2. Aquestes simplement es donen per tenir 2 canals del penúltim ordre en comptes de 3; fet que al dependre de tants pocs canals no es considera significatiu.

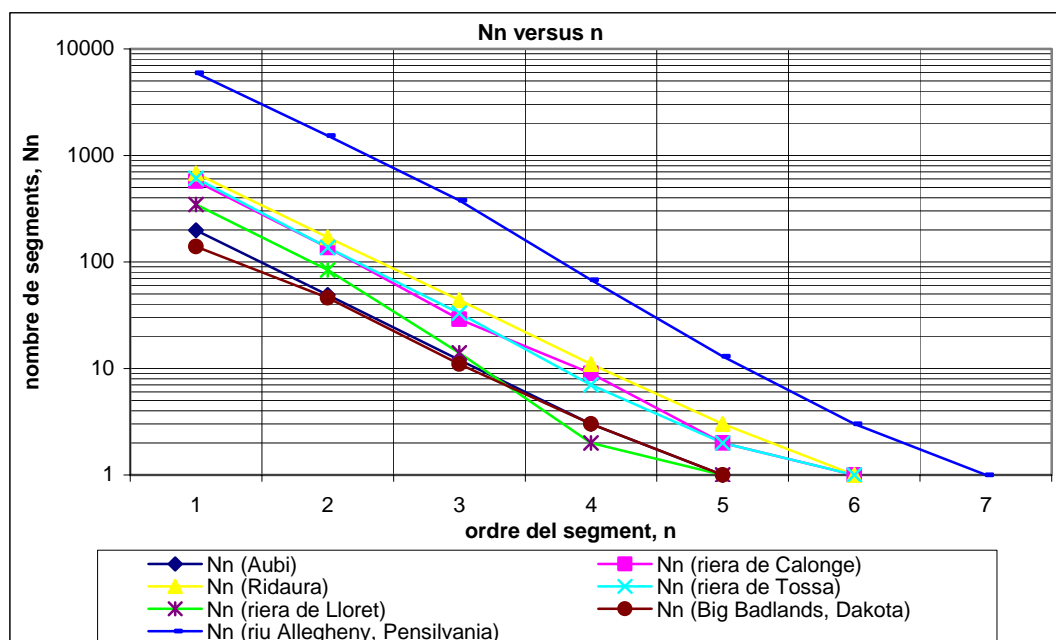
Una altra de les anomalies és per la riera de Lloret en què en la relació N_2/N_3 i N_3/N_4 dóna valors de 6 i 7, fet que podria tenir una relació amb la directriu estructural que controla aquests cursos fluviotorrentials (Sánchez, 1990).

Si es denomina n el número d'ordre i al nombre de segments d'un ordre determinat per Nn , es pot representar, com s'observa en la gràfica 6.1, la relació del Nn amb n donant una recta de regressió corresponent a una funció exponencial negativa. D'aquesta forma es demostra que les rieres estudiades també compleixen la primera llei de Horton (1945). Matemàticament es formalitza amb l'expressió:

$$Nn = Rb^{(k-n)}$$

Amb aquesta llei, només coneixent la Relació de bifurcació i l'ordre de la conca es pot determinar el nombre de segments d'un determinat ordre.

A continuació es mostra la gràfica que representa les dades de la taula anterior juntament amb les dades obtingudes en dues localitats d'Estats Units (Strahler, 1981). Es pot veure clarament que compleix el fet que sigui una funció exponencial negativa.



Gràfica 6.1.- Relació del nombre amb l'ordre dels segments (a partir d'Strahler (1981) i dades pròpies)

6.2.2.1.2.- Longitud dels trams, la relació de longitud

La longitud dels diferents segments i la seva representació s'ha pogut determinar amb certa facilitat gràcies a les eines d'anàlisi espacial que té incorporat el SIG. D'aquesta manera s'ha obtingut:

La relació de longitud RL, que és la relació existent entre la longitud mitja **Ln** de les lleres d'un ordre donat **n** i la longitud mitja del immediatament inferior (Horton, 1945 i Strahler, 1988). En el cas en què solament es tingui la longitud total dels segments d'un determinar ordre, aquesta es dividirà pel nombre de segments d'aquest per tal d'obtenir les mitjanes

necessàries per a establir la relació:

$$RL = \frac{Ln}{L(n-1)}$$

Aubi			Riera de Calonge		
Ordre del segment, n	Long.mitja dels segments, Ln (km)	Relació de Longitud RL=Ln/L(n-1)	Ordre del segment, n	Long.mitja dels segments, Ln (km)	Relació de Longitud RL=Ln/L(n-1)
1	0,174		1	0,110	
2	0,557	3,20	2	0,384	3,49
3	1,507	2,71	3	0,955	2,48
4	5,083	3,37	4	1,727	1,81
5	2,707	0,53	5	5,533	3,20
			6	1,704	0,31

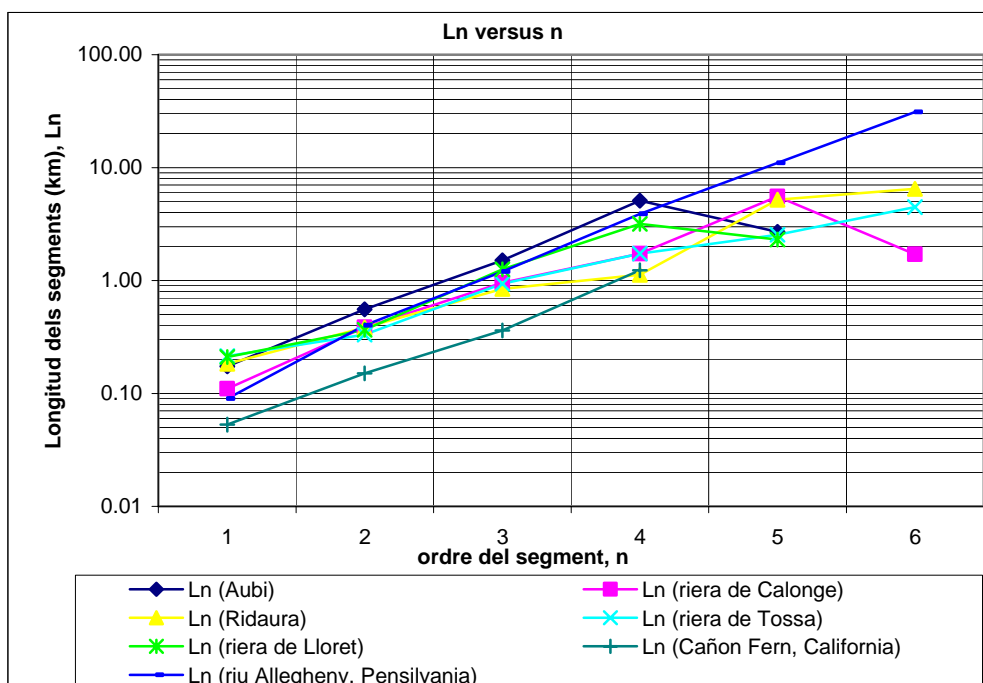
Ridaura			Riera de Tossa		
Ordre del segment, n	Long.mitja dels segments, Ln (km)	Relació de Longitud RL=Ln/L(n-1)	Ordre del segment, n	Long.mitja dels segments, Ln (km)	Relació de Longitud RL=Ln/L(n-1)
1	0,183		1	0,214	
2	0,384	2,09	2	0,331	1,55
3	0,844	2,20	3	0,940	2,84
4	1,128	1,34	4	1,732	1,84
5	5,173	4,58	5	2,545	1,47
6	6,480	1,25	6	4,450	1,75

Riera de Lloret		
Ordre del segment, n	Long.mitja dels segments, Ln (km)	Relació de Longitud RL=Ln/L(n-1)
1	0,210	
2	0,365	1,74
3	1,257	3,44
4	3,173	2,53
5	2,314	0,73

Taules 6.8 - 6.12.- Resum de les longituds mitjanes i la relació de longitud per ordres de les rieres estudiades

Com podem comprovar (Taules 6.8 a 6.12) en general es compleixen els guarismes expressat per Horton (1945), els quals suposen que existeix un increment de 2 a 3 vegades en la grandària dels cursos fluvials al comparar els d'un ordre determinat i el seu immediatament superior. Aquesta relació decreix marcadament en l'últim ordre (no tant brusquement a la riera de Tossa), fet que es pot relacionar amb la grandària considerable que assoleix en comparació als altres ordres inferiors (Sánchez, 1990), o també possiblement al fet que, com s'ha comentat a la descripció de la xarxa de drenatge, aquesta s'ha tingut en compte només fins als dipòsits de maresma i no fins a la desembocadura, part final artificialitzada. Tot i l'aparent constància d'aquesta relació, es poden apreciar petites anomalies, fets que es podrien atribuir al control estructural de les rieres i que per tant tenen conques poc desenvolupades (Ayala, 1986). On aquesta característica és més clara és a la conca de la riera de Tossa.

La representació gràfica de les longituds mitges amb el nombre d'ordre permet apreciar que es compleix la llei d'Horton (1945) sobre les longituds de les lleres, donant una recta de regressió que correspon a una funció exponencial positiva. La representació gràfica que es presenta a continuació (Gràfica 6.2) il·lustra els comentaris fets dels resultats de les rieres estudiades, juntament amb les obtingudes en dues localitats d'Estats Units (Strahler, 1981).



Gràfica 6.2.- Relació de la longitud amb l'ordre dels segments (a partir d' Strahler (1981) i dades pròpies)

6.2.2.1.3.- Equivalent vectorial

L'equivalent vectorial (Horton, 1945), o índex de sinuositat, mesura la relació entre la longitud real del curs principal de la conca, **L**, i la distància en línia recta projectada des de la desembocadura fins a la divisòria d'aigües de l'inici del tàlveg principal, **Lc**, també denominada distància o longitud de Horton (1945) (Figura 6.3).

Conca	Longitud L (m)	Longitud de Horton Lc (m)	Equivalent vectorial L/Lc
Aubi	11798,02	10464,39	1,13
riera de Calonge	13065,85	9078,32	1,44
Ridaura	21272,03	10271,65	2,07
riera de Tossa	11935,40	7078,80	1,69
riera de Lloret	8760,08	5704,93	1,54

Taula 6.13.- Longituds dels cursos principals, longitud de Horton i equivalents vectorials

Segons el model de Schumn (Strahler, 1988) la sinuositat es classifica com a 2= tortuós; 1,7= irregular; 1,5= regular; 1,2= transició; o 1,0= recte. Segons aquesta classificació ja es comença a poder diferenciar més característiques entre conques de forma quantitativa. L'Aubi presenta una tipologia entre rectilínia i de transició, la riera de Calonge i de Lloret una tipologia de sinuositat regular, la riera de Tossa una sinuositat irregular i finalment el Ridaura una sinuositat tortuosa (Taula 6.13).

Els valors de la riera de Calonge, Lloret i Tossa es troben clarament en consonància amb les característiques geològiques del substrat en què discorren. La morfologia recta està associada a cursos de primer ordre o superior encaixats en el substrat rocós i resistent de granitoides, on es produeixen valls en V. La morfologia més sinuosa, cas del Ridaura, correspon en cursos amb predomini de cursos d'ordre 4 a 6 en què discorren sobre substrat menys resistent (plana al·luvial). Aquest valor alt es podria associar també a la captura fluvial d'afluents del Ter que es dugueren a terme durant el Pliocè (Pallí, 1966), a la capçalera d'aquesta riera, donant aquesta canvi de 180° ja en el curs d'ordre 5.

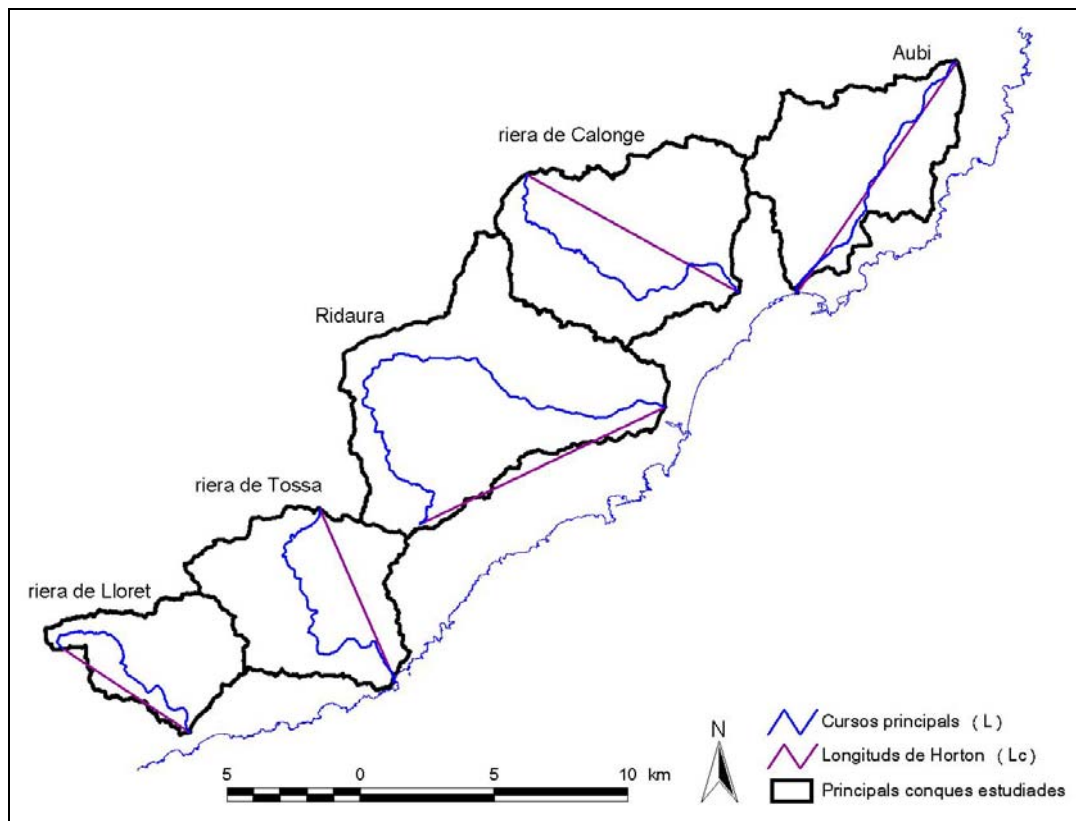


Figura 6.3.- Representació dels cursos principals (L) i les longituds de Horton (Lc) de les principals conques estudiades

6.2.2.2.- Propietats superficials

6.2.2.2.1.- Superfície de la conca. Densitat de drenatge. Constant de manteniment del canal. Distància d'escolament

La superfície de la conca és un dels paràmetres principals per descriure qualsevol conca, ja que molts altres paràmetres depenen d'aquesta. Els valors de les àrees respectives es presenten a la taula 6.14. Totes elles, al ser relativament petites, incloses dins el grup de conques no superiors a 500 km² les quals tenen temps de concentració de poques hores, seran susceptibles a fenòmens plujosos molt intensos (gota freda), tot i que aquests siguin de poca durada (Témez, 1982 i Durán et al., 1985).

La xarxa de drenatge es pot caracteritzar fonamentalment per la Densitat de drenatge, D (km/km²), que és la relació entre la longitud total ΣL de la xarxa hidrogràfica i l'àrea A de la conca (Horton, 1945):

$$D = \frac{\Sigma L}{A}$$

Aquest paràmetre és un dels índex més utilitzats per definir i comparar xarxes de drenatge, el qual oscil·la generalment entre 1 i 50. Obtenir una $D=7$ voldrà dir que per a cada quilòmetre quadrat de conca hi haurà set quilòmetres de curs fluvial. Aquest depèn bàsicament de l'erosionabilitat del terreny i de la seva permeabilitat, influint evidentment la cobertura vegetal en tant que protectora del sòl. En aquest aspecte com més erosionable sigui el terreny, menor haurà de ser el cabal i per tant menor serà la superfície de conca necessària per la formació d'una llera, donant lloc a altes densitats de drenatge (Sánchez, 1990).

Alguns aspectes a comentar de la densitat de drenatge són (Durán et al., 1985 i Sánchez, 1990):

- La permeabilitat al disminuir l'escolament superficial, afavoreix a baixes densitats de drenatge.
- Les conques de materials durs i resistents presenten **D** baixes, valors compresos entre 1 i 10 km/km².
- Si els materials que conformen la conca a estudiar són menys resistents, o materials tous protegits per cobertura vegetal, resulten ser relativament erosionables, donant **D** amb valors compresos entre 10 i 20 km/km².
- Per últim, les conques amb materials fàcilment erosionables i amb escassa vegetació presentaran **D** entre 20 i 40 km/km².

En el cas de les conques objecte d'estudi, les longituds totals de tota la xarxa de drenatge i les densitats de drenatge es resumeixen en la taula 6.14. Les densitats de drenatge resultants van des de 2,46 km/km² a l'Aubi fins als 5,92 km/km² de la conca de la riera de Tossa. Segons la classificació que s'ha exposat tot l'àmbit d'estudi pertany a conques amb substrat de materials durs i resistents i poc permeables, característica que coincideix amb les roques tipus granitoides que afloren predominantment a la regió. Aquesta també se la podria classificar com a textura grollera (Strahler, 1988), ja que els elements individuals de la topografia són de gran tamany. Tot i les petites diferències en aquest paràmetre es poden agrupar les rieres de Tossa i Lloret per una banda, el Ridaura i la riera de Calonge per una altra, i finalment l'Aubi per una altra. Cal tenir present, però, que aquesta última riera presenta una densitat de drenatge tant baixa degut a la dissimetria de la seva xarxa, en la qual la majoria de rieres tributàries provenen del seu marge dret, des dels vessants de les Gavarres, i la resta de conca és molt planera, amb molts de conreus i fortament canalitzada.

La relació inversa de la que defineix la densitat de drenatge es coneix com a Constant de manteniment del canal, **Cm** (km²/km), reflectint la superfície de la conca necessària per mantenir una unitat de longitud de canal (Horton, 1945 i Schumm, 1956):

$$Cm = \frac{A}{\Sigma L}$$

Els valors d'aquest paràmetre es troben resumits a la taula 6.14. En aquest cas es pot apreciar que les conques més densament drenades són les que els cal menys superfície per donar lloc a un quilòmetre de curs fluviotorrencial. Aquesta dada reflecteix, a mesura que Cm es fa menor, que l'erosió ha sigut cada vegada major. Aquest índex, però, tindria més sentit si les conques que es comparessin tinguessin substrats molt diferents en quant a erosionabilitat, podent diferenciar clarament unitats d'erosió molt contrastades.

La distància d'escolament superficial, de (m), és un paràmetre convencional el qual representa la meitat de la constant de manteniment del canal (Durán et al., 1985):

$$de = \frac{A}{2\Sigma L}$$

És un índex relacionat amb la distància de recorregut de l'escolament fins a arribar a un canal de la xarxa de drenatge. En aquest cas la distància d'escolament és la distància en metres que cal que una gota recorri per la superfície del terreny des de la divisòria d'aigües abans de drenar cap a un canal de la xarxa hidrogràfica. Aquest valor ha sigut emprat per al càlcul final del temps de concentració del mètode racional per al càlcul de cabals del corresponent apartat d'aquesta memòria.

Si es comparen els valors de de (Taula 6.14), es diferencien clarament les conques en què l'escolament superficial s'encaixa ràpidament i la xarxa fluvial es bifurca en poca distància. Altra vegada es poden agrupar les conques segons característiques similars; la riera de Lloret i Tossa són les que presenten un encaixament de l'escolament més ràpid (en només 87 i 84 metres respectivament); la riera de Calonge i el Ridaura tenen una distància d'escolament moderada, valors similars es donen a Sánchez (1990) i Jiménez (1999); i finalment i amb diferència tenim la conca de l'Aubi en què han de transcórrer més de 200 metres de mitjana abans que la precipitació es canalitzi en un canal de la xarxa de drenatge.

Conca	ΣL (km)	A (km ²)	D (km/km ²)	Cm (km ² /km)	de (m)
Aubi	97,73	39,65	2,46	0,406	202,85
riera de Calonge	171,90	51,71	3,32	0,301	150,41
Ridaura	260,66	71,18	3,66	0,273	136,53
riera de Tossa	228,31	38,58	5,92	0,169	84,50
riera de Lloret	129,23	22,49	5,75	0,174	87,03

Taula 6.14.- Longituds totals de les xarxes de drenatge (ΣL), superfícies de les conques (A), densitats de drenatge (D), constants de manteniment del canal (Cm) i distàncies d'escolament (de) de les conques principals estudiades

6.2.2.2.- La forma de la conca. Relació d'elongació. Índex de compacitat. Circularitat.

La forma de la conca condiona el temps de concentració, de tal manera que com més circular sigui menys temps de concentració i per tant crescudes de major entitat. Els índex morfomètrics que descriuen la forma son purament geomètrics, en el que relacionen dades geomètriques de la conca amb formes geomètriques pures, com el cercle, o relacionen diferents dades entre si (Durán et al., 1985).

Els resultats d'aquests índex es presenten a la taula 6.15.

La relació d'elongació, Re , és la relació existent entre la superfície de la conca **A** i la d'un cercle que tinguis per diàmetre la longitud **Lc** de la conca (Schumm, 1956).

$$Re = \frac{A}{(\pi Lc^2)/4}$$

Com s'observa a la taula 6.15, és el cas de la conca de la riera de Tossa la que presenta un valor més proper a la unitat i per tant la més circular. El valor més baix, i amb diferència, és la conca de l'Aubi significant una forma més allargada. Aquests paràmetres signifiquen que és d'esperar que els temps de concentració a la riera de Tossa siguin més baixos que a l'Aubi, per a la mateixa àrea de recepció.

Tant o més important que l'anàlisi de l'elongació és el fet de poder-les comparar o agrupar. En aquest cas es veu una clara semblança entre la riera de Lloret, Ridaura i riera de Calonge.

L'índex de compacitat de Gravelius, Ic , és la relació entre el perímetre de la conca **P** i el d'un cercle d'igual àrea (Gravelius, 1914).

$$Ic = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Els valors pròxims a la unitat, cas en que la conca seria un cercle perfecte, pertanyen a conques de forma ovalada. Per contra, com més allunyat sigui l'índex de compacitat respecte a la unitat, el qual un **Ic** superior a 1,5 és un valor elevat (Ayala, 1986), més sinuós serà el seu contorn i major serà la "linealitat" de la conca.

En les conques estudiades, les que presenten una certa circularitat, sobretot la conca de la riera de Tossa i de Calonge, aquest paràmetre és lleugerament superior a la unitat tot i que representa una irregularitat relativament baixa en la morfologia del perímetre de la conca (Jiménez, 1999). En el cas de l'Aubi, l'índex de compacitat del qual és de 1,53, i del Ridaura

de 1,45, donen la idea d'un contorn sinuós i, sobretot per al primer, que s'aparta de la forma circular.

La circularitat, C_c , de la conca, és la avaluació d'aquesta fent una comparació de la seva àrea amb la d'un cercle d'igual perímetre (Miller, 1953), resultant:

$$C_c = \frac{4\pi A}{P^2} = \left(\frac{1}{I_c}\right)^2$$

Aquest índex morfomètric sempre serà inferior a la unitat però com més proper al màxim, més circular és la conca estudiada. En els casos que estem estudiant C_c dona valors compresos entre 0.55 i 0,43 (Taula 6.15). Aquest índex juntament amb Re i I_c són coherents amb la baixa elongació de les conques, el que fa preveure una ràpida resposta d'aquestes davant una precipitació, i coincideixen en determinar que la conca de l'Aubi, seguit per la del Ridaura, és la més allargada.

Conca	Lc (m)	P (m)	Re	Ic	Cc
Aubi	10464,39	34.112,41	0,46	1,53	0,43
riera de Calonge	9078,32	34.391,18	0,80	1,35	0,55
Ridaura	10271,65	43.513,73	0,86	1,45	0,47
riera de Tossa	7078,80	30.315,65	0,98	1,38	0,53
riera de Lloret	5704,93	23.798,58	0,88	1,42	0,50

Taula 6.15.- Longituds de Horton (Lc), perímetre (P), relació d'elongació (Re), índex de compacitat (Ic) i circularitat (Cc) de les conques principals estudiades

6.2.2.2.3.- Coeficient de torrencialitat

El coeficient de torrencialitat, C_t , nombre de tàlvegs de primer ordre N_1 per quilòmetre quadrat (Horton, 1945), té molta relació amb la capacitat d'erosió de la conca ja que els tàlvegs de primer ordre impliquen fortes pendents i característiques litoestructurals que facilitin l'erosió (Morisawa, 1985 i Strahler, 1988).

$$C_t = \frac{N_1}{A}$$

Valors de més de 5 es poden considerar amb major o menor incidència a una torrencialitat moderadament alta; valors propers a 4 es poden considerar conques de torrencialitat moderada i valors al voltant de 2 una torrencialitat baixa (Strahler, 1988).

Conca	Ct
Aubi	4,99
riera de Calonge	11,10
Ridaura	9,48
riera de Tossa	15,76
riera de Lloret	15,34

Taula 6.16.- Coeficient de torrencialitat (Ct) de les conques principals estudiades

Segons la classificació donada, totes pertanyen a conques de torrencialitat moderada – alta (Taula 6.16). A tall d'exemple aquesta torrencialitat és molt més forta que les rieres costaneres del País Basc que tenen un **Ct** d'entre 6 i 4 (Ayala, 1986) i similars a la conca del riu Ebron (Sánchez, 1990).

Altra vegada aquest coeficient demostra la diferenciació d'estats erosius de les conques estudiades. Al igual que amb el paràmetre de distància d'escolament superficial, **de**, es poden agrupar les conques estudiades en tres grups: la riera de Tossa i de Lloret són les que presenten una torrencialitat més forta, de més de 15 cursos fluvials de primer ordre per km²; la riera de Calonge i el Ridaura d'entre 11 i 9 respectivament; i finalment i altre cop amb diferència la conca de l'Aubi en què només presenta 5 cursos fluvials de primer ordre per km². Amb aquesta agrupació es pot veure la coincidència que demostren els diferents índexs. Aquesta elevada torrencialitat també fou descrita per el Grup de Recerca Ambiental Mediterrània (GRAM) de la Universitat de Barcelona (<http://www.ub.es/gram/welcome.htm>). A tall d'exemple comproven que el Ridaura té un índex de torrencialitat quatre vegades més alt que la major part de conques de les Serralades Costaneres.

6.2.2.3.- Propietats de relleu

Pel que fa a la descripció del relleu de les conques estudiades, hi ha diferents índex i corbes característiques.

6.2.2.3.1.- Amplitud de relleu. Relació de relleu. Coeficient de rugositat

L'amplitud de relleu, Ah, també anomenat com a màxim desnivell de la conca, es calcula com la diferència entre la cota absoluta màxima i mínima de la conca de drenatge (Durán et al., 1985). Cal tenir present que les cotes màxima i mínima s'han extret del model digital d'elevacions del terreny de les conques considerades com a "naturals" per als càlculs morfomètrics. Com es mostra a la taula 6.17 és la conca de la riera de Calonge, seguida per

la de Tossa, la que presenta un amplitud de relleu més gran i la conca de la riera de Lloret, amb un desnivell absolut de només 339 m, la que menys.

La relació de relleu, R_r , és la que existeix entre l'amplitud de relleu **Ah** i la longitud de la conca **Lc** (longitud de Horton) (Schumm, 1956). Aquesta relació reflecteix el pendent mitjà en tant per ú d'aquesta longitud.

$$R_r = \frac{Ah}{Lc}$$

Segons aquesta relació (Taula 6.17) la conca de la riera de Tossa és la que presenta el pendent mitjà més elevat tot i no tenir l'amplitud de relleu més gran. Una altra dada a destacar és el fet que l'Aubi, tot i no tenir l'Ah més baixa, té el pendent clarament molt inferior a la resta. Aquesta anomalia s'explica pel fet que la longitud de Horton de la conca és molt més gran que no la longitud des de la desembocadura al punt més alt d'aquesta. Cal recordar la clara diferenciació de dos àmbits de la conca de l'Aubi, una àrea de drenatge que prové del massís de les Gavarres, abrupta i amb pendents elevats en el marge dret del curs principal, i una altra amb relleus molt més suaus i planers en el marge esquerre. Aquesta última zona és la que emmascara els pendents considerables del massís, donant un pendent mitjà de tan sols 3,4%.

Altres cops les conques de la riera de Lloret, Calonge i Ridaura es poden agrupar per tenir pendents mitjans similars.

Finalment el Coefficient de rugositat, Cr , és la relació que existeix en multiplicar la densitat de drenatge per l'amplitud de relleu (Melton, 1957).

$$Cr = D \cdot Ah$$

Aquest coeficient és especialment útil perquè resumeix la interacció del relleu i la dissecció de la conca per canals, en tant que conques fortament erosionades de relleu moderat tenen una rugositat similar a conques poc erosionades de fort relleu (Patton & Baker, 1976). Els valors de **Cr** (Taula 6.17), similars a Sánchez (1990), altra vegada són a la conca de la riera de Tossa on el valor és el més elevat, la conca de l'Aubi el marcadament més baix i les conques de la riera de Lloret, Calonge i Ridaura els tenen comparativament molt similars. Cal destacar que, pel que fa a la Densitat de drenatge, la conca de Lloret es pot equiparar amb la de Tossa, però en el cas de tenir en compte l'amplitud de relleu per a Cr , el fet que Lloret sigui més "suau" fa que la conca de Tossa es diferenciï clarament del comportament de la rugositat i per tant evidenciar un comportament més erosiu.

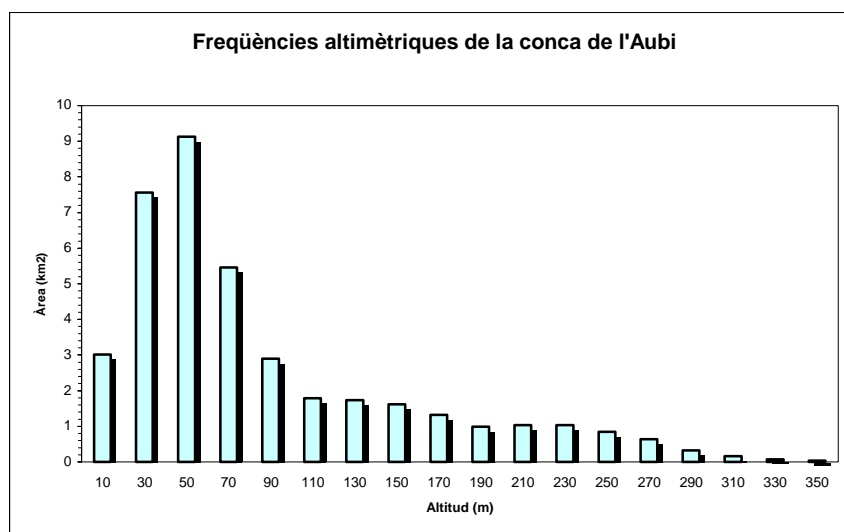
Conca	Ah	Rr	Cr
Aubi	355	0,034	875,03
riera de Calonge	527	0,058	1751,90
Ridaura	485	0,047	1776,17
riera de Tossa	510	0,072	3017,75
riera de Lloret	339	0,059	1947,65

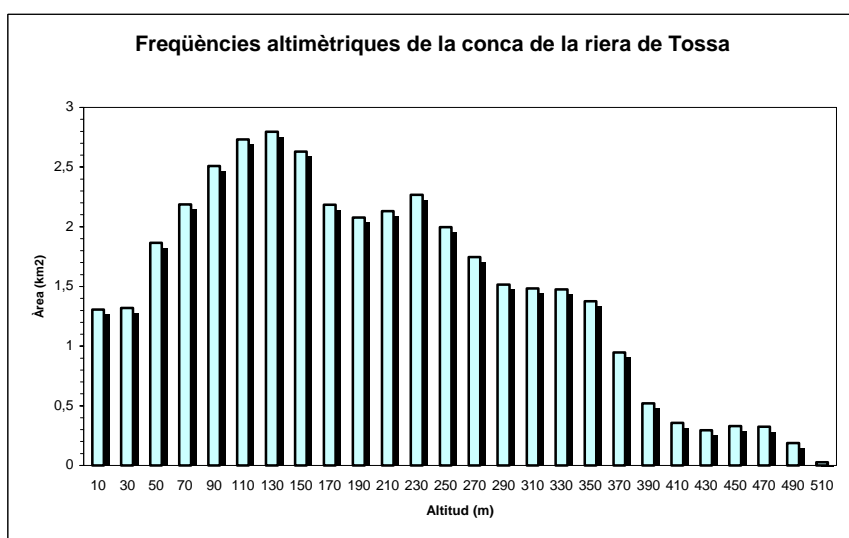
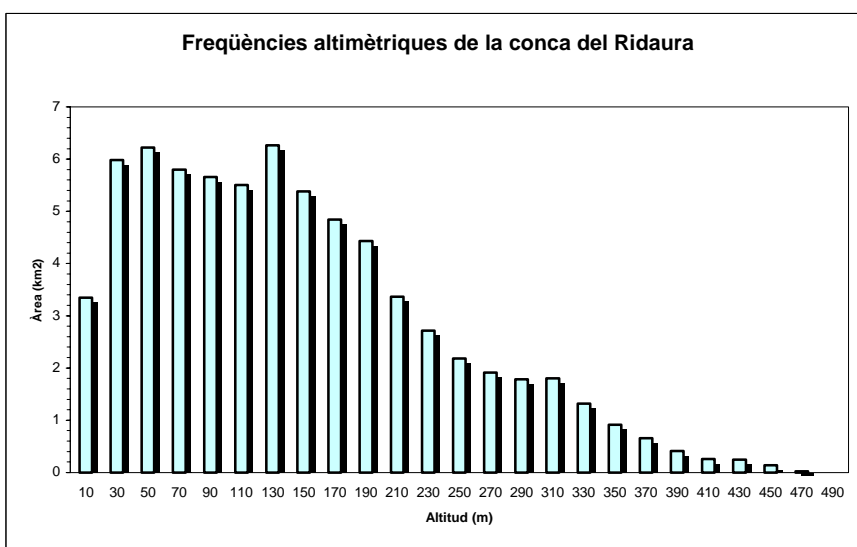
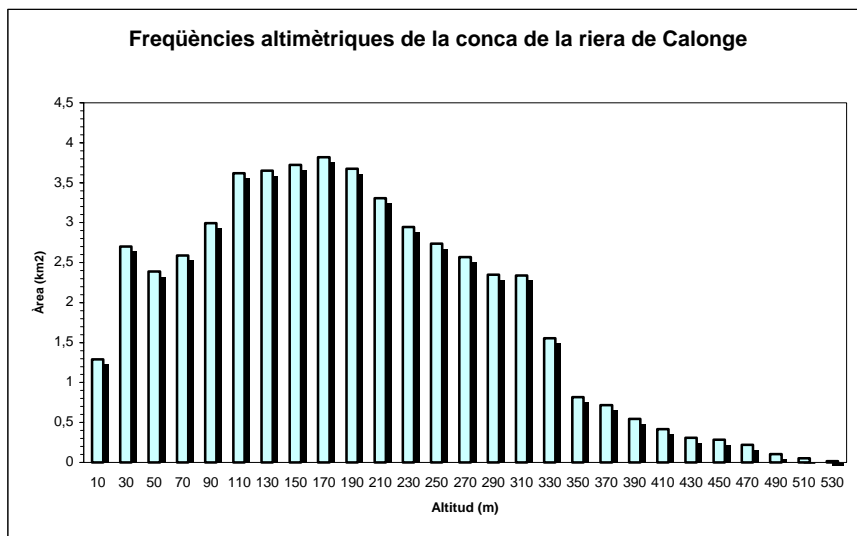
Taula 6.17.- Amplitud de relleu (Ah), relació de relleu (Rr) i coeficient de rugositat (Cr) de les conques principals estudiades

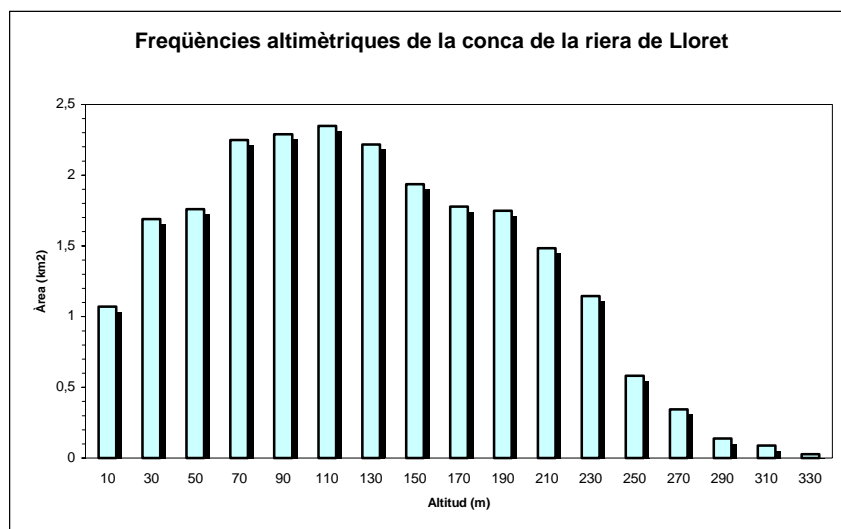
6.2.2.3.2.- Diagrama de freqüències altimètriques. Integral hipsomètrica.

El diagrama de freqüències altimètriques representa la distribució de les superfícies d'una conca per altituds (Strahler, 1952 i 1988) i proveeix mitjans quantitius per caracteritzar l'estructura topogràfica d'una conca (Luo, 1998). Mitjançant l'MDT emprat en el SIG d'aquesta tesi i seguint les metodologies proposades en Luo (1998) i Gelabert et al. (2004) entre d'altres, s'ha pogut representar aquesta distribució per a cadascuna de les principals conques (gràfiques de 6.3 a 6.7) a partir de l'agrupació dels píxels 30x30 metres en intervals de 20 metres d'altitud.

Aquests histogrames característics de cada conca ens permeten valorar les seves peculiaritats en quant a distribució de les alçades, l'interval d'altituds més freqüent, l'alçada mitjana ponderada i comparar-les.







Gràfiques 6.3 a 6.7.- Diagrames de freqüències altimètriques de les conques principals estudiades.

A més, amb les dades de l'MDT de cada conca ens ha permès calcular quina és l'alçada mitjana ponderada amb la superfície (Taula 6.18).

Conca	Alçades Mitjanes (msnm)
Aubi	86,54
riera de Calonge	183,11
Ridaura	143,50
riera de Tossa	191,02
riera de Lloret	125,05

Taula 6.18.- Alçades mitjanes ponderades, en metres sobre el nivell del mar, de les conques principals estudiades

D'aquests diagrames que es presenten, el que d'entrada difereix més de la resta és sens dubte el de l'Aubi. De forma general els diagrames de freqüències altimètriques típics tenen forma gaussiana, amb el màxim desplaçat al voltant del primer quart i primer terç de la distribució. En el cas de l'Aubi el 50% de les alçades es distribueixen en els primers 60 metres sobre el nivell del mar (msnm) i més concretament el 42% distribuïdes d'entre els 20 i 60 metres. Aquestes cotes corresponen a les zones més planes de la conca, coincidint amb el límit amb el quaternari. Per a alçades superiors als 100 metres la distribució decreix uniformement però ja amb poca representació. Cal recordar, i així ho demostra clarament aquest diagrama, la distribució asimètrica de la xarxa de drenatge i de les altituds. Per altra banda l'interval d'altituds més freqüent correspon al de 40 a 60 msnm i la mitjana d'alçada de la conca es situa als 86,54 msnm.

Pel que fa a la distribució de les alçades de la conca de la riera de Calonge presenta una corba més típica, amb un màxim de freqüències altimètriques en l'interval de 160 a 180 msnm i una mitjana de 183,11 msnm. Dos salts característics (freqüència elevada d'un determinat interval altimètric) d'aquesta distribució corresponen per una banda a la zona compresa entre les 20 i 40 m, corresponent a les parts altes de la plana al·luvial i gran part dels dipòsits col·luvials, i la zona compresa entre els 300 i 320 m on hi predominen les carenes relativament planes amb pendents no superiors al 15% (6,75°).

El diagrama del Ridaura té aproximadament una distribució també gausiana però amb el màxim molt desplaçat cap a altituds baixes. Gairebé el 55% de l'àrea de la conca està en l'interval de 0 a 140, tenint en compte que l'amplitud de relleu és de 485 metres. L'alçada mitjana de la conca és de 143,50 msnm. Es pot considerar que presenta dos màxims, un d'absolut a l'interval de 120 – 140 m i un de relatiu però amb gairebé igual superfície que el primer a l'interval de 40 a 60 msnm. En el cas del primer màxim es deu gràcies a una àrea molt important corresponent a la zona plana, amb pendents del 0 al 7%, de la capçalera del Ter que fou capturada per l'erosió remuntant del Ridaura (Pallí, 1966). L'altre màxim relatiu correspon a l'àrea que envolta tota la plana al·luvial amb predominància de ventalls al·luvials i dipòsits col·luvials. D'aquesta corba cal mencionar també un salt que es dona en l'interval de 300 a 320 m. Aquest no és tant important com el de Calonge però és un interval de fortes pendents que delimita les parts més altes de la conca amb pendents més suaus.

Pel que fa a la distribució de les alçades a la conca de la riera de Tossa també presenta la forma típica, amb un màxim de freqüència a l'interval de 120 a 140 msnm i una mitjana de l'alçada de la conca als 191,02 msnm. Aquest diagrama presenta alguns salts tot i que no es poden atribuir a cap característica estructural concreta. Sí que es pot comentar que les formacions quaternàries existents estan gairebé totes en els primers 40 - 50 msnm.

Finalment la conca de la riera de Lloret és la que presenta una diagrama més suau, amb un màxim de freqüència altimètrica als 100 -120 m i una mitjana de l'alçada de la conca a 125,05 msnm. Altra vegada hi ha un petit salt a l'interval de 220 a 240 m en el que hi ha nombroses carenes i colls amb pendents suaus donant una superfície major que els intervals superiors.

Pel que fa a la comparació d'aquests diagrames anteriors podem fer una agrupació respecte el coeficient d'asimetria, on l'Aubi i el Ridaura tenen el coeficient d'asimetria respecte la mitjana positiu i la riera de Lloret, Tossa i Calonge negatiu. Aquest coeficient si és positiu indica que la distribució d'alçades s'estén unilateralment cap a valors més positius (biaix cap a la dreta), i per tant una concentració de la mostra en pocs intervals en les alçades menors a la mitjana, o el que és el mateix una plana al·luvial final important respecte tota la conca. Si el coeficient d'asimetria és negatiu indicarà una distribució cap a valors més petits que la

mitjana (biaix cap a l'esquerra) i per tant una plana final més minsa respecte l'àrea total de la conca. El valors d'aquest coeficient es presenten en la taula 6.19.

Conca	Coefficient d'asimetria
Aubi	1,77
riera de Calonge	-0,11
Ridaura	0,24
riera de Tossa	-0,26
riera de Lloret	-0,48

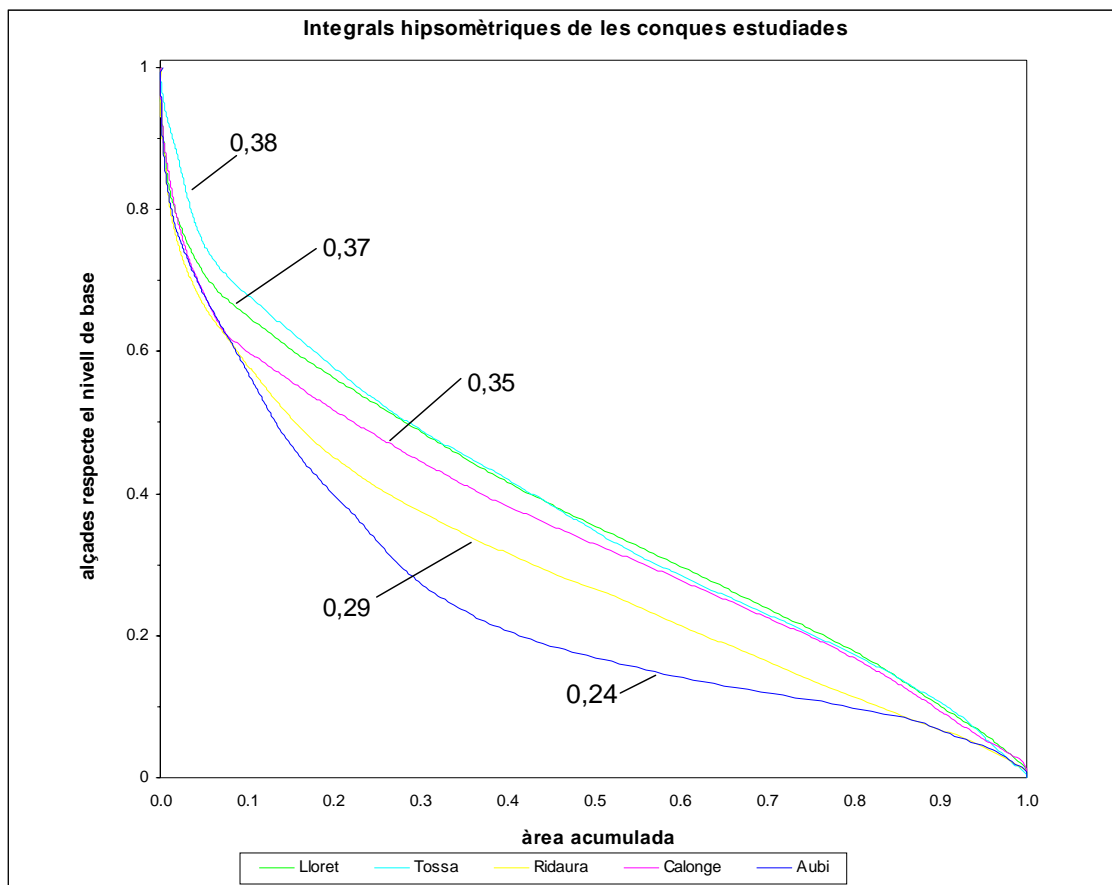
Taula 6.19.- Coeficient d'asimetria de les freqüències altimètriques de les conques principals estudiades

Fins ara s'ha vist que els diagrames de freqüències altimètriques permeten la descripció individual de les conques. De totes maneres, per a l'anàlisi comparativa de l'estat erosiu d'aquestes, emprar unitats absolutes dóna resultats de la tendència però no definitius ja que àrees de diferent tamany i relleu no es poden comparar, i el pendent de les corbes dependrà de la selecció arbitrària de l'escala d'estudi (Strahler, 1952 i Keller & Pinter, 1999).

És per aquest motiu que sovint el diagrama de freqüències altimètriques es representa en forma de superfícies i altituds relatives expressades en tan per cent, o en tant per ú, de l'àrea de la conca. L'àrea tancada per aquesta corba, es coneix com la integral hipsomètrica i serveix generalment per càlculs d'informació hidrològica (Strahler, 1952 i 1988 i Keller & Pinter, 1999). Expressa la forma en què el volum que es situa per sota la superfície del terreny és distribuït del cim a la base (Strahler, 1952). A més, l'àrea de la funció també es pot entendre com al volum de terreny encara no erosionat, mentre que l'àrea total del gràfic es podria considerar que correspondria al volum total de material, abans del procés erosiu (Durán et al., 1985). D'aquesta manera amb la integral hipsomètrica i amb la forma de la corba es pot deduir en quin estat del procés erosiu, jove, madur o vell, es troba la conca estudiada.

A continuació de forma conjunta es presenten les representacions de les integrals hipsomètriques de les conques principals estudiades juntament amb el valor, en tant per ú, de la integració (Gràfica 6.8). Per al càlcul numèric de la integral s'ha emprat el formulisme següent (Keller & Pinter, 1999):

$$\int_0^1 a \cdot dh \approx \frac{z_{mitjana} - z_{mín}}{z_{màx} - z_{mín}}$$



Gràfica 6.8.- Integrals hipsomètriques de les conques principals estudiades amb el respectiu valor, en tant per ú, de la integració

D'entrada observant les integrals hipsomètriques es poden entreveure les semblances i diferències en el procés erosiu de les conques estudiades (Gràfica 6.8 i Figura 6.4). En Strahler (1952), de l'estudi de moltes integrals hipsomètriques de conques naturals, s'estima que la transició de l'estadi d'inequilibri (*youthful*) a l'estadi d'equilibri (*mature*) correspon a grans trets a la integral del 60% (0,6) i d'aquest últim al que es podria nomenar com a senil (*old-age*) correspon a la integral de 35% (0,35).

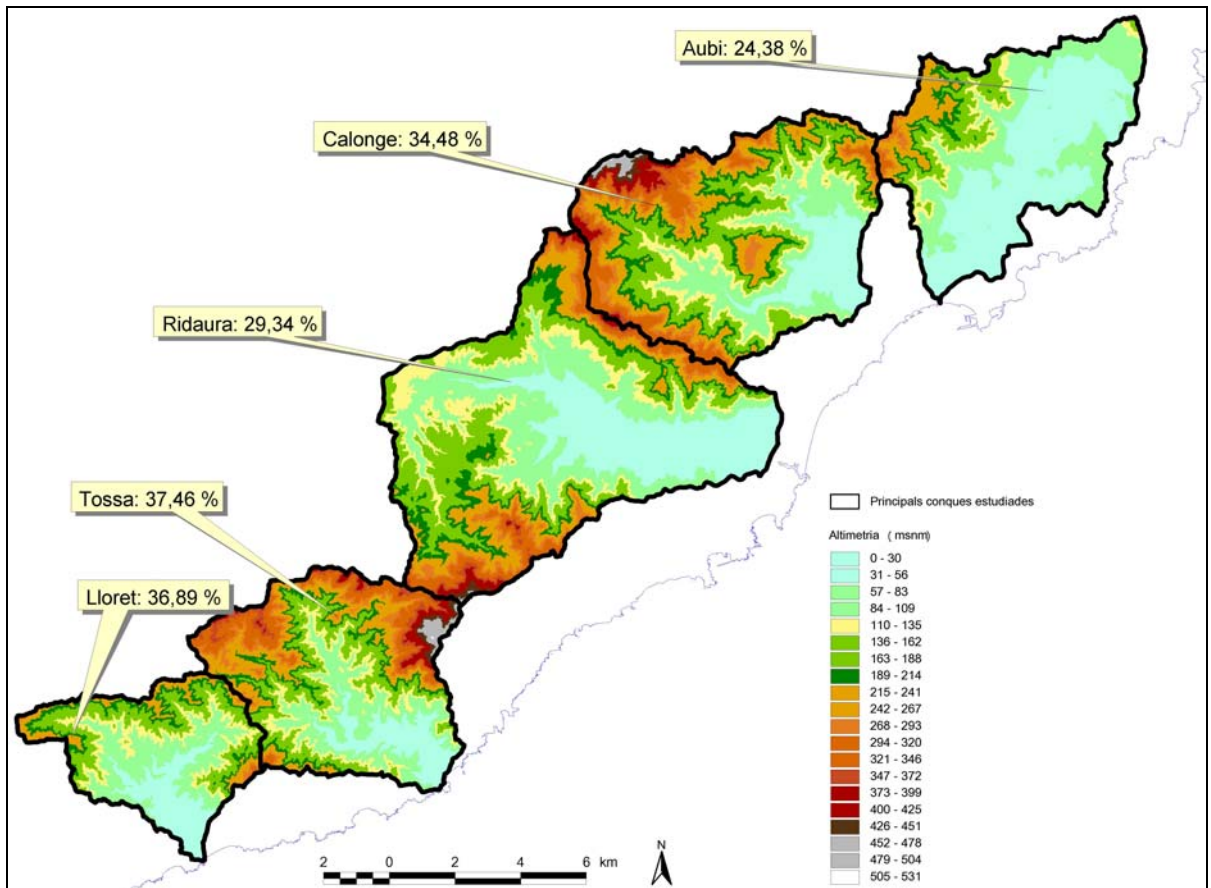


Figura 6.4.- Valors de les integrals hipsomètriques de les conques principals estudiades

Amb aquests límits i definicions podem veure que les conques de les rieres de Lloret i Tossa (gairebé idèntiques) juntament amb la de Calonge es troben a un estadi erosionat en equilibri, mentre que la conca del Ridaura es troba en un estadi en transició cap a senil i la conca de l'Aubi en una clara posició de senilitat.

6.2.2.3.3.- Pendent mitjà ponderat. Perfils longitudinals

El pendent mitjà ponderat (Durán et al., 1985) de la conca, ve definit per l'expressió:

$$\text{Pendent}_\text{ponderat} = \frac{\text{Equidistància}_\text{entre corbes}_\text{de}_\text{nivell}}{\text{Superfície}_\text{Conca}} \cdot \sum \text{longitud}_\text{corbes}_\text{de}_\text{nivell}$$

Amb aquesta expressió, els mapes topogràfics a escala 1:5.000 digitals, equidistància dels quals és de 5 metres, i les eines del SIG s'ha pogut calcular automàticament aquests valors. A continuació es mostren els resultats juntament amb el pendent mitjà que dona efectuant l'anàlisi de l'MDT amb el SIG. Al la columna final es presenta la diferència de pendents entre els dos mètodes utilitzats (Taula 6.20).

Conca	Σ long corbes nivell (m)	Pendent mitjà ponderat (%) de la conca	Pendent mitjà (%) segons MDT	Diferència
Aubi	1.309.158,74	16,51%	12,70%	3,81%
riera de Calonge	3.174.979,46	30,70%	25,22%	5,48%
Ridaura	3.542.904,29	24,89%	19,45%	5,44%
riera de Tossa	2.992.301,73	38,78%	30,16%	8,62%
Riera de Lloret	1.422.946,90	31,63%	23,81%	7,82%

Taula 6.20.- Pendants mitjans de les conques principals estudiades

Dels resultats anteriors, sigui quina sigui la metodologia emprada, el que cal detallar són els forts pendents que imperen en tot l'àmbit d'estudi, factor clau en molts dels processos geodinàmics. A la figura 6.5 es presenten, juntament amb els límits de les conques principals estudiades, els pendents de l'àmbit d'estudi classificats en 5 categories: (suau (0-5°), moderat (5-10°), bastant fort (10-15°), fort (15-25°) i molt fort (>25°) (CEOTMA, 1984). Com es pot observar els pendents mitjans més baixos corresponen a les àrees amb les planes al·luvials més desenvolupades com succeeix al Ridaura i l'Aubi.

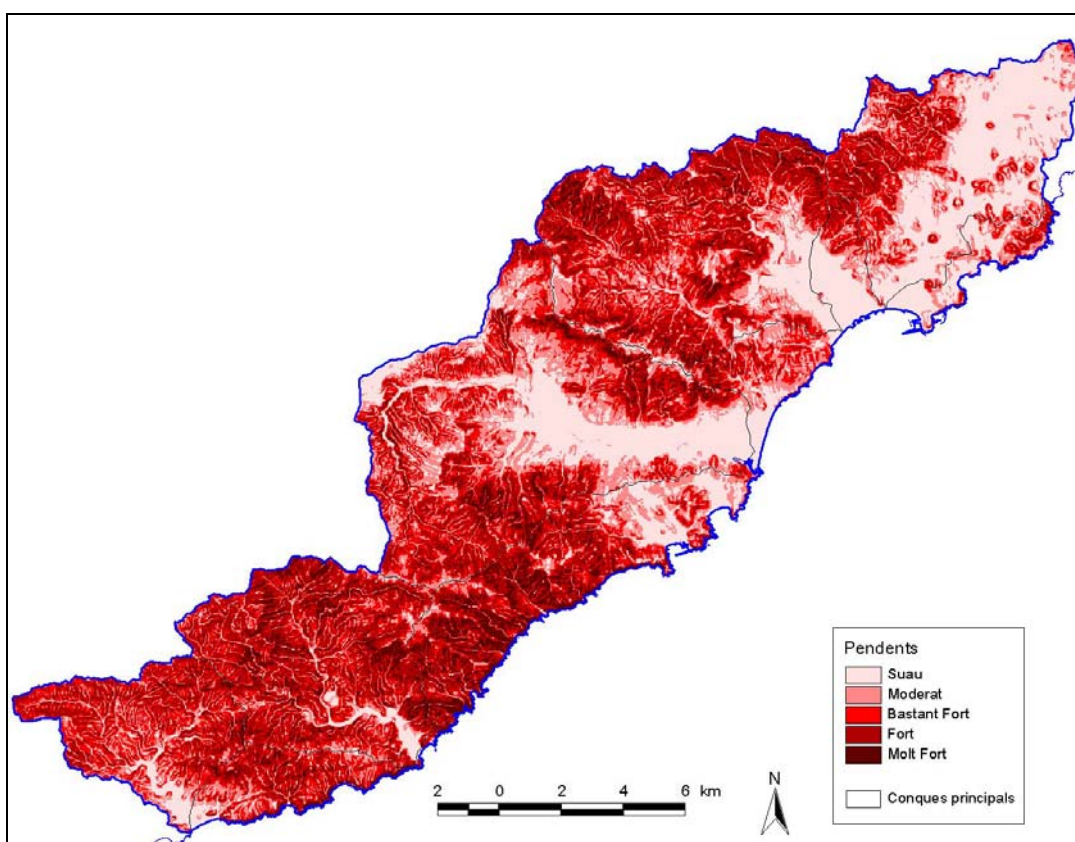


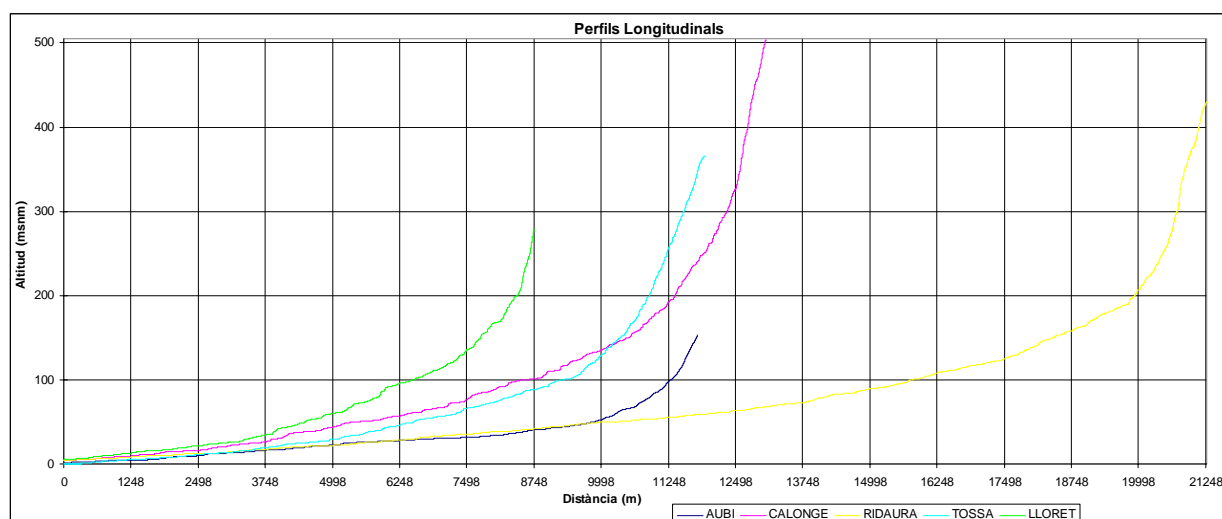
Figura 6.5.- Pendants de l'àmbit d'estudi, obtinguts aplicant la funció *slope* a l'MDT i reclassificats en 5 classes: suau (0-5°), moderat (5-10°), bastant fort (10-15°), fort (15-25°) i molt fort (>25°)

Sobretot és important el fet de trobar que la mitjana a la conca de la riera de Tossa és de més del 30% i, de les conques estudiades, la que presenta la mitjana més baixa és l'Aubi, de tan sols 12,70%.

A l'hora d'agrupar-les, la conca de la riera de Tossa (13,5°), juntament amb la de Lloret (10,7°) i Calonge (11,4°) es poden agrupar com a conques de pendent mitjà bastant fort, la conca del Ridaura (8,8°) quedaria com a una conca amb un pendent mitjà moderat i la conca de l'Aubi (5,7°), classificada com una conca amb un pendent mitjà entre suau i moderat.

El perfil longitudinal, representa els curs d'un riu o riera des del seu naixement fins a la desembocadura (nivell de base). En els casos estudiats, aquest és una corba cònca cap amunt, el gradient del qual va disminuint aigües avall. Quan el curs d'aigua és jove les pendents són fortes i es reconeixen salts en la corba, ruptures de pendents locals, en les que el control litoestructural s'imposa a la regularització de la dinàmica fluvial. Per contra, quan el riu és madur, la corba és més laxa, el pendent és més fort en un tram molt curt de la capçalera i molt suau en la resta, acostant-se al que es denomina perfil d'equilibri. Aquest perfil imaginari dibuixa l'equilibri entre les zones en que erosiona i en les que sedimenta (Strahler, 1988).

Els perfils longitudinals dels cursos principals de les rieres estudiades es poden apreciar conjuntament a la gràfica 6.9.



Gràfica 6.9.- Perfils longitudinals de les principals rieres estudiades

D'entrada aquesta gràfica ens permet comparar les dimensions i característiques longitudinals de les rieres principals de les coques estudiades. A més il·lustren conceptes i

Índexs tractats en els apartats anteriors com són la longitud dels curs principal, l'amplitud de relleu o la distribució dels pendents del curs fluviotorrential.

De l'anàlisi de la forma d'aquests perfils longitudinals es poden agrupar les rieres en dos grups: el Ridaura i Aubi per una banda i la riera de Lloret, Tossa i Calonge per l'altra. Aquesta diferenciació es basa en el perfil més allargassat de les primeres, on el curs de pendents suaus i equilibrats ocupa del 88 al 90% respectivament i el perfil més abrupte, irregular i jove ocupa tan sols d'un 12 a un 10% de la longitud total.

Per contra el segon grup de rieres presenta una plana final amb pendent suau i equilibrat de menys entitat, representant tant sols d'un 43 a un 53% de la longitud total del curs principal. Els segments de perfil amb pendents acusats i salts en la corba d'equilibri, per contra, representen de l'ordre del 47 al 57% de la longitud.

Aquestes agrupacions coincideixen amb les que es poden fer amb la mitjana de pendent ponderada de tota la conca, on l'Aubi i el Ridaura és el grup de rieres amb pendents mitjanes no superiors al 20% (segons l'MDT). També coincideixen amb les que es poden fer amb el coeficient d'asimetria dels diagrames de freqüències altimètriques.

En els perfils longitudinals anteriors es poden apreciar petits salts, els quals es concentren sobretot a les parts altes de les conques, on els cursos encara són joves, amb pendents forts i amb potencial erosiu. Aquests salts corresponen sobretot en els canvis litoestructurals pels quals passen. Clars exemples són salts a la riera de Lloret quan travessa el gran filó de quars de direcció SW-NE, quan travessa una zona de granodiorites sense dipòsits quaternaris o quan comença l'ordre 3r dels curs principal. En el cas de l'Aubi el més marcat és quan inicia l'ordre 2n del curs principal i deixa els gresos de la Formació Pontils per començar a transcórrer per materials quaternaris. En el cas del Ridaura, riera més madura amb una llarga plana, presenta el salt o el canvi de concavitat, per acabar donant els forts pendents de la part inicial del curs principal, en l'inici del 5è ordre on també ressegueix el filó de quars de direcció NW-SE i que passa pel puig de Sant Baldiri.

6.2.3.- Aspectes més rellevants

En aquest apartat s'ha volgut posar de manifest les dades més rellevants de l'estudi morfomètric realitzat per a les conques hidrogràfiques de l'Aubi, riera de Calonge, Ridaura i rieres de Tossa i Lloret. Tal com es realitza en Ayala & Olcina (2002) l'esquema de l'anàlisi morfomètrica s'ha basat en la divisió segons paràmetres lineals, superficials i de relleu, model repetit per a la presentació de les conclusions d'aquest apartat.

- **Propietats lineals del sistema de drenatge:**

La jerarquització de les xarxes les conques de la riera de Calonge, de Tossa i el Ridaura presenten un ordre superior, de 6, que les de l'Aubi i Lloret, de 5. L'explicació en el cas d'aquesta última la podríem trobar en el fet que presenta una superfície d'entre 1,7 i 3,2 vegades inferior que la resta de conques, no així en l'Aubi en què té una àrea similar amb la de Tossa.

El Ridaura i la riera de Tossa presenten un nombre de canals de primer ordre, 675 i 608 respectivament, molt superiors a la resta i amb una diferència remarcable respecte l'Aubi, de tan sols 198. De totes maneres, en totes elles el percentatge en nombre de canals de primer ordre és del 76% de mitjana, molt superior al 50% de Morisawa (1985) i Patton & Baker (1976), donant idea que es tracten en general d'unes conques eminentment erosives i amb uns temps de resposta pluja-escolament relativament curts.

En totes les conques la relació de bifurcació, **Rb**, dóna generalment valors compresos entre 3 i 4,72, reflectint un substrat de roques homogènies i al mateix temps indicadors del funcionament torrencial de la xarxa hidrogràfica de la zona (Sánchez, 1990). A més són dades comparables a conques de muntanya de la Península (López et al., 1988).

En quant a l'equivalent vectorial o sinuositat podem diferenciar les conques estudiades de forma quantitativa. L'Aubi presenta una tipologia entre rectilínia i de transició, la riera de Calonge i de Lloret una tipologia de sinuositat regular, la riera de Tossa una sinuositat irregular i finalment el Ridaura una sinuositat tortuosa.

- **Propietats superficials de la conca de drenatge:**

Les densitats de drenatge, **D**, compreses entre els 2,46 km/km² de l'Aubi fins als 5,92 km/km² de la riera de Tossa, mostren que tot l'àmbit d'estudi pertany a conques amb substrat de materials durs i resistents i poc permeables, característica que coincideix amb el substrat predominantment de granitoides de tota la regió. Tot i les petites diferències en aquest paràmetre es poden agrupar les rieres de Tossa i Lloret per una banda, el Ridaura i la riera de Calonge per altra banda, i finalment l'Aubi per una altra. Cal tenir present, però, que aquesta última riera presenta una densitat de drenatge tant baixa degut a la dissimetria de la seva xarxa.

Si es comparen el valors de la distància d'escolament superficial, **de**, es poden agrupar les conques de la riera de Lloret i Tossa, amb un encaixament de l'escolament superficial més

ràpid (en només 87 i 84 metres respectivament); la riera de Calonge i el Ridaura, amb una distància d'escolament moderada i amb valors similars a Sánchez (1990) i Jiménez (1999); i finalment i amb diferència la conca de l'Aubi en què han de transcórrer més de 200 metres de mitjana abans que la precipitació es canalitzi en un canal de la xarxa de drenatge.

En quan a la relació d'elongació, **Re**, la conca de la riera de Tossa (0,98) és la que presenta un valor més proper a la unitat, forma circular, i el valor més baix, i amb diferència, és la conca de l'Aubi (0,46) significant una forma allargada. Per tant és d'esperar que els temps de concentració, per la mateixa àrea de recepció, a la riera de Tossa siguin més baixos que a l'Aubi.

Els índex de circularitat, **Cc**, juntament amb **Re** i l'índex de compacitat de Gravelius, **Ic**, són coherents amb la baixa elongació de les conques, el que fa preveure una ràpida resposta d'aquestes davant una precipitació, i coincideixen en determinar que la conca de l'Aubi, seguit per la del Ridaura, és la més allargada.

Finalment, mitjançant el coeficient de torrencialitat, **Ct**, podem agrupar les conques estudiades en tres grups: la riera de Tossa i de Lloret són les que presenten una torrencialitat més forta, de més de 15 cursos fluvials de primer ordre per km²; la riera de Calonge i el Ridaura d'entre 11 i 9 respectivament; i finalment i altre cop amb diferència la conca de l'Aubi en què només presenta 5 cursos fluvials de primer ordre per km².

- **Propietats de relleu del sistema fluvial:**

Pel que fa a la rugositat, **Cr**, la interacció del relleu i la dissecció de la conca per canals, podem apreciar que la riera de Tossa té el valor més elevat, la conca de l'Aubi el valor marcadament més baix i les conques de la riera de Lloret, Calonge i Ridaura tenen valors molt similars. Cal destacar que tot i que per la densitat de drenatge la conca de Lloret es pot equiparar amb la de Tossa, en el cas de tenir en compte l'amplitud de relleu, per a **Cr**, el fet que Lloret sigui més "suau" fa que la conca de Tossa es diferenciï clarament del comportament de la rugositat i per tant evidenciar un comportament més erosiu.

En quant a la comparació dels diagrames de freqüències altimètriques el que difereix més de la resta és sens dubte el de l'Aubi, en el qual el 50% de les alçades es distribueixen en els primers 60 msnm, cotes que coincideixen amb el límit de les formacions geològiques quaternàries. La conca de la riera de Calonge, presentant una corba més típica, té dos salts característics (freqüència elevada d'un determinat interval altimètric) d'aquesta distribució: l'interval dels 20 als 40 msnm, corresponent a les parts altes de la plana al·luvial i gran part dels dipòsits col·luvials, i l'interval entre els 300 i 320 msnm on hi predominen les carenes

relativament planes amb pendents no superiors al 15% ($6,75^\circ$). Observant el diagrama del Ridaura cal destacar el màxim absolut en l'interval 120-140 msnm, corresponent a l'antiga capçalera del Ter capturada per aquesta riera, i un de relatiu als 40-60 msnm corresponents a l'àrea que envolta tota la plana al·luvial amb predominància de ventalls al·luvials i dipòsits col·luvials. Pel que fa a la distribució de les alçades a la conca de la riera de Tossa es pot apreciar una corba típica sense salts característics que puguin ser atribuïts a una peculiaritat estructural. Finalment la conca de la riera de Lloret és la que presenta una diagrama més suau, amb un màxim de freqüència altimètrica als 100 -120 msnm i un de relatiu a l'interval de 220 a 240 msnm en el que hi ha nombroses carenes i colls amb pendents suaus donant una superfície major que els intervals superiors.

Pel que fa a la comparació del coeficient d'asimetria respecte la mitjana dels diagrames de freqüències altimètriques, l'Aubi i el Ridaura el tenen positiu, biaix cap a la dreta del qual s'interpreta com una plana al·luvial important respecte tota la conca prop de la desembocadura. La riera de Lloret, Tossa i Calonge presenten aquest coeficient d'asimetria negatiu, indicant un biaix cap a l'esquerra i per tant una plana final més minsa respecte l'àrea total de la conca.

Amb les integrals hipsomètriques s'han pogut corroborar les semblances i diferències en el procés erosiu de les conques estudiades. Segons la classificació d'Strahler (1952), podem concloure que les conques de les rieres de Tossa (0,38) i Lloret (0,37) juntament amb la de Calonge (0,35) es troben a un estadi erosiu en equilibri, mentre que la conca del Ridaura (0,29) es troba en un estadi en transició cap a senil i la conca de l'Aubi (0,24) en una clara posició de senilitat.

Estudiant el pendent mitjà ponderat mitjançant l'MDT i les eines d'anàlisi del SIG, i seguint la classificació de CEOTMA (1984), la conca de la riera de Tossa ($13,5^\circ$), juntament amb la de Lloret ($10,7^\circ$) i Calonge ($11,4^\circ$) es poden agrupar com a conques de pendent mitjà bastant fort, la conca del Ridaura ($8,8^\circ$) de pendent mitjà moderat i la conca de l'Aubi ($5,7^\circ$) de pendent mitjà entre suau i moderat. Cal fer notar que els més baixos corresponen a les àrees amb les planes al·luvials més desenvolupades com succeeix al Ridaura i l'Aubi.

Finalment de l'anàlisi de la forma dels perfils longitudinals es poden agrupar les rieres en dos grups: el Ridaura i Aubi per una banda i la riera de Lloret, Tossa i Calonge per l'altra. Aquesta diferenciació es basa en el perfil més allargassat de les primeres, on el curs de pendents suaus i equilibrats representa del 88 al 90% respectivament, i el perfil més abrupte, irregular i jove és tan sols d'un 12 a un 10% de la longitud total. Per contra el segon grup de rieres presenta una plana final amb pendent suau i equilibrat de menys entitat, d'un 43 a un 53% de la longitud total del curs principal i els segments de perfil amb pendents

acusats i salts en la corba d'equilibri, per contra, representen de l'ordre del 47 al 57% de la longitud.

C.- PROCESSOS: DINÀMICA FLUVIOTORRENCIAL

7.- Accions denudatives

8.- Processos de transport-sedimentació

9.- Dominis morfodinàmics

Dins el terme general de processos geològics s'ha volgut fer referència únicament i exclusiva a la dinàmica actual, terme emprat per fer referència als processos funcionalitat dels quals es manifesta a una escala temporal humana. Es tracta de fenòmens tan coneguts com les inundacions o l'erosió, tots caracteritzats per interferir sobre les activitats humanes de forma directa, ja sigui destruint assentament humans o constituint una greu limitació a l'ús d'una àrea determinada.

Pel fet que la majoria d'ocasions resta del tot impossible la seva predicció d'ocurrència, l'home ha dut a terme sobre el territori intervencions de caire preventiu, ja sigui mitjançant tècniques dures o d'enginyeria, a base d'aplicar formigó al medi, o amb tècniques toves, basades en una millor comprensió del medi natural i actuar-hi sense canviar el seu curs. Per a la consecució d'aquestes últimes, resulta de manera molt convenient en l'àmbit geoambiental el fet de detectar i delimitar cartogràficament les àrees on es donen aquests processos.

Així doncs, serà objectiu d'aquest capítol la mapificació de les àrees d'actuació de les principals accions dinàmiques que es manifesten en l'àmbit d'estudi, així com l'anàlisi dels factors que inicien, afavoreixen o magnifiquen la seva ocurrència. En aquest sentit s'ha enfocat aquest estudi en la dinàmica en la que l'aigua n'és el principal agent. Erosió, transport i sedimentació representen els principals elements dels sistemes fluviotorrencials estudiats.

Finalment cal comentar que al llarg de tota la recerca s'ha tingut present que la unitat natural en la qual es manifesten aquestes accions és la conca de drenatge.

7.- ACCIONS DENUDATIVES

El paisatge mediterrani tal com l'observem avui en dia està dominat per relleus relacionats amb diferents tipus d'erosió (Wainwright & Thornes, 2004). Dins del sistema fluviotorrencial, els fenòmens d'erosió hídrica i els moviments en massa són els principals mecanismes pels quals es produeix la denudació.

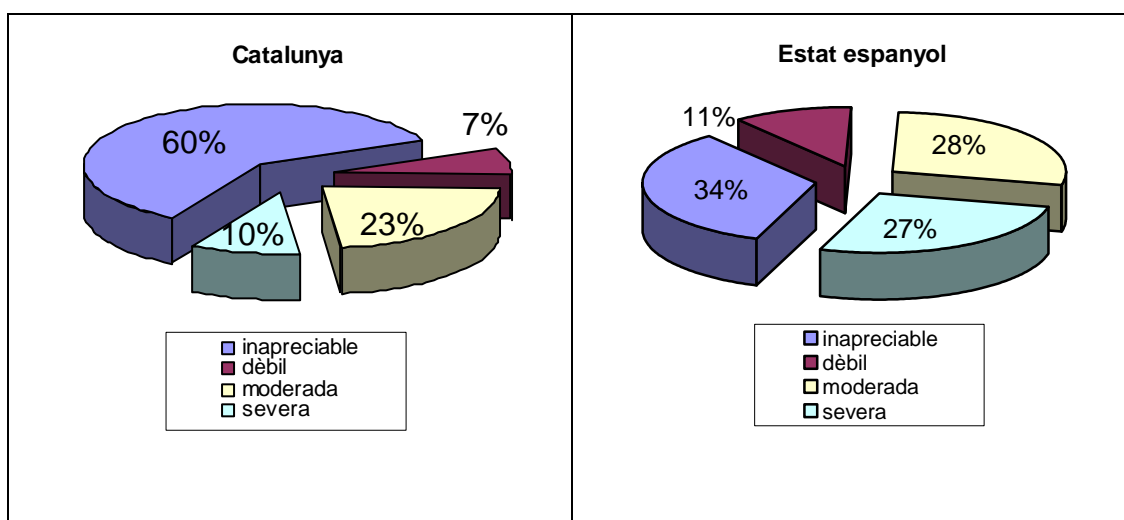
L'erosió és un procés geològic natural que es pot veure accelerat i magnificat per l'acció humana sobre el territori. És per aquest motiu que s'ha volgut diferenciar clarament l'estudi de l'erosió eminentment natural de la controlada per l'home. Sigui quin sigui el procés denudatiu que s'estudiï, no només va encaminat a la quantificació de la pèrdua d'aquest sòl comportant un possible procés irreversible de desertificació, sinó també per tal de quantificar en ordres de magnitud el material que a partir del moment en què s'erosioni patirà el procés de transport i finalment de sedimentació.

7.1.- Erosió natural

L'erosió, procés geològic que forma part del cicle geològic extern (erosió-transport-sedimentació), és un procés natural que contribueix a la formació del sòl. Ara bé, la intervenció de l'home sobre la coberta vegetal i sobre el sòl accelera la degradació i desplaça les relacions d'equilibri natural (Sanroque et al., 1982). D'aquí en surt el terme erosió edàfica, que s'entén com el procés de degradació que comporta la pèrdua de sòl mitjançant el transport a d'altres zones, on es diposita. En termes generals el principal agent erosiu natural és l'aigua i, en segon lloc, el vent.

La pèrdua de la coberta edàfica accelera el procés de desertificació, és a dir, *la disminució del potencial biològic de la terra, així com qualsevol procés de degradació del sòl, de l'aigua o d'altres recursos naturals sotmesos a condicions de tensió ecològica* (Ayala & Elizaga, 1987).

El fet de voler fer una contribució a l'estudi d'aquest fenomen es deu a que és un dels processos de degradació més generalitzat a la conca mediterrània, on l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi s'inclou. Aquest procés es pot produir de manera laminar o concentrada, taxes de la qual es poden considerar com a acceptables unes 10-12 tn/ha/any segons la FAO (The Food and Agriculture Organization of the United Nations) (Hudson, 1997). Aquests valors suposen una pèrdua de 0,074-0,089 cm/any (considerant la densitat mitjana del sòl en 1,35 g/cm³) o dit d'una altra manera, la pèrdua d'1 cm anual implicaria una taxa d'erosió d'un 135 tn/ha/any. En valor reals l'afectació per erosió a Catalunya i a l'Estat espanyol s'ha estimat com segueix (Gràfica 7.1):



Gràfica 7.1.- Percentatges d'erosió a Catalunya i a l'Estat espanyol (inapreciable: <12 tn/ha/any, dèbil i moderada: 12 -25 tn/ha/any i severa: >25 tn/ha/any). Extret d'Ortiz, 2002

Altres estudis, en el context en què estem estudiant, apunten que en l'arc mediterrani la majoria de taxes mesurades es situen just por sota 5 tn/ha/any tot i que valors de 10 no són estranys de trobar. S'han estudiat casos en parcel·les experimentals que arriben a taxes de 280 tn/ha/any, cas de la Basilicata, al sud d'Itàlia (Wainwright & Thornes, 2004). En aquesta tesi doctoral també s'ha pogut disposar de parcel·les experimentals, assolint valors d'erosió en xaragalls de 332 tn/ha/any de mitjana o 141 tn/ha/any de mitjana en zones entre xaragalls.

7.1.1.- Erosió hídrica

Pel que fa a l'erosió hídrica, procés oposat a l'edafogènesi, en un territori tant humanitzat com el litoral de la Costa Brava es fa difícil parlar d'un origen natural "sensus strictum" ja que aquest procés es veu accelerat per les pràctiques sobre el sòl o impactes antròpics com poden ser per exemple la desforestació i sobreexplotació agrícola, i els incendis forestals respectivament. Existint agents erosius climàtics (pluja, vent, aigües superficials, etc.) i antròpics com s'acaba de comentar, també existeixen agents que podríem anomenar *antierosius*. Aquests són bàsicament els que redueixen la capacitat erosiva dels agents erosius, com ara la coberta vegetal, la matèria orgànica del sòl, la fauna edàfica, els microorganismes, el mulx (*mulch*), ente d'altres.

Els danys ocasionats per aquesta erosió són molt diversos. En zones afectades el sòl s'empobreix, disminueix de potència i en casos extrems desapareix. L'horitzó més superficial, el més ric en matèria orgànica i elements fertilitzants, és el primer en ser arrossegat deixant desprotegits, a la llarga, els horitzons inferiors amb propietats menys favorables per a l'establiment de vegetació. No només hi ha afectació en el lloc *in-situ* a on es desenvolupa l'erosió, sinó que altres indrets de la conca hidrogràfica també en pateixen les conseqüències. La sedimentació dels elements arrossegats pot produir la colmatació d'embassaments, fet clarament demostrat i documentat en Linares (1995), pèrdua de fertilitat de les ribes de rius i torrents, obstrucció de vies de comunicació, inundacions pel canvi de seccions, eutrofització de les aigües, entre d'altres.

Els processos implicats en la pèrdua dels sòl per erosió hídrica són bàsicament:

- Erosió per esquitxada (*splash*): disgregació i desplaçament de partícules del sòl per l'impacte de les gotes de pluja. Depèn bàsicament de l'energia cinètica amb què les gotes impacten sobre la superfície, de la resistència específica de cada tipus de sòl a aquest xoc, diàmetre de les partícules del sòl, presència de cobertura vegetal i del pendent del terreny.

- Erosió per escolament superficial: hi ha el tipus laminar que es produeix per la circulació de l'aigua en forma de làmina prima (1-2 mm) per la superfície del sòl, i que depèn bàsicament de la capacitat d'infiltració i la resistència específica del sòl, així com del pendent. També s'inclou aquí el tipus d'escolament concentrat, donant-se quan es concentra el flux superficial d'aigua en incisions verticals que comencen en microdepressions (solcs i reguerons) formant finalment xaragalls (*gullies*). La capacitat de transport incrementa en augmentar la quantitat/velocitat de l'aigua i la quantitat de partícules en suspensió. Aquest últim tipus d'erosió per escolament superficial depèn bàsicament del pendent, de la longitud de la vessant i del tipus de material afectat.
- Erosió per flux subsuperficial (*piping*): aquest tipus es dona quan apareix un flux d'aigua subsuperficial en el terreny, el qual produeix tubs buits a pocs centímetres de la superfície. Aquests fan que es debiliti l'estructura de sòl, col·lapsin i acabin formant el principi d'un xaragall. Aquest procés erosiu particular depèn molt estretament de la textura, estructura i composició del sòl.
- Erosió per moviments en massa: aquesta ocorre quan una força gravitacional, que actua sobre una roca o massa de sòl, és prou gran com per superar la resistència d'aquesta roca o sòl. Aquesta resistència depèn de la cohesió del material, de la fricció entre partícules no-consolidades i del pendent.

7.1.1.1.- Risc d'erosió hídrica

Per poder acotar i representar el risc d'erosió hídrica primer cal mesurar l'erosió. Els procediments es poden agrupar en mesures directes i indirectes. Els primers alhora es divideixen per una banda en les tècniques microtopogràfiques, com són les del càlcul de variacions del terreny (claus d'erosió), cubicació de xaragalls i l'aixecament de microperfils. El mètode dels claus d'erosió s'ha emprat a partir de parcel·les preexistents a l'àmbit d'estudi, les quals han sigut recuperades després de 13 anys d'activitat. Per altra banda existeixen les tècniques de mesura de sediments transportats, com són el càlcul de càrrega sòlida dels rius, instal·lació de col·lectors de sediments tipus Gerlach o col·lectors de sediments en parcel·les tancades. Gairebé tots aquests procediments directes tenen una sèrie de condicionants que les fan de difícil aplicació. Per exemple cal una gran inversió en aparellatge, parcel·les tancades d'estudi de petites dimensions, zones prou tranquil·les perquè ningú no destrueixi les estacions d'observació i/o un llarg període de temps d'observació.

Pel que fa als procediments de mesura indirectes, essencialment es realitzen mitjançant la quantificació dels factors que desencadenen l'erosió aplicant fórmules empíriques. Algunes

d'elles són la de Fournier, la Universal Soil Lost Equation (USLE) i llurs revisions (RUSLE) i modificacions per a casos o territoris concrets (MUSLE), o tota una sèrie d'índexs extrets a partir de l'estudi experimental en parcel·les tancades, com són l'índex de dispersió, la relació d'erosió de Middelton, la taxa silici-sexquioxids, l'índex d'inestabilitat de De Leenheer - De Boodt o l'índex de Henin, entre molts d'altres. Tots aquests estan comentats i àmpliament avaluats en Sanroque et al. (1982).

Aquests procediments tenen el gran avantatge que amb poca inversió de temps i diners es poden mapificar àrees extenses del potencial de risc d'erosió. Tot i això, el fet d'extrapolar i generalitzar, simplifiquen els processos reals d'erosió i per tant poden donar valors esbiaixats tot i que sí aproximatiu o tendencials (Icona, 1982).

Com a antecedents cal esmentar els mapes de paisatges erosius, realitzats per Icona, en funció del pendent, litologia i cobertura vegetal (Icona, 1982). També d'especial rellevància és l'ambiciós projecte CORINE Land Cover (CLC) dins el programa CORINE de la Unió Europea. Té com a objectiu fonamental la captura de dades de tipus numèric i geogràfic per la creació d'una base de dades europea a escala 1:100.000 sobre l'ocupació del sòl. Concretament aquest programa ha desenvolupat els mapes de risc d'erosió per als usos del sòl 1985-1990, seguint l'esquema de la figura 7.1.

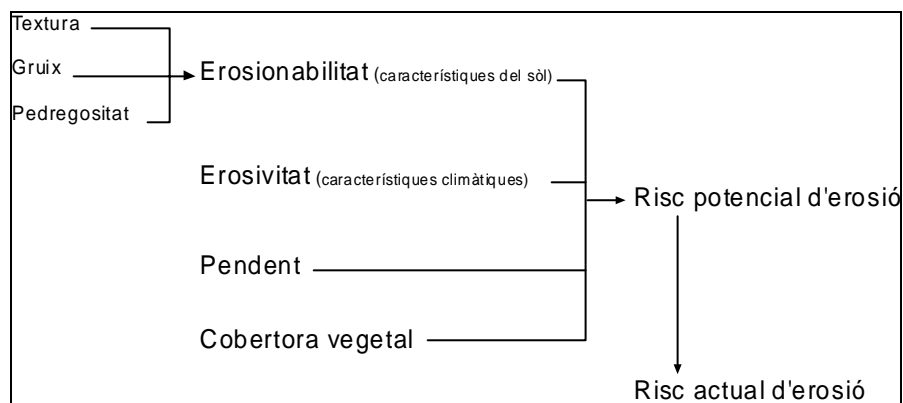


Figura 7.1.- Esquema metodològic del mapa de risc potencial del projecte CORINE Land Cover (<http://www.epa.ie>)

Per aquesta tesi s'ha cregut convenient aplicar una mesura indirecta del risc d'erosió per les clares avantatges de temps i diners que cal invertir-hi, i pel fet de tenir com a objectiu un estudi de caire regional. Malgrat aquests motius no s'ha volgut deixar com una anàlisi d'una variable geoambiental simplement aplicant una fórmula empírica a partir de mapes ja publicats. En aquests sentit s'ha cregut molt convenient no només fer servir un model sinó que per cada una de les variables introduïdes s'ha confeccionat la respectiva capa expressament per aquesta tesi. Només per la informació de l'ús del sòl ens hem vist obligats per manca de recursos i de temps a emprar el mapa que cedeix el Departament de Medi

Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, penjat en la seva base de dades en format MiraMon en el seu web (DMA, 2005).

A més, a partir de la recuperació de parcel·les experimentals a la zona, basades en el càlcul de pèrdua de sòl mitjançant claus d'erosió, s'han pogut validar i comparar els resultats.

7.1.1.1.1.- Mesures indirectes: USLE

Per a la confecció del mapa de risc d'erosió s'ha emprat la Universal Soil Loss Equation (USLE), equació paramètrica que prediu la taxa mitjana anual d'erosió –en tn/ha/any– basant-se en l'estudi de la component de la pluja, tipus de sòl, topografia, tipus de coberta del sòl i les possibles pràctiques que duu a terme l'home per a reduir aquest procés (bàsicament terme emprat per a conreus). La USLE només prediu la possible pèrdua de sòl com a conseqüència de l'erosió laminar, no per a l'escolament concentrat (descriu anteriorment), pel vent o per activitats agrícoles (Stone & Hilborn, 2000).

Aquesta equació fou desenvolupada a la National Runoff and Soil Loss Data Center, de la Universitat de Purdue dels Estats Units, sota la direcció de Walter H. Wischmeier i publicada per primer cop el 1958. De totes maneres aquesta fou el resultat de la compilació d'una extensa base de dades que Hugh Hammond Bennett inicià el 1929. Durant els següents 20 anys Wischmeier va anar perfeccionant l'equació fins que tornà a publicar l'aportació dels resultats de la seva recerca el 1978, la qual encara avui dia n'és tot un referent. Aquesta equació, segons la International Soil and Water Conservation Society, és *l'eina elemental per als conservacionistes amb finalitats planificadores*.

Aquest model d'erosió es féu servir en un primer moment per a l'estudi de la gestió i millora de les activitats agrícoles però actualment és abastament emprat per a l'estudi i comparació de pèrdues de sòl en estudis de caire regional (Stone & Hilborn, 2000). Cadascun dels paràmetres de la USLE és l'estimació numèrica d'una condició específica que afecta la severitat de l'erosió del sòl a una zona concreta. Els valors de cada paràmetre poden variar considerablement degut a la variació de les condicions meteorològiques. Per aquest motiu, els valors obtinguts s'haurien de considerar com a mitjanes anuals de pèrdua de sòl de llarg termini (Stone & Hilborn, 2000).

L'equació de la USLE és com segueix:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

D'on:

- **A:** representa la taxa potencial mitjana anual d'erosió a llarg termini en tones per hectàrea i any. Aquesta és la dada que s'utilitza en els mapes de risc d'erosió per a

determinar els límits de tolerància de pèrdua de sòl. Com que la bibliografia emprada unitats molt diferents a continuació es mostra una taula de conversió donant taxes equivalents d'erosió (Taula 7.1). A més, s'assumeix la densitat mitjana del sòl en $1,3 \text{ g/cm}^3$.

Unitats	Taxa equivalent
$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{any}^{-1}$	1
$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$	1000
$\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$	10
$\text{tn}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{any}^{-1}$	1.000
$\text{M}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$	7,7
$\text{M}\cdot\text{any}^{-1}$	0,00077
$\text{mm}\cdot\text{any}^{-1}$	0,77

Taula 7.1.- Conversió a diferents unitats de taxa d'erosió mitjana assumint la densitat mitjana del sòl en $1,3 \text{ g/cm}^3$

- **R:** representa l'erosivitat de la pluja. És la capacitat de la pluja de causar erosió. A major quantitat, intensitat, distribució i duració de l'episodi plujós, més gran és l'erosió potencial. Per al càlcul d'aquest factor hi ha multitud de taules estimatives segons l'àmbit geogràfic (Srikhajon et al., 1984; Ogawa et al., 1997; Stone & Hilborn, 2000). Malgrat això, pel fet que en la nostra recerca hàgim efectuat un exhaustiu recull de dades de precipitació diàries per 10 estacions meteorològiques repartides en tot l'àmbit d'estudi, s'ha cregut convenient emprar una fórmula empírica per tal d'integrar tota aquesta recopilació i no partir d'estimacions de caire climàtic. Aquest formulisme empíric es basa en l'energia cinètica i la intensitat màxima.

El factor R és la suma anual del factor erosiu diari (y) definit per l'equació (Wanapiyarat, 1986, en Mongkolsawat et al., 1994):

$$R = \sum_{1 \text{ gener}}^{31 \text{ desembre}} (y)$$

d'on y es calcula:

$$y = 3,2353 + 1,789 \ln x$$

i d'on: R és el factor de l'erosivitat de la pluja de l'equació de la USLE

y és l'erosivitat diària

x és la pluja diària

A l'hora d'expressar els valors de R sobre el mapa temàtic corresponent i per tal de representar en quin percentatge participa cada estació meteorològica sobre el territori, ens hem basat en la mateixa metodologia d'interpolació d'isoietes, emprada per el càlcul d'avingudes màximes d'aquesta tesi doctoral. Per a cada estació

meteorològica s'ha calculat el factor R a partir de les dades de pluja diàries, i mitjançant les eines d'interpolació de l'ArcView s'ha realitzat el mapa d'isolínies del factor R.

- **K:** representa l'erosionabilitat del sòl. Expressa el conjunt d'atributs del sòl que el fan més o menys susceptible a ser erosionat. Indica, per tant, la vulnerabilitat del sòl a ser erosionat. Aquest factor depèn essencialment de la granulometria, matèria orgànica, capacitat d'infiltració, litologia, entre d'altres. Aquest paràmetre es pot determinar experimentalment mitjançant experiments de simulació de pluja, en parcel·les tipus USLE, o mitjançant mapes de sòls. Tal i com ja s'ha comentat, per falta de pressupost per a l'experimentació, s'ha emprat l'última de les metodologies apuntades.

Al no tenir de manera específica en la zona d'estudi cap mapa de sòls, ha sigut tasca d'aquesta recerca efectuar un mapa aproximat de tipologies bàsiques de sòls. Per aquest motiu s'ha partit de l'informació litològica i de l'estat d'alteració dels materials. Un cop definides les àrees homogènies s'ha prosseguit a fer un estudi granulomètric per tamisat per tal de poder classificar els sòls generats en cada tipologia de sòl i alteració (Figura 7.2).

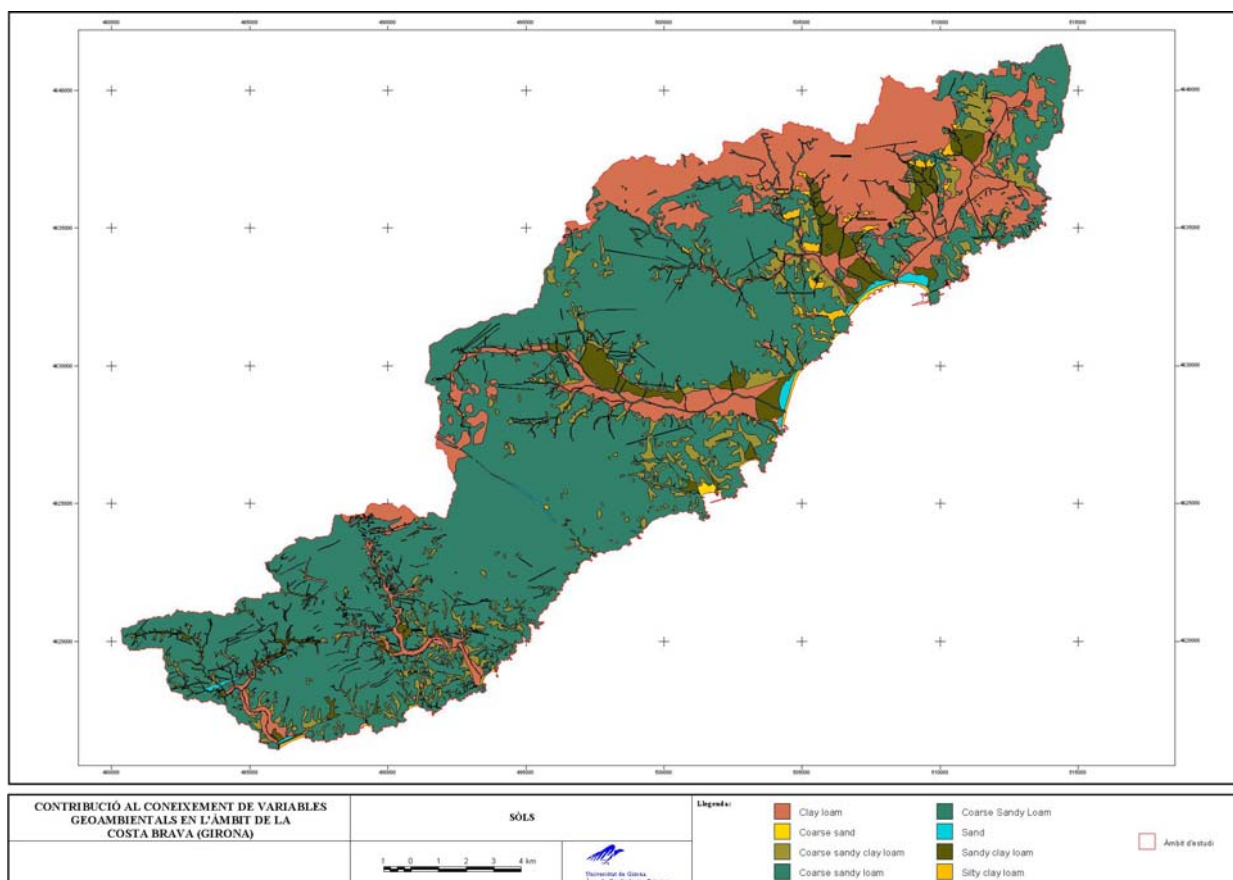


Figura 7.2.- Mapa de sòls de l'àmbit d'estudi

Per fer-ho hem assajat una sèrie de mostres representatives de cada àrea homogènia, i segons el percentatge de sorres, argiles i llims trobats a les mostres s'han classificat en el diagrama triangular següent (Figura 7.3). Les anàlisis granulomètriques per tamisat estan estandarditzades per la norma UNE 103 101:1995 (Geotecnia, 1999) i l'equip emprat correspon a la Sèrie de garbells UNE 7050-2.

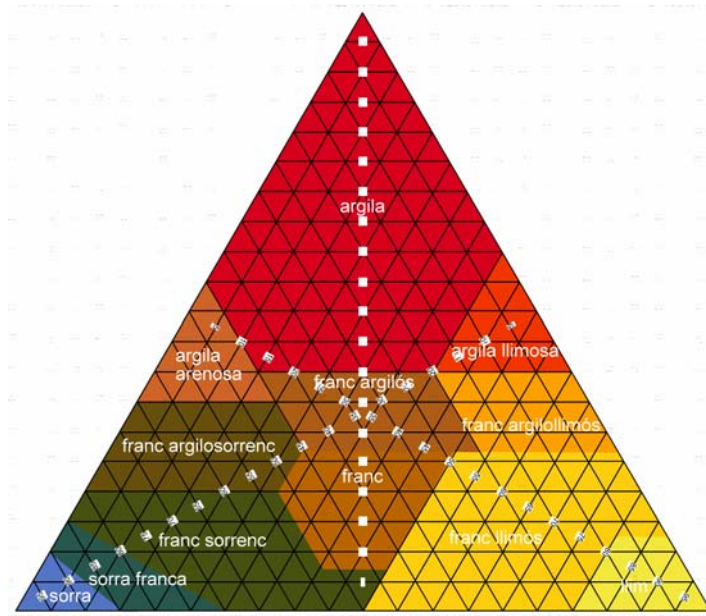


Figura 7.3.- Diagrama triangular de Shepard

Aquest s'ha confeccionat posant als extrems les mostres pures de lim, argila i sorra tenint en compte la classificació dels sòls per a la determinació del factor K. Per definir el nom segons els percentatges corresponents a sòls en què presenten mescles dels diferents extrems s'ha basat en el procediment següent:

- El sòl es determina en primer terme per la seva fracció principal
- Per les fraccions secundàries s'utilitzen els criteris següents (Taula 7.2)

Fraccions secundàries	Proporció (% en pes)
Indicis	5 a 10
Una mica	10 a 20
Bastant	20 a 35
Sufix os/osa	35 a 50

Taula 7.2.- Nomenclatura per nomenar les fraccions secundàries d'un sòl (segons classificació DIN 4022)

D'aquesta manera, a tall d'exemplificar aquest procediment, considerant un material compost per un 8% de grava, un 60% de sorra i un 32% d'argila, es podria descriure com una sorra argilosa amb indicis de grava.

Un cop definit cada tipologia de sòl només resta determinar el factor K de l'equació de la USLE. Per a aquesta tasca es pot emprar un nomograma, presentat i definit en Ortiz (2002), o a partir de taules (Ogawa et al., 1997; Stone & Hilborn, 2000; Mongkolsawat et al., 1994; entre d'altres). Per a l'estudi regional que ens ocupa, i la metodologia SIG basat en capes ràster, s'ha cregut convenient l'aplicació de taules gràcies a la facilitat que dóna els SIG per a la relació de bases de dades. A continuació es presenta a la taula 7.3 l'assignació del valor K emprada per a cada tipologia de sòl:

Factor K			
Contingut en matèria orgànica			
Classe textural	Mitjana	Menys de 2%	Més de 2%
Argila	0.22	0.24	0.21
Franc argilós	0.30	0.33	0.28
Sorra franca	0.07	--	0.07
Sorra fina	0.08	0.09	0.06
Sorra fina franca	0.18	0.22	0.17
Franc	0.30	0.34	0.26
Franc sorrenc fi	0.11	0.15	0.09
Franc sorrenc	0.04	0.05	0.04
Franc sorrenc molt fi	0.39	0.44	0.25
Sorra	0.02	0.03	0.01
Franc argilosorrenc	0.20	--	0.20
Sorra franca	0.13	0.14	0.12
Franc llimós	0.38	0.41	0.37
Argila llimosa	0.26	0.27	0.26
Franc argilollimós	0.32	0.35	0.30
Sorra molt fina	0.43	0.46	0.37
Sorra molt fina franca	0.35	0.41	0.33

Taula 7.3.- Determinació del factor K de la USLE segons la tipologia de sòl i contingut en matèria orgànica (segons Stone & Hilborn, 2000)

- **L:** factor que expressa la pèrdua de sòl en funció de la longitud del vessant. Són molts els estudis que per a una regió concreta determinen el factor longitud del pendent com a constant a partir de la mitjana dels pendents característics de la zona. Malgrat aquest mètode senzill, però alhora massa generalista (Ogawa et al., 1997), s'ha definit el factor L a partir de l'equació:

$$L = \left(\frac{l}{22,13} \right)^m$$

d'on: L és el factor de la USLE que depèn de la longitud del vessant,

l és la longitud del vessant en metres, i

m és l'exponent que depèn del pendent (en tant per cent) del vessant.

Les taules per a la determinació de l i m són les següents (Taulas 7.4 i 7.5):

Pendent (%)	Constant " l "
0 - 2	60,96
2 - 5	53,34
5 - 7	45,72
7 - 10	38,10
10 - 15	30,48
15 - 20	22,86
20 - 60	15,24

Taula 7.4.- Determinació de la longitud del vessant l en funció del pendent (segons Wischmeir & Smith, 1978 i Yang, 2000)

Pendent (%)	Exponent " m "
0 - 1	0,2
1 - 3	0,3
3 - 5	0,4
5 - 90	0,5

Taula 7.5.- Determinació de la constant m en funció del pendent (segons Wischmeir & Smith, 1978)

Amb aquestes taules es pot veure que el factor L es calcula bàsicament a partir de la informació del pendent del terreny expressant en tant per cent. L'obtenció d'aquesta capa temàtica s'explica en el següent dels factors de la USLE.

- **S:** factor que expressa la pèrdua de sòl com a conseqüència del pendent. Aquest factor és calculat a partir de només el pendent de la zona estudiada expressat en percentatge. El pendent, gràcies a la potencialitat dels SIG, s'ha obtingut mitjançant el model d'elevacions del terreny (MDT) cedit per l'Institut Cartogràfic de Catalunya. Per al càlcul del factor S de la USLE s'ha emprat la fórmula següent:

$$S = \frac{0,43 + 0,3s + 0,043 s^2}{6,613}$$

d'on: S és el factor de la USLE que depèn del pendent (%) del vessant, i
s és el pendent del vessant en %

- **C:** factor protecció de la coberta del sòl. Expressa l'efectivitat de la protecció que ofereix la coberta al sòl, en comparació amb el sòl nu. Cal tenir present que amb vegetació caducifòlia (gairebé inexistent en l'àmbit d'estudi i concentrada com a vegetació de ribera a les fondejades de les rieres) pot presentar variacions estacionals importants. Aquest paràmetre pren valors de 0 (coberta del sòl que fa

que no s'erosioni gens, p.ex. zones urbanes o infraestructures viàries) fins a 1 (terreny totalment nu i sòl remogut).

Per a la determinació d'aquesta capa temàtica s'ha hagut de recórrer a la informació disponible al web del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya (DMA, 2005). En aquest sentit, a partir de la capa d'usos del sòl s'ha confeccionat, a partir de diferents font d'informació, la taula per reclassificar cada ús del sòl (21 en total) en el factor C de la USLE (Taula 7.6).

LLEGENDA	Factor C
Aigua continental	0
Aigua marina	0
Congestes	0
Infraestructures viàries	0
Urbanitzacions	0,03
Nuclis urbans	0
Zones industrials i comercials	0
Conreus herbacis de secà	0,30
Conreus herbacis de regadiu	0,05
Fruiters de secà	0,30
Fruiters de regadiu	0,30
Vinya	0,02
Prats supraforestals	0,02
Bosquines i prats	0,05
Bosc d'escleròfil·les	0,20
Bosc de caducifolis	0,048
Bosc d'aciculifolis	0,012
Vegetació de zones humides	0,28
Sòl amb vegetació escassa o nul·la	1
Zones cremades	1
Sorrals i platges	1

Taula 7.6.- Determinació del factor C de la USLE en funció de l'ús del sòl de 1997 (segons Watanasak, 1978; Srikhajon et al., 1984; Mongkolsawat et al., 1994; Ogawa et al., 1997; Stone & Hilborn, 2000; Bell & Bryant, 2002 i Ortiz, 2002)

- **P:** correspon a un factor que redueix les pèrdues esperades de sòl com a resultat de l'aplicació de pràctiques de conservació, en comparació a la pèrdua de sòl sense aquestes (guaret llaurant en direcció del pendent). Aquestes pràctiques consisteixen en conrear a nivell, en franges, emprar terrasses o aplicar el mulx, d'entre d'altres (Ortiz, 2002). Aquest paràmetre pren valors de 0 (coberta del sòl que fa que no s'erosioni gens, p.ex. zones urbanes o infraestructures viàries) fins a 1 (terreny en que no s'hi practica cap mena de pràctica, p.ex. bosc natural).

Per a la determinació d'aquesta capa temàtica també s'ha partit de la capa de classificació d'usos del sòl de 1997 de DMA (2005). En aquest sentit, a partir de la

capa d'usos del sòl s'ha confeccionat, emprant distintes font d'informació, la taula per reclassificar cada ús del sòl en el factor P de la USLE (Taula 7.7).

LLEGENDA	Factor P
Aigua continental	0
Aigua marina	0
Congestes	0
Infraestructures viàries	0
Urbanitzacions	0,12
Nuclis urbans	0
Zones industrials i comercials	0
Conreus herbacis de secà	0,75
Conreus herbacis de regadiu	0,75
Fruiters de secà	0,75
Fruiters de regadiu	0,75
Vinya	0,75
Prats supraforestals	1
Bosquines i prats	1
Bosc d'escleròfil·les	1
Bosc de caducifolis	1
Bosc d'aciculifolis	1
Vegetació de zones humides	1
Sòl amb vegetació escassa o nul·la	1
Zones cremades	1
Sorrals i platges	1

Taula 7.7.- Determinació del factor P de la USLE en funció de l'ús del sòl de 1997 (segons Watanasak, 1978; Mongkolsawat et al., 1994; Ogawa et al., 1997; Stone & Hilborn, 2000; Bell & Bryant, 2002 i Ortiz, 2002)

Cada un dels paràmetres de la USLE produeix eventualment cinc capes temàtiques. Aquestes són capes ràster amb una resolució de cel·la de 30X30 metres, precisió de les quals ve imposada per l'MDT i la capa d'usos del sòl de DMA (2005). Cada una de les cel·les conté l'atribut associat que servirà llavors per a obtenir la multiplicació final. Tant per a l'obtenció de les constants, exponents, capes de cada factor com per a la multiplicació final de la USLE s'han emprat les eines d'anàlisi (Map Calculator) de l'ArcView. L'esquema metodològic es pot observar en les figures 7.4 i 7.5. Finalment s'ha obtingut els mapa de risc d'erosió potencial classificat en 5 categories (**Mapa 2.- Dominis Morfodinàmics**, dels annexes).

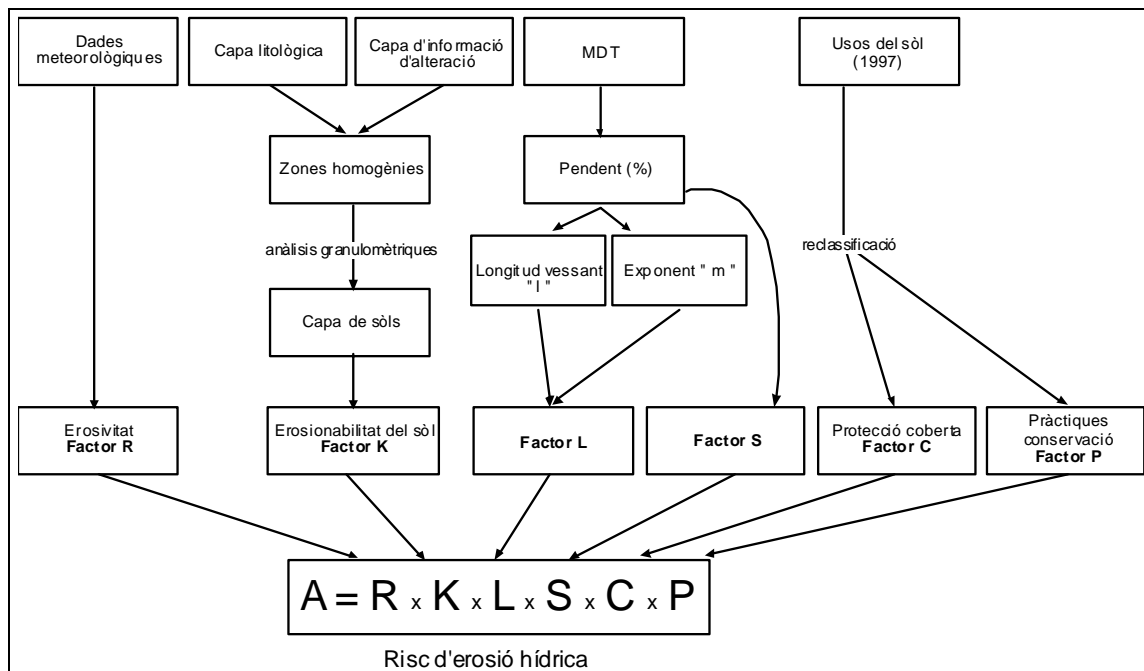


Figura 7.4.- Model de l'anàlisi de la USLE mitjançant SIG. Segons Ogawa et al. (1997), modificat.

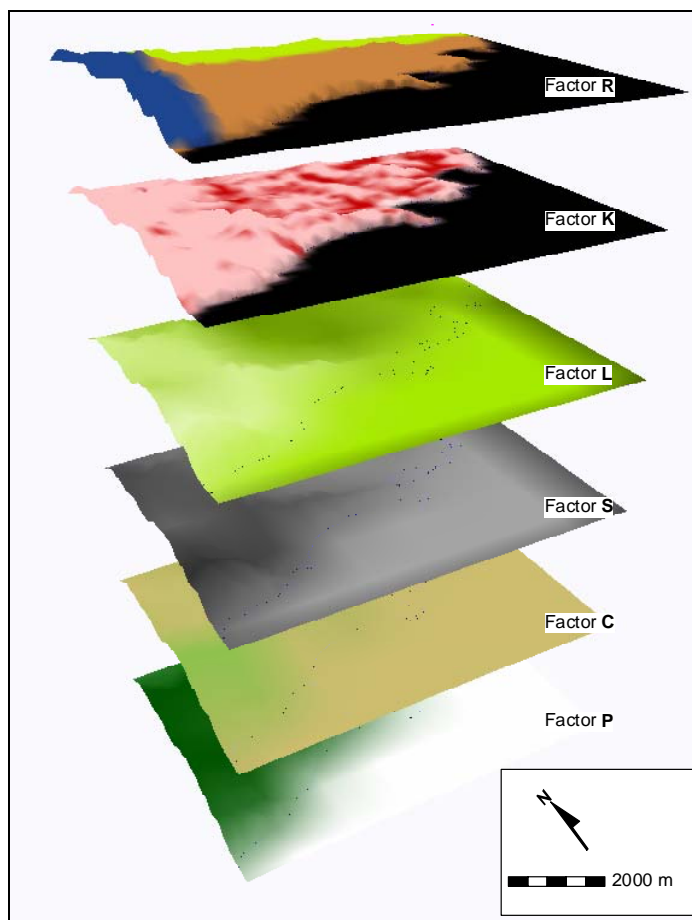


Figura 7.5.- Il·lustració de superposició de les capes R, K, L, S, C i P. Cas de la zona de Sant Feliu de Guíxols.

7.1.1.1.2.- Mesures directes

En aquest apartat s'analiza el mètode directe o tècnica microtopogràfica basada en l'estudi de l'erosió mitjançant agulles d'erosió. Tal i com s'ha comentat en l'apartat introductori, aquesta tècnica requereix d'uns certs recursos econòmics i de temps. Tot i això, com que ja existia un conjunt de parcel·les experimentals, s'han pogut recuperar i ampliar el seu registre microtopogràfic. Per tant aquest estudi recupera una sèrie de parcel·les preexistents a l'àmbit d'estudi, les quals han tingut una activitat de 13 anys. La situació queda presentada tant a la figura 7.6 com al **Mapa 2.- Dominis Morfodinàmics**, dels annexes.

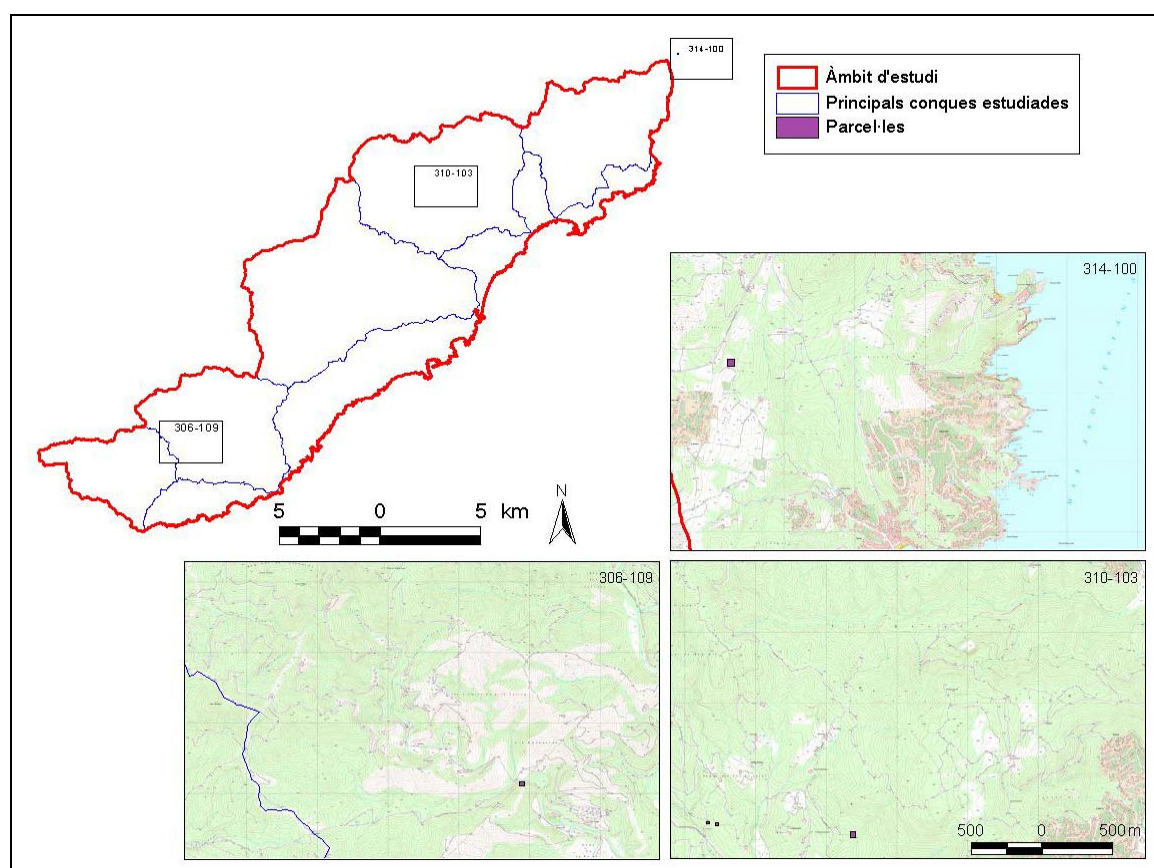


Figura 7.6.- Situació de les parcel·les amb agulles d'erosió (sector de Can Batllia (314-100), can Samada (306-109), i Molí de Més Amunt i can Rosselló (310-103))

AGULLES D'EROSIÓ:

La utilització de les agulles d'erosió o claus "Leopold" és una de les tècniques directes per al registre de l'erosió més simple i efectiva per mesurar petits canvis en vertical de la superfície del terreny. Aquest mètode consisteix en introduir parcialment en el sòl a analitzar una agulla i mesurar cada cert interval de temps l'altura de l'extrem superior respecte la

superfície topogràfica. D'aquesta forma s'obtenen els descensos i ascensos de la superfície del terreny que responen a processos d'erosió i sedimentació, respectivament.

L'agulla es clava perpendicularment a la superfície del terreny deixant uns 5 cm per poder-lo localitzar millor en cas de produir-se sedimentació. La mesura del rebaix es realitza amb una anella de 25 mm de diàmetre extern i 8 d'intern. El valor s'obté mesurant amb un peu de rei la longitud que separa l'extrem superior de l'agulla i l'anella adossada a terra, en la posició corresponent a la part superior del vessant.

Tots els aspectes més detallats sobre les característiques tècniques de les agulles, col·locació, seguiment i mesures, així com el tractament de les dades són abastament analitzats per Sancho et al. (1991).

Les mesures finals que s'han obtingut són les variacions de la superfície en $\text{mm}/\Delta\text{temps}$, i suposant una densitat mitjana del sòl transportat en sec de $1,35 \text{ g/cm}^3$, es poden fàcilment transformar en taxes d'erosió expressades en tn/ha/any . Cal tenir present que els resultats obtinguts a partir de les agulles d'erosió (registre volumètric) tendeixen a ser superiors que els obtinguts a partir de la recollida de sediments (registre dinàmic) (Gutiérrez et al., 1995).

PUNTS DE MESURA

Els punts de mesura que s'han estudiat es van crear fa 14 anys i es troben dins l'àmbit d'estudi d'aquesta recerca, llevat dels de Begur, que no estan físicament dins els límits d'aquest àmbit, però s'ha cregut convenient tenir-la es compte pel fet de ser molt propera i compartir les característiques litològiques, climàtiques, de condicions inicials i de vegetació.

Pel fet d'haver passat tants anys, en molts casos la vegetació ha cobert les estacions experimentals, impossibilitant la recuperació dels claus, o, com en el cas de Tossa, l'erosió ha arribat al màxim calculable dels claus, fent-los caure a excepció de dos.

Els punts de mesura partien tots ells d'un entorn que acabava de patir un incendi forestal, menys el número 6 de Tossa de Mar que es caracteritzava per ser una zona a on s'acabava de fer un tallafoc, i per tant també una zona totalment desprotegida de vegetació. Tot i l'aparent resposta similar que haurien de tenir les distintes parcel·les, com es comenta tot seguit, al cap d'una dècada les taxes d'erosió varien notablement.

ESTACIÓ 1: 1A) A l'oest del Molí de Més Amunt (T.M. de Calonge)

1B) a 5 metres a l'oest del punt 1A.

OBSERVACIONS: Pinacles de roques *in-situ*. Sòl sobre granodiorita alterada amb fragments de quars. (Taula 7.8 i Figura 7.7)

Punt	Número	Lectures en mil·límetres				
1 A	1r pinacle	34	40	47	--	--
	2n pinacle	14	35	23	--	--
	3r pinacle	21	25	29	--	--
	Clau 1	15	21	22	--	--
1 B	Clau 1 R	14	17	23	27	--
	Clau 2 l	14	7	10	10	25
	Clau 3 l	27	30	35	36	28,5
	Clau 4 l	27	20	25	27	--
		27/10/90	19/07/91	13/03/92	5/09/92	20/02/04

Taula 7.8.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 1.

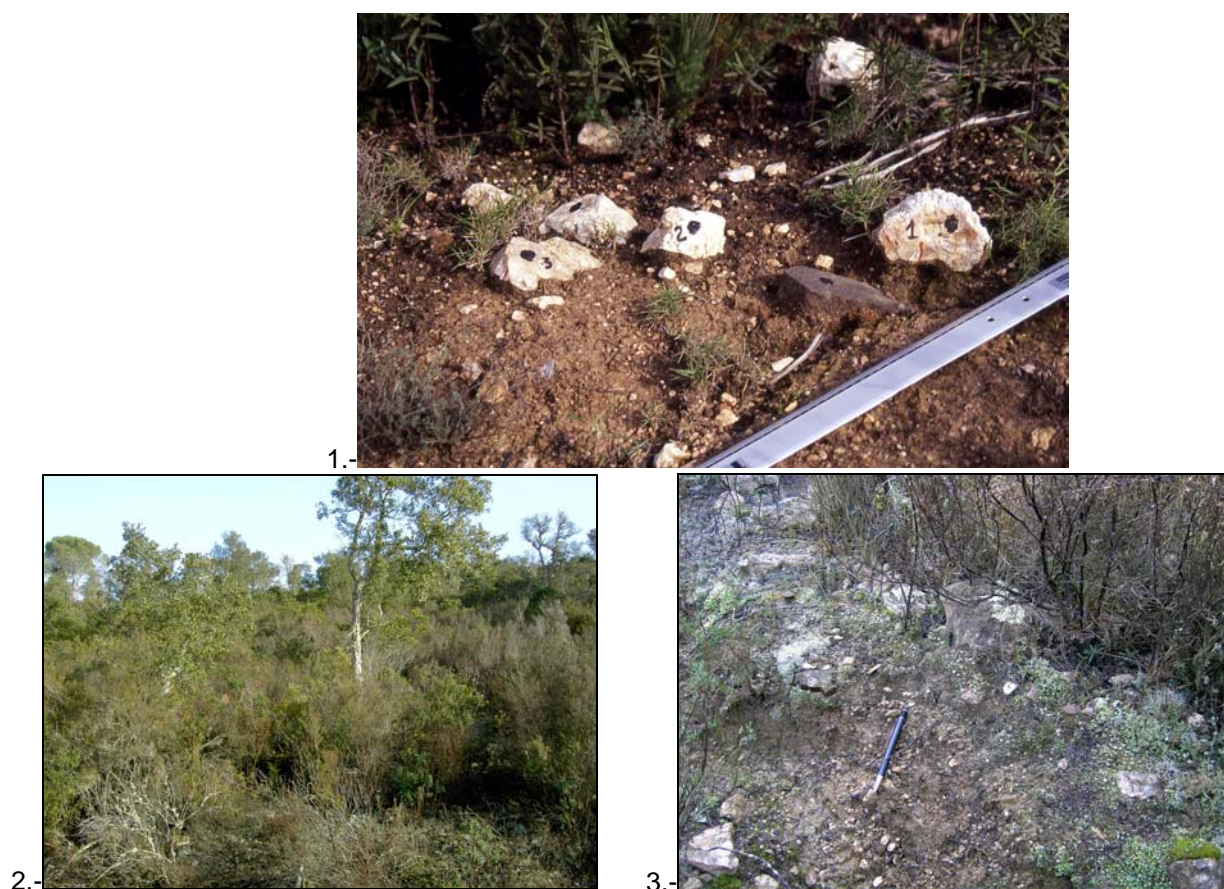


Figura 7.7.- Estació 1. (1.-Vista del pinacles de l'estació 1A (27/10/1990). (2.-Visió en conjunt de l'estat actual de la parcel·la 1B i (3.-detall dels claus trobats (20/02/2004)

ESTACIÓ 2: A l'oest del Molí de Més Amunt (T.M. de Calonge)

OBSERVACIONS: Sobre granodiorita alterada (Taula 7.9 i Figura 7.8).

Punt	Número	Lectures en mil·límetres				
2 A	Clau 1 l	14	15	17	14	--
	Clau 2 l	14	25	34	34	--
	Clau 3 l	14	tapat (0)	tapat (0)	tapat (0)	--
	Clau 4 l	14	25	32	27	--
	Clau 5 l	14	25	30	34	--
	Clau 6 l	14	tapat (0)	tapat (0)	tapat (0)	--
2 B	Clau 1 l	25	25	44	53	26
	Clau 2 l	14	15	30	35	26
	Clau 3 l	24	20	15	8	tapat (0)
	Clau 4 R	16	30	41	43	35
	Clau 5 l	19	20	32	37	42
	Clau 6 l	16	25	44	49	36
	Clau 7 l	20	15	15	16	11
		27/10/90	19/07/91	13/03/92	5/09/92	20/02/04

Taula 7.9.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 2.

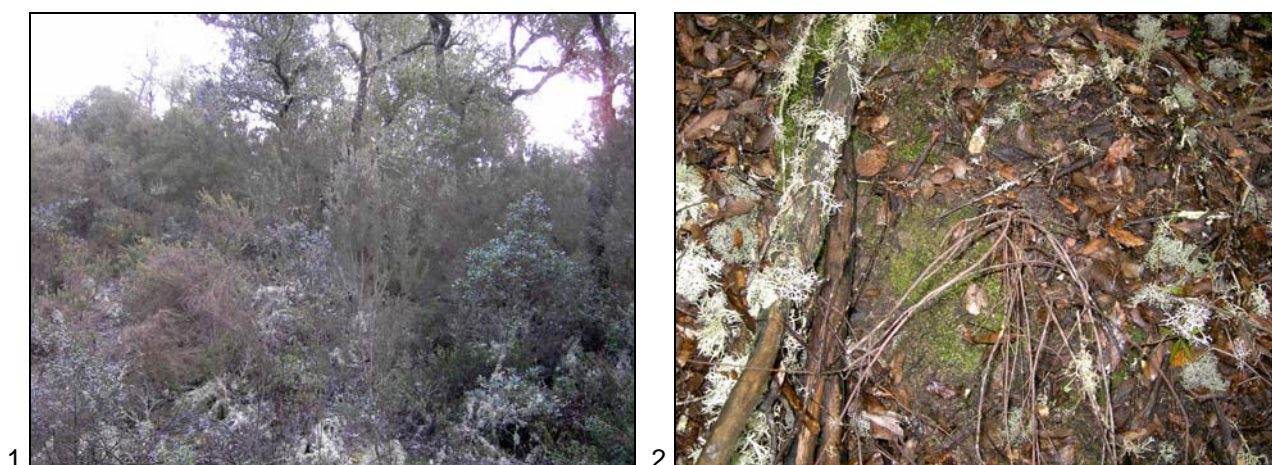


Figura 7.8.- Estació 2. (1.-Visió en conjunt de l'estat actual de la parcel·la i (2.-detall del clau número 7 trobat (20/02/2004)

ESTACIÓ 3: Al sud de Can Roselló (T.M. de Calonge)

OBSERVACIONS: Sobre granodiorita alterada (Taula 7.10 i Figura 7.9)

Punt	Número	Lectures en mil·límetres				
3 A	Clau 1 I	26	25	--	57	--
	Clau 2 I	32	35	38	46	47,1
	Clau 3 I	32	37	38	39	40
		27/10/90	19/07/91	13/03/92	5/09/92	20/02/04

Taula 7.10.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 3.

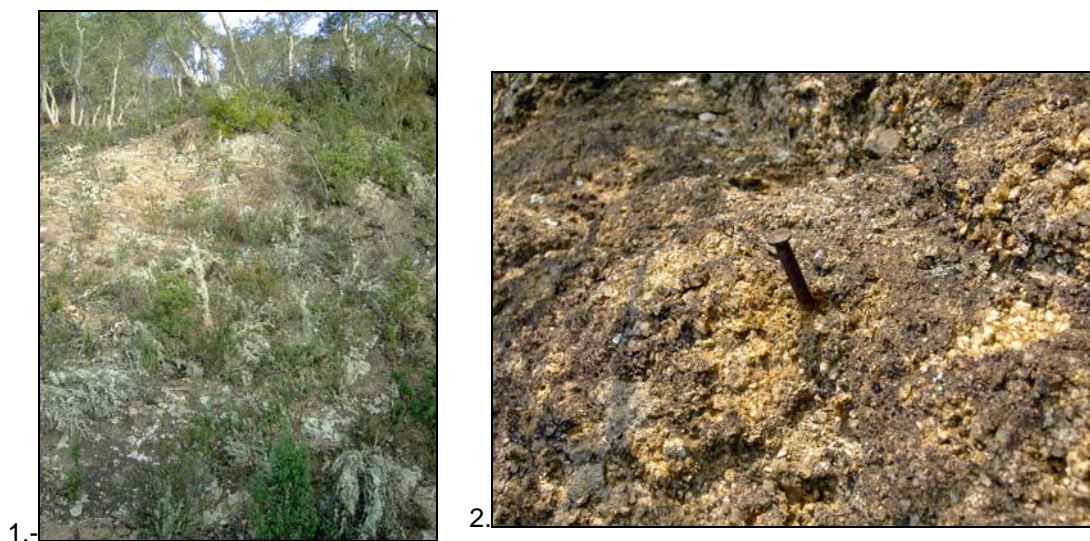


Figura 7.9.- Estació 3. (1.-Visió en conjunt de l'estat actual de la parcel·la i (2.-detall del clau número 3 trobat (20/02/2004)

ESTACIÓ 4: Can Batllia (T.M. de Begur)

OBSERVACIONS: Sobre granodiorites alterades (Taula 7.11 i Figura 7.10).

Punt	Número	Lectures en mil·límetres				
4A	Clau 1 I	16	19	15	22	--
	Clau 2 I	14	15	20	21	--
	Clau 3 I	20	25	27	21	--
	Clau 4 I	24	20	30	25	--
	Clau 5 I	24	30	30	30	--
	Clau 6 R	94	90	90	85	--
	Clau 7 R	69	87	75	73	--
	Clau 8 I	27	30	30	35	--
	Clau 9 I	28	30	29	29	--
	Clau 10 I	19	35	32	33	--
	Clau 11 I	14	20	19	21	--
		27/10/90	19/07/91	12/03/92	05/09/92	20/02/04

Taula 7.11.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 4.

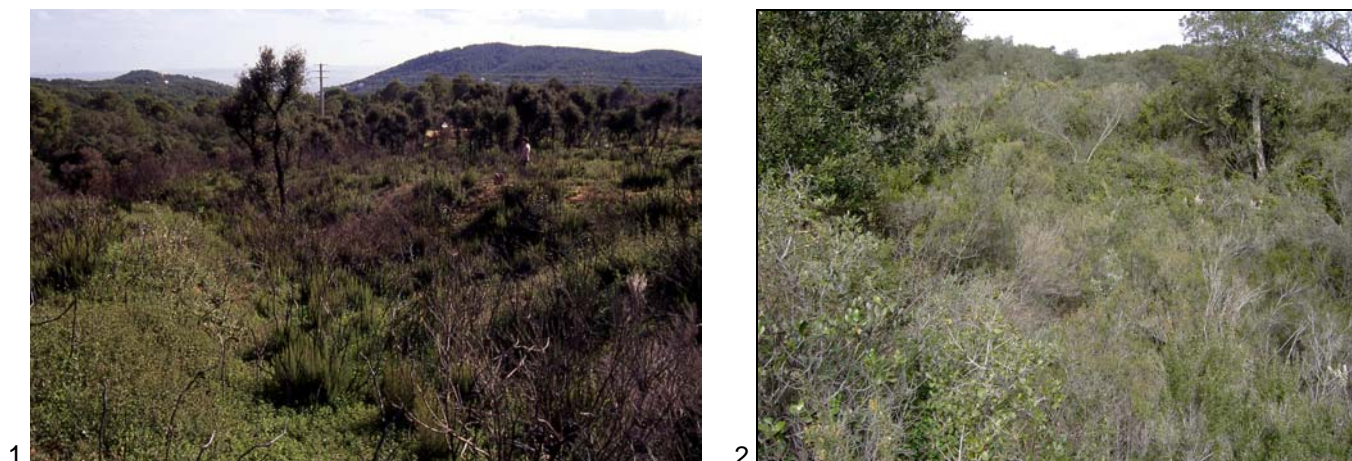


Figura 7.10.- Estació 4. (1.-Visió de la parcel·la al 27/10/1990. (2.-Visió de l'estat actual de la parcel·la (20/02/2004)

ESTACIÓ 6: Can Samada. Prop de la carretera de Tossa a Llagostera a aproximadament 4 km de Tossa de Mar

OBSERVACIONS: Leucogranit de gra gros alterat. Pendent de 45°. (Taula 7.12 i Figura 7.11)

Punt	Número	Lectures en mil·límetres				
6 A	Clau 1 l	80	95	90	90	--
	Clau 2 l	25	30	39	57	--
	Clau 3 R	10	tapat (0)	30	170	--
	Clau 4 l	90	90	85	92	--
	Clau 5 l	10	10	20	29	--
	Clau 6 R	15	10	tapat (0)	tapat (0)	--
	Clau 7 l	15	20	18	20	135
	Clau 8 l	20	tapat (0)	14	tapat (0)	--
	Clau 9 l	25	30	31	37	141
	Clau 10 l	20	35	40	48	--
	Clau 11 l	10	45	80	92	--
	Clau 12 l	10	25	32	40	--
	Clau 13 l	15	35	25	28	--
	Clau 14 l	15	47	50	72	--
	Clau 15 l	15	20	25	26	--
	Clau 16 l-R	2	tapat (0)	31	51	--
	Clau 17 l	11	125	110	113	--
	Clau 18 l	25	17	25	38	--
	Clau 19 l	10	34	45	55	--
	Clau 20 R	100	tapat (0)	tapat (0)	tapat (0)	--
		19/1/90	19/07/91	13/03/92	5/09/92	25/02/04

Taula 7.12.- Mesures d'erosió / acumulació en mm. Estació 6

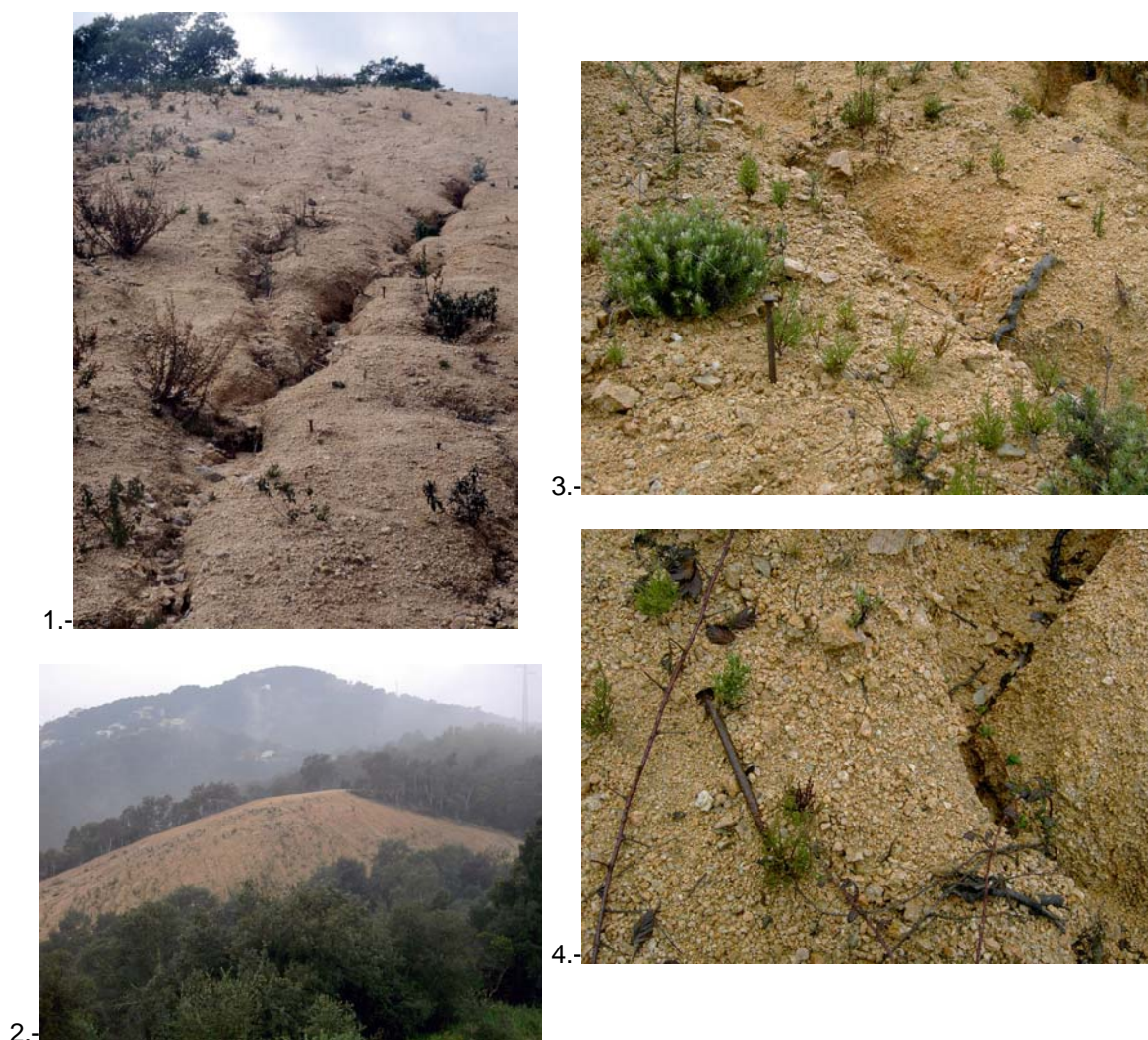


Figura 7.11.- Estació 6. (1.-Vista del clau (13/03/1992). (2.-Visió en conjunt de l'estat actual de la parcel·la i (3.-detall del clau número 9 trobat in-situ i (4.-d'un altre caigut (20/02/2004)

Nota: R= rill (clau situat a dins d'un canal d'erosió). I= interill (clau situat entre canals d'erosió)

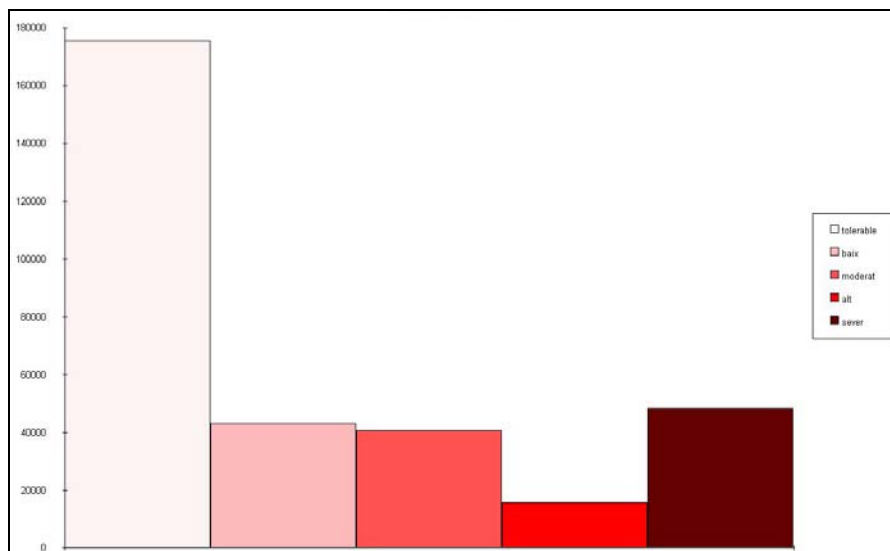
7.1.1.2.- Avaluació dels resultats

Després d'aplicar la USLE seguint la metodologia anteriorment descrita, el mapa de risc d'erosió potencial es pot observar al **Mapa 2.- Dominis Morfodinàmics**, de l'apartat d'annexes. Aquest mapa de risc està classificat en diferents intervals d'erosió mitjana anual. Aquests han estat extrets de Stone & Hilborn (2000), llegendes dels quals és com es presenta a la taula 7.13. En aquesta també s'hi ha inclòs les àrees em km², hectàrees i els percentatges de cada tipologia de risc.

Interval de A (tn/ha/any)	Llegenda	Àrea (km ²)	Hectàrees	Percentatge respecte àrea total
0 – 3	Tolerable	170,37	1370,98	58,53 %
3 – 5	Baix	36,34	3634,51	12,49 %
5 – 10	Moderat	28,80	2880,44	9,89 %
10 – 15	Alt	13,71	4186,58	4,71 %
> 15	Sever	41,87	17038,26	14,38 %
Total		291,10	29110,77	100,00 %

Taula 7.13.- Taula resum de l'àrea i percentatges per a cada interval, segons Stone & Hilborn (2000) de risc d'erosió

Veient la taula anterior es pot apreciar que un 58,53% de l'àrea estudiada presenta unes taxes d'erosió que s'han denominat tolerables segons la classificació de Stone & Hilborn (2000). La nota important d'aquesta anàlisi és que l'interval que ve a continuació respecte la importància en els percentatges és la categoria d'erosió severa, amb un 14,38%. Finalment per ordre d'importància tenim l'erosió baixa, moderada i alta amb els percentatges de 12,49%, 9,89% i 4,71%, respectivament. Aquesta distribució queda representada en el següent histograma (Gràfica 7.2), on es representa cada interval d'erosió potencial en front del nombre total de píxels de 30x30 metres.



Gràfica 7.2.- Histograma de distribució del nombre de píxels 30x30 metres de cada interval d'erosió potencial (tolerable: 0-3; baix: 3-5; moderat: 5-10; alt: 10-15 i sever > 15 tn/ha/any)

A banda de les dades per a tot l'àmbit d'estudi, les taxes d'erosió anuals i els totals potencialment erosionables per les principals conques estudiades es presenten a la taula 7.14.

Conca	Tn/ha/any	Tn/any
Aubi	10,03	39.756,12
Calonge	24,34	127.862,77
Ridaura	4,23	30.756,87
Tossa	8,13	31.388,15
Lloret	4,76	10.900,57

Taula 7.14.- Taxes d'erosió hídrica laminar i totals anuals per a les principals conques estudiades

Malgrat que a priori pugui semblar un panorama molt dolent, cal valorar aquestes dades com a dades aproximatives i mitjanes anuals, i no com a valors absoluts d'erosió. En aquest sentit el més important d'aquest mapa de risc d'erosió no és tant la taxa en tones que pot erosionar-se cada hectàrea en un any sinó la delimitació de zones més o menys potencials a partir d'una erosió alta o severa, ja que com s'ha comentat en l'apartat introductori d'aquest apartat, taxes d'unes 10-12 tn/ha/any es poden considerar com a acceptables segons la FAO.

En aquest sentit a tall d'exemple i seguint el cas de la zona de Sant Feliu de Guíxols tenim el següent esquema exemplificador (Figura 7.12).

En aquesta zona la majoria de l'àrea té un risc d'erosió tolerable i només destaquen dues zones. Per una banda les zones de més risc erosiu són sens dubte les zones on el pendent és el factor clau. Aquestes són les zones de penya-segats on el pendent determina els valors severos d'erosió.

Per altra banda tenim la zona del torrent de l'esquerra dels bloc diagrama anterior. En la seva capçalera el risc és de moderat a alt i, a diferència dels penya-segats, el pendent no és tant acusat, fet que fa pensar que aquesta zona realment pot patir una erosió elevada degut a les característiques intrínseques de la zona (pluja, sòl, pendent, longitud de les vessants, poca coberta del sòl i cap actuació de prevenció).

És en aquestes segones àrees on cal prestar una atenció especial a l'hora d'efectuar qualsevol actuació sobre el territori que pugui provocar una acceleració de l'erosió. Recordem que aquesta metodologia indirecta permet establir zonacions de risc potencial i tot i que dóna taxes d'erosió en tn/ha/any aquestes s'han d'agafar en molta cautela. Aquesta anàlisi anterior és la que s'hauria de fer de forma molt més local en el cas que es volgués actuar sobre el territori inclòs dins d'aquest risc moderat, alt o sever. Aquesta anàlisi detallada donaria valors molt més acurats. Aquest tipus d'estudi és el que s'ha volgut presentar en l'anàlisi de mesures directes, efectuades a partir de 5 estacions experimentals.

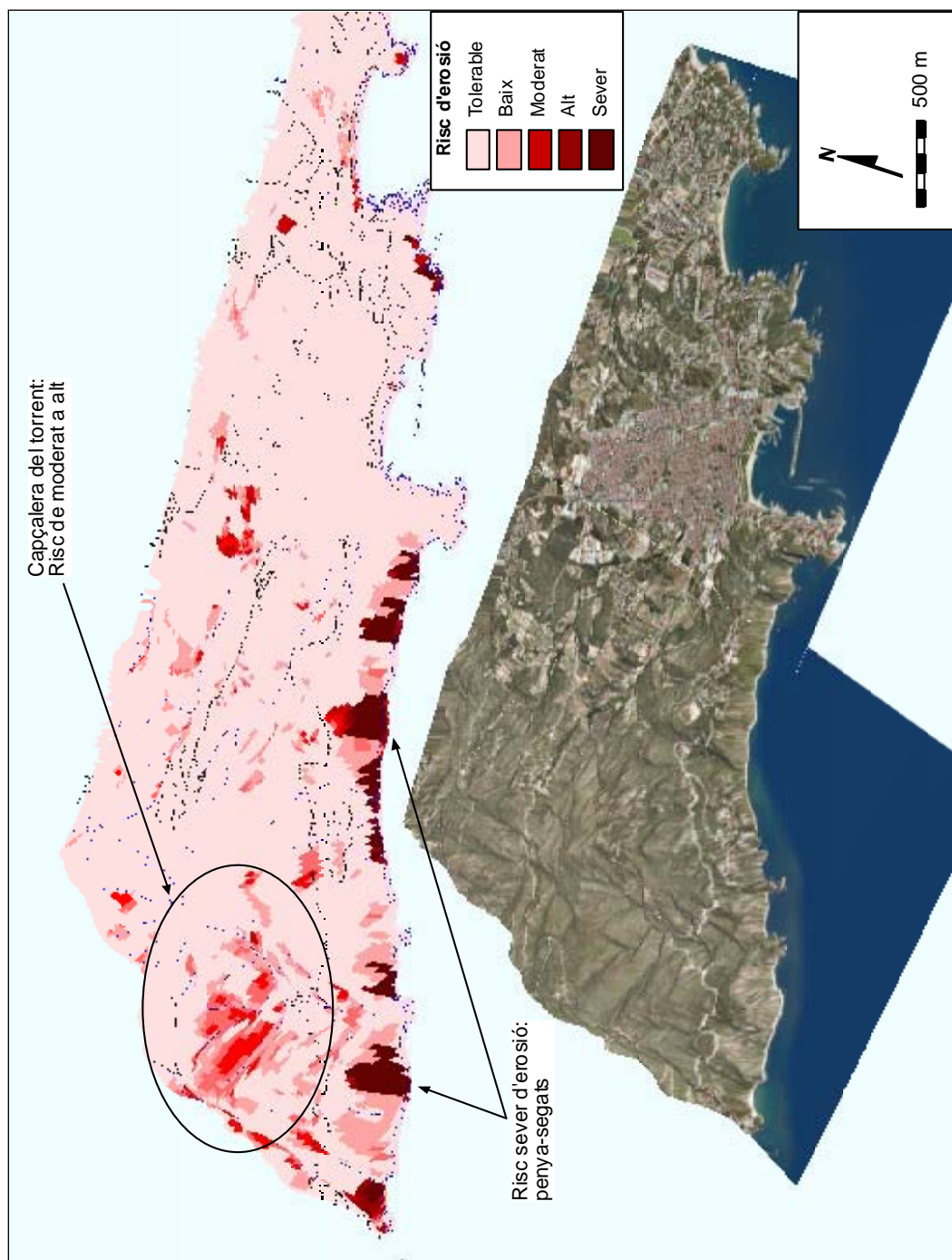


Figura 7.12.- Bloc diagrama del risc d'erosió a la zona de Sant Feliu de Guíxols

REFERENT A L'APLICABILITAT DE LA USLE EMPRANT SIG:

S'ha pogut comprovar que l'aplicació de la Universal Soil Loss Equation (USLE) al nostre àmbit d'estudi ha facilitat enormement l'estimació de la severitat del risc d'erosió hídrica laminar. Emprant els Sistemes d'Informació Geogràfica tant per a la creació, manipulació i integració dels paràmetres de la USLE ha permès clarament una estimació correcta i eficient de la pèrdua de sòl per aquesta causa.

La producció de mapes individuals per cada un dels paràmetres inclosos a l'equació, permet generar nous mapes de risc d'erosió mantenint tots els factors constants menys el que es vulgui analitzar individualment. En zones on la diferència sigui clara en els nivells de risc d'erosió, havent canviat algun dels factors, permet veure la incidència individual que té aquest en aquests procés geològic i finalment derivar-ne recomanacions específiques per a la millora de la gestió d'aquesta problemàtica.

Cal reconèixer que la precisió del valor **A** depèn de l'aplicabilitat i qualitat de les dades emprades per a la realització dels mapes dels altres paràmetres. Tot i les limitacions que té aquest mètode, com ara la generalització d'algunes constants mitjançant taules per al càlcul dels paràmetres o la precisió del píxel de 30X30 metres, l'aplicació d'aquest mitjançant SIG ha satisfet l'objectiu bàsic d'obtenir un mapa regional de zonacions de risc potencial d'erosió del sòl.

Cal dir que aquest model permet simular diferents escenaris mitjançant la modificació dels seus paràmetres. Un dels escenaris seria el fet que hi ha una previsió en el canvi climàtic pel qual les precipitacions mitjanes augmentaran, en general seran més espaiades i de més forta intensitat (Llebot et al., 2002). Això porta a estimar que en les zones costaneres, amb una confiança de mitjana a alta, augmentarà el risc d'inundacions, una pèrdua de zones humides i un major risc d'erosió (Albritton et al., 2003).

Un altre possible escenari seria el canvi dels usos del sòl naturals. És d'esperar que amb un augment de les temperatures junt amb un desajust pluviomètric les zones de bosc mediterrani pugin a cotes més elevades, i les cotes més baixes s'enriqueixin en plantes de matollar (Llebot et al., 2002), ja de per si menys protectores del sòl.

Un altre escenari a tenir present és el que s'esdevindria d'una proliferació no controlada de camins forestals no pavimentats. Aquest cas no és del tot hipotètic ja que s'ha pogut comprovar *in-situ* la presència de camins, pistes forestals i tallafocs amb un estat de degradació important. De totes maneres aquest es tracta detalladament en l'apartat d'erosió antròpica dins aquest mateix capítol.

TAXES D'EROSIÓ MITJANÇANT MESURES DIRECTES

Les mesures directes d'erosió (o acumulació) mitjançant claus d'erosió donen també taxes d'erosió en tn/ha/any. Aquestes però, es refereixen tant en l'erosió laminar (claus situats en *interrill*) com en la concentrada formant xaragalls (claus situats en el *rill*). Les mesures en mm/ Δ temps, suposant una densitat mitjana del sòl de 1,35 g/cm³, es transformen en taxes d'erosió expressades en tn/ha/any. El fet que aquestes mesures directes tinguin en compte l'erosió concentrada, pot arribar a suposar quatre vegades més de pèrdua de sòl entre les dues metodologies aplicades (Crouch, 1990).

Els resultats de les 4 primeres mesures (anys 1990-1992) just després de l'incendi o de la creació del tallafoc i la realitzada al cap de 13 anys un cop recuperada la vegetació en les zones cremades s'han presentat a les taules de 7.8 a 7.12.

De l'anàlisi de les dades mitjanes d'erosió mitjançant la mesura de les diferències microtopogràfiques amb agulles o claus "Leopold" se'n desprenen una sèrie de conclusions:

- En les zones cremades, durant els primers estadis erosius, en què el sòl ha patit una desestructuració i està descobert de vegetació, és quan les taxes d'erosió són més elevades. Aquestes oscil·len entre 30,39 i 125,97 tn/ha/any de mitjana. Dades similars, en quant a ordre de magnitud, a les que es presenten a Marqués & Mora (1992). La mitjana més elevada (125,97) és la de l'estació 3, en què els claus es van col·locar sobre sauló i en un talús de fort pendent; i la més baixa (30,39) és a l'estació 4, amb un pendent més moderat. De totes maneres en altres estacions s'assoleixen valors puntuals de fins a 239,83 tn/ha/any, coincidents en zones dins dels *rills* o xaragalls.
- En aquestes mateixes zones cremades en les quals ha sigut possible la recuperació d'alguna de les agulles, al cap 13 anys (4861 dies), es pot apreciar que la diferència total en mm en gairebé totes les agulles ha devallat des de l'última mesura l'any 1992. Aquest fet fa que la mitjana de la diferència total en els 13 anys sigui menor que en els primers anys després de l'incendi. Com a conseqüència es veu una davallada molt important en totes les taxes d'erosió mitjana, oscil·lant entre les 6,08 i 11,71 tn/ha/any (recordem que la FAO les considera com a acceptables). Aquesta disminució de les taxes erosives és la conseqüència d'una acumulació de sòl. Aquesta ha sigut possible gràcies a la bona recuperació de la vegetació en les zones estudiades. Cal recordar que en l'estació 4 no fou possible la recuperació de cap agulla per l'excessiva vegetació i possiblement el colgament d'aquestes. Aquesta conclusió es corrobora en Trabaud (2002) on demostra que, en un ecosistema forestal mediterrani, un any després de la pertorbació apareixen un 75% de les espècies anteriors a l'incendi, dos

anys després més d'un 80% i en aproximadament 10 anys apareixen el 100% d'espècies.

- Cas molt diferent i més preocupant és l'estació de control número 6 de Tossa de Mar. Aquesta està situada en una zona de fort pendent dins el tallafoc que encercla el càmping Can Samada. Ja d'entrada la diferència mitjana durant els dos primers anys fou de 33,42 mm, suposant una taxa de 171,72 tn/ha/any (12,72mm/any), molt per sobre de les mitjanes durant el mateix període en les zones cremades. Aquestes dades es poden haver vist magnificades pel fet que per fer el tallafoc es va emprar maquinària pesant arrasant fins i tot les soques dels arbres i arbustos, i també pel fet de tenir un pendent acusat i una longitud de vessant de més de 150 metres.
- L'estació situada dins el tallafoc ha mantingut les taxes d'erosió durant els 13 anys següents ja que el tallafoc s'ha anat *netejan*t de vegetació per acomplir llur finalitat. En aquest cas s'han trobat dos claus clavats i un de caigut, tots tres en l'*interrill*. Aquest claus trobats donen la referència de l'erosió mínima, mitjana de la qual és de 119,49 tn/ha/any. De totes maneres aquesta podria haver sigut molt superior pel fet que com a mínim s'ha trobat un clau caigut. Aquesta taxa podria ser de 172,15 tn/ha/any durant els 13 anys però com que es desconeixen les causes de la seva caiguda (podria haver estat per la pròpia tasca de neteja) no s'ha tingut en compte.
- Segons les dades dels punts anteriors se'n pot extreure que les taxes d'erosió es mantenen sempre i quan es mantingui el sòl descobert de vegetació, tal com succeeix en un tallafoc, o com es veurà més endavant, en una pista forestal. En el cas d'un ambient més natural en què hi ha actuat el foc, les condicions naturals es restableixen i per tant es redueixen les taxes d'erosió a nivells tolerables segons la FAO.
- A banda de les taxes d'erosió, indicatives de la magnitud d'aquesta problemàtica alhora que bons índex per comparar zones diferents, cal comentar i fer referència al percentatge de sòl erosionat respecte al que hi havia en un estadi prèvia pertorbació. Per manca de dades inicials no s'ha pogut valorar aquest percentatge però s'ha pogut constatar en molts llocs del tallafoc de Tossa de Mar que l'erosió ha estat del 100%. Aquestes zones són les que se sap del cert que hi havia existit un sòl i que avui dia surt la roca aflorant. Aquestes situacions fan que les taxes d'erosió deixin de tenir sentit ja que són zones sense sòl per poder-se erosionar i per tant són les zones de més gran impacte. Un cas d'aquests s'il·lustra a la figura 7.13.

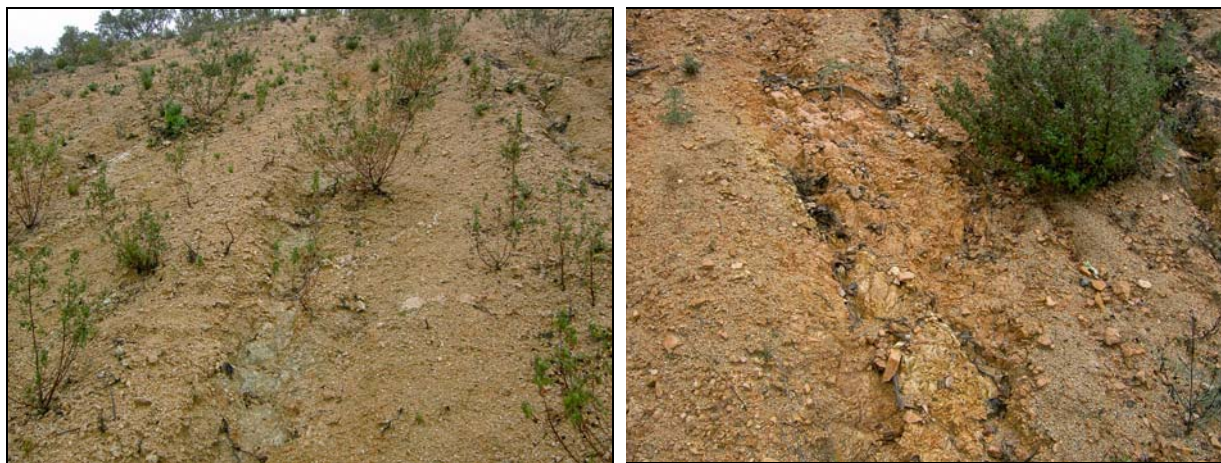


Figura 7.13.- Sòcol aflorant als xaragalls del tallafoc de Tossa de Mar

7.2.- Erosió antròpica

L'erosió és un procés geològic extern que es dona de forma natural, controlat bàsicament pels factors meteorològics, litològics, tipologia de sòl, coberta vegetal i de relleu, entre d'altres. De totes maneres aquest procés es pot veure condicionat per l'acció humana directa sobre el territori.

A l'àmbit d'estudi on s'està treballant s'ha detectat una sèrie de factors, propiciats bàsicament per les activitats de l'home, els quals magnifiquen aquest procés. Bàsicament aquests són els que d'una manera o altra posen al descobert el sòl, el qual sense protecció, afegint que en general és un territori amb pendents mitjanes ponderades d'entre 17 i 39%, pateix fortament l'erosió. Ens referim a la creació de les pistes forestals o tallafocs, els incendis i l'extracció de material del subsòl per a la construcció. En aquest cas s'ha volgut incidir en l'estudi de l'erosió provocada pels camins rurals, aspecte poc tingut en compte en la gestió del medi natural tot i que ja valorat en alguns estudis (Jardí et al., 1996; Fransen et al., 2001; Gruszowski et al., 2003; Megahan, 1983; Megahan et al., 2001 i Wemple et al., 2001).

7.2.1.- Erosió per camins forestals

Fins ara el càlcul mitjançant mesures indirectes de l'erosió hídrica laminar, efectuada aplicant la USLE, bàsicament tenia en compte les característiques naturals de l'àmbit d'estudi i només per al factor de protecció de la coberta de sòl, C, i pel factor de l'aplicació de pràctiques de conservació, P, s'ha tingut en compte l'activitat humana sobre el territori. Val a dir que per a tots

els estudis consultats sobre l'aplicació d'aquesta metodologia, només en la categoria de zones cremades, en la C, es té en compte els impactes antròpics.

Fruit de les nombroses sortides a camp, a través de camins forestals, ens vam adonar del gran malmenament que es produeix degut a la pluja torrencial d'aquest territori. Solcs de més d'un metre de fondària (Figura 7.14) ens van fer decidir en la possibilitat d'avaluar quin impacte produeixen els camins forestals que no estan asfaltats en la dinàmica erosiva dels vessants i en la quantitat de sediments de les rieres que provenen d'aquests camins forestals.



Figura 7.14.- Xaragall d'1,05 m en el camí forestal paral·lel al tallafoc de Tossa de Mar

7.2.1.1.- Descripció morfològica dels efectes erosius en els camins

Els tipus de camins considerats en aquest apartat són els que poden desenvolupar greus processos d'erosió. En aquest sentit bàsicament s'han tingut en compte els camins rurals i forestals no pavimentats ja que sense la protecció de l'asfalt el procés erosiu es pot donar en tota la seva amplada en forma d'erosió laminar o concentrada formant reguerons i xaragalls. En aquesta anàlisi s'han inclòs també els camins de desembosc per les pràctiques de silvicultura.

A banda de l'erosió directa, en tota l'amplada dels camins considerats com a conseqüència de la desprotecció del terreny, destaquen altres processos erosius. Aquests són els xaragalls que es formen en les cunetes, sobretot a la banda que dóna pendent amunt, petits moviments en massa que es donen per la desestabilització dels talussos dels camins així com la incisió de

petites torrenteres perpendiculars als camins, activades per la modificació de llurs perfils de base. La descripció detalla d'aquests processos es pot consultar en Wemple et al. (1996 i 2001). A la figura 7.15 s'ha volgut presentar a tall d'esquema-resum els principals processos erosius associats als camins forestals.

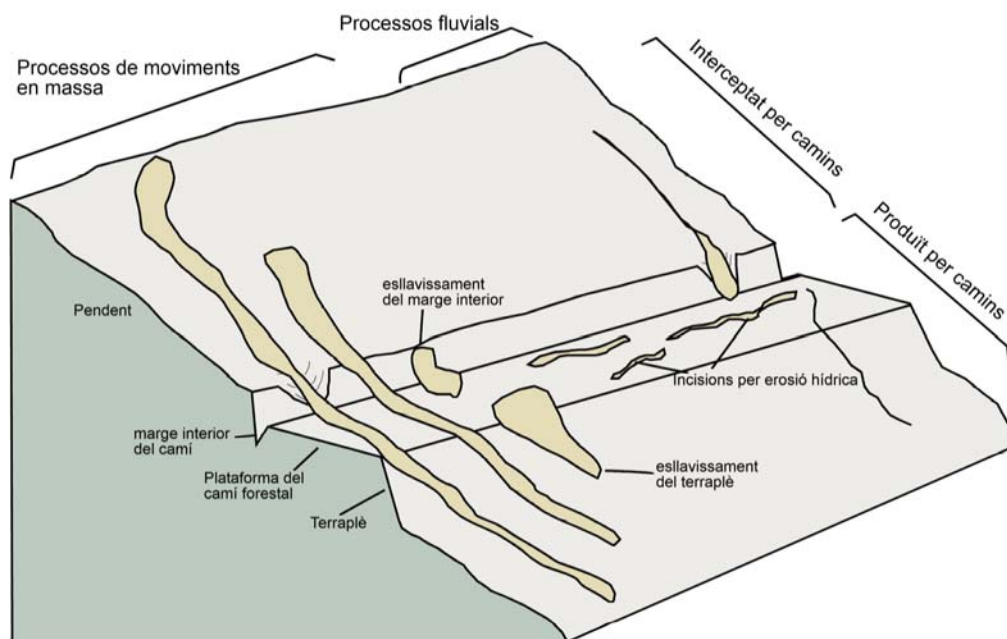


Figura 7.15.- Esquema dels diferents tipus d'erosió més comuns associats als camins forestals (segons Wemple et al., 2001)

Aquests últims processos en bona part també es poden donar en vies asfaltades, però com que aquestes solen ser d'entitat més important aquests processos estan més controlats amb mesures protectores (malles en els talussos, cunetes formigonades, desguassos, esculleres, entre d'altres). Per aquests motius en l'anàlisi de l'erosió hídrica que es presenta en l'apartat següent només s'han tingut en compte les vies amb ferm de terra.

Pel que fa a les característiques tècniques i nomenclatura de les vies emprades per al càlcul de l'erosió potencial per camins forestals en hem basat amb la descripció que fa el Decret 166/1998, de 8 de juliol, de regulació de l'accés motoritzat al medi natural:

- Camins forestals o vies de terra de circulació permanent que serveixen per a la gestió, la vigilància i la defensa de les forests, amb una amplada mitjana de plataforma de 4 metres, que formen la xarxa forestal bàsica.
- Pistes forestals o vies de terra connectades amb les anteriors, i de característiques similars, construïdes primordialment per al transport dels aprofitaments forestals, amb una amplada mitjana de plataforma de 3 metres, que formen la xarxa forestal secundària.

- Pistes de desembosc, les vies de terra i de circulació temporal exclusivament construïdes per al transport d'aprofitaments forestals, amb una amplada mitjana de plataforma de 2,5 metres.
- Camins rurals de circulació permanent construïdes per a la millora de les infraestructures agrícoles, ramaderes i forestals, d'unió entre infraestructures agrícoles, ramaderes i forestals, d'unió entre localitats o d'accés a cases o nuclis de població situats en zones rurals.

A banda d'aquesta descripció que fa la legislació vigent també s'ha tingut en compte les dades facilitades per tècnics dels consells comarcals de la Selva, Gironès i Baix Empordà. Aquests, en el moment d'efectuar aquesta tesi, estaven en el procés d'elaboració de la proposta d'inventari dels camins rurals i dels camins i pistes forestals que obliga la Llei 9/1995, de 27 de juliol, de regulació de l'accés motoritzat al medi natural (<http://ww2.grn.es/fmirall/lleiacc.htm>). Com a mínim les més estretes són les pistes de desembosc ja que la maquinària té una amplada mínima de 2,5 metres. Les d'amplada màxima són les pistes de 8 metres, previstes perquè hi puguin passar dos camions de bombers alhora i en sentit contrari. Des totes maneres, segons dades dels mateixos tècnics, la mitjana d'aquest grup de vials considerats és de 4 a 6 metres.

7.2.1.2.- Mesures indirectes

Ja des de mitjan anys setanta a Nova Zelanda s'està duent a terme diferents estudis referents a l'impacte erosiu dels camins en plantacions forestals (Fransen et al., 2001). Per exemple en Gruszowski et al. (2003) s'arriba a la conclusió que fins a un 30% dels sediments captats en trampes de sediments, al riu Leadon de Herefordshire (UK), deriven de camins rurals. En una regió amb una especial preponderància de materials granítics, com és el nostre cas, Megahan (1983) arriba a estimar una pèrdua mitjana d'11 mm/any en els camins forestals, a Idaho (USA), alhora que conclou que el factor que més influeix en aquest tipus concret d'erosió és el pendent (Megahan et al., 2001).

Per a l'estudi d'aquesta erosió antròpica i seguint una metodologia similar a la de la USLE, inicialment s'han analitzat mitjançant SIG les longituds d'aquests camins, respecte les dels cursos fluvials definits en l'anàlisi morfomètrica presentada en un capítol anterior, i les taxes d'erosió hídrica d'aquests camins. Tal com es demostra tot seguit, les taxes expressades en tn/any per als camins d'una determinada subconca, comparades amb les que s'obtenen seguint la metodologia més clàssica de la USLE per a tota l'àrea de la mateixa subconca, posa de manifest la gran importància que té el fet de tenir en compte el factor camí forestal o no.

Aquesta anàlisi concreta s'ha cregut convenient no fer-la extensiva en tot l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi i enfocar-la només per a dues subconques concretes. Per una banda perquè

aquesta anàlisi no pretén donar dades exactes d'erosió, si no que s'ha realitzat amb l'afany de donar dades comparatives entre diferents mètodes d'estudi d'erosió d'una zona concreta i per altra banda presentar una metodologia diferent de l'anàlisi d'aquesta variable geoambiental.

Per a la delimitació d'aquestes subconques s'ha aprofitat la tasca ja duta a terme per al càlcul hidràulic d'aquesta tesi i se n'han triat dues que tinguessin un alt percentatge d'ús del sòl *natural* (bosc, matoll o conreu). La seva situació així com els percentatges dels usos del sòl es mostren en la figura 7.16 i taula 7.15. La de més al nord és la subconca del Molí Cremat (conca de la riera de Calonge) i la de més al sud és la subconca de Can Patxot (conca del Ridaura).

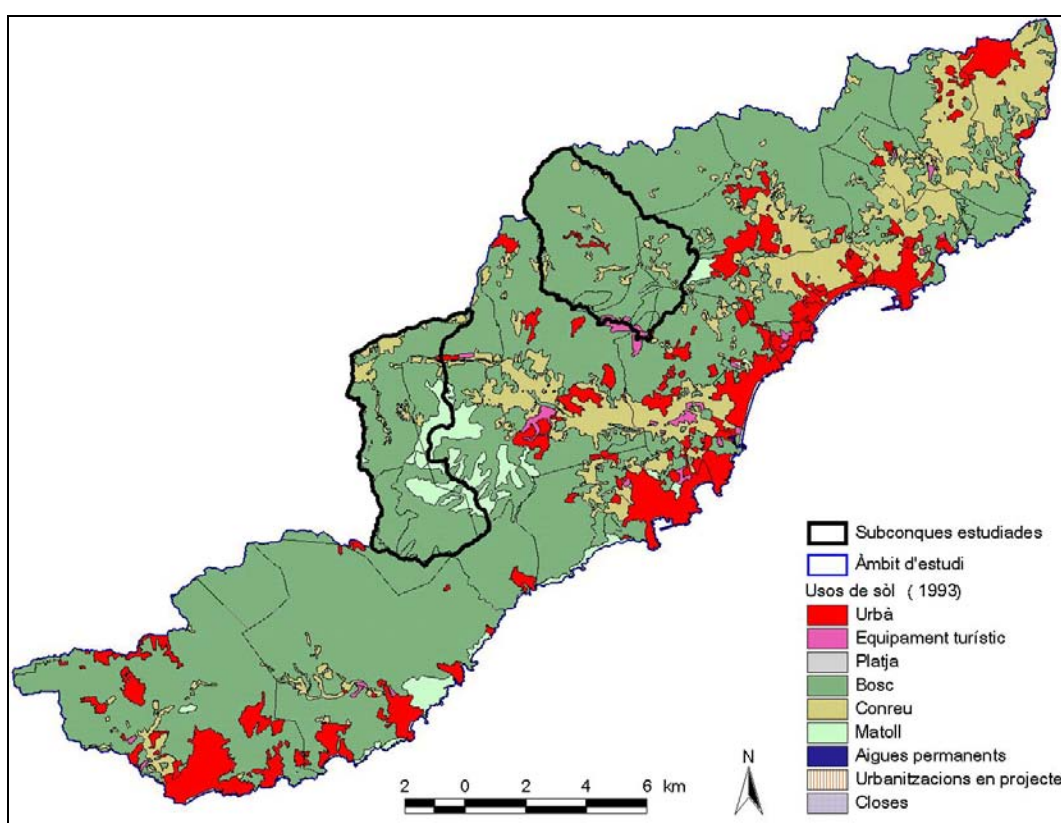


Figura 7.16.- Situació de les subconques estudiades per l'erosió de camins forestals (usos del sòl de Nuell, 2002)

Subconca del Molí Cremat (conca de la riera de Calonge)		Subconca de Can Patxot (conca del Ridaura)	
Ús de sòl	Percentatge en superfície	Ús de sòl	Percentatge en superfície
Urbà	1,082%	Urbà	0,140%
Equipaments	1,371%		
Bosc	92,212%	Bosc	77,151%
Conreu	5,317%	Conreu	8,452%
Matoll	0,018%	Matoll	14,257%

Taula 7.15.- Percentatges de la superfície ocupada per a tipologies d'ús del sòl de la subconca del Molí Cremat i de Can Patxot

Pel que fa a la cartografia dels camins considerats han estat extrets dels mapes topogràfics digitals de la base 1:5000 de l'ICC, amplada dels quals s'ha considerat l'exposada anteriorment. La cartografia de base representa els camins i pistes per elements lineals i en format vectorial. Per això primerament ha calgut preparar la informació digital d'aquests elements per tal d'integrar-los en l'estructura i metodologia del procés d'anàlisi automàtic del SIG, ja emprat per al càlcul potencial d'erosió hídrica mitjançant la USLE.

Aquest procés de transformació consisteix bàsicament en la conversió dels elements lineals en polígons i després convertir-los en format ràster (rasterització):

- Pas de línia a polígon: Creació d'un *buffer* de 2 metres al voltant dels elements lineals que representen els camins. En els de poca entitat en la base topogràfica estan representats per una sola línia, quedant així una amplada mitjana dels camins de 4 metres. Per a camins forestals no pavimentats representats per dues línies paral·leles el búfer també de 2 metres ha fet que representi una amplada mitjana de 6 metres aproximadament (2+2 metres per cada banda exterior de la doble línia i 2 metres per la franja interior de la doble línia).
- Rasterització: partint de les capes generades de cada un dels paràmetres de la USLE només cal canviar els paràmetres que determinen les característiques de la coberta del sòl. Es mantenen iguals els paràmetres referents a l'erosivitat de la pluja (R), erosionabilitat del sòl (K), factor longitud de la vessant (L) i factor pendent (S). Per al factor de la protecció del sòl s'ha considerat terreny nu (C=1) i cap pràctica de conservació del sòl (P=1). Un cop obtinguda la multiplicació dels paràmetres només ha calgut tallar aquesta capa per el polígon (*buffer*) de camins definit en el punt anterior.

D'aquesta manera l'anàlisi mitjançant la USLE només s'ha fet per les característiques concretes i en l'àrea que ocupen els camins forestals i rurals sense pavimentar. La metodologia i passos seguits per l'obtenció dels mapes i les taxes d'erosió han estat els mateixos que en l'apartats anteriors i el que han estat diferents s'acaben d'exposar.

7.2.1.3.- Mesures directes

Per a aquest apartat, el fet de no disposar de parcel·les experimentals preexistents sobre camins o pistes forestals no s'ha realitzat cap mesura directa. De totes maneres cal dir que els resultats de la parcel·la de can Samada (estació 6), presentat anteriorment en l'apartat d'erosió natural, podrien coincidir amb els que s'haguessin obtingut en un camí forestal. Cal tenir en compte que és una parcel·la amb condicions similars a aquesta tipologia de via, desprovista de vegetació per un intens i constant maneig de les màquines i no afectada puntualment per un incendi forestal com la resta de parcel·les (estacions 1, 2, 3 i 4).

7.2.1.4.- Avaluació dels resultats

- En les parts altes de les principals conques estudiades en aquesta tesi doctoral, pel fet que, per una banda, estiguin dominades per boscos i matollars propiciant la creació de camins i que, per altra banda, siguin zones de forts pendents amb tàlvegs d'ordre 1 a 3 i amb planes al·luvials incipients, fa que es pugui equiparar la longitud dels camins amb la xarxa hídrica. Aquesta afirmació queda palesa amb els resultats següents de les dues subconques estudiades (Taula 7.16).

	Subconca Molí Cremat (Calonge)	Subconca Can Patxot (Ridaura)
Àrea subconca (km ²)	20,86	22,08
Longitud xarxa drenatge (km)	109,4	115,7
Longitud camins (km)	107,9	175,1
% camins vs xarxa drenatge	49,7%	60,2%
Densitat xarxa drenatge (km/km ²)	5,24	5,24
Densitat camins (km/km ²)	5,17	7,93

Taula 7.16.- Taula resum de les característiques de les subconques estudiades

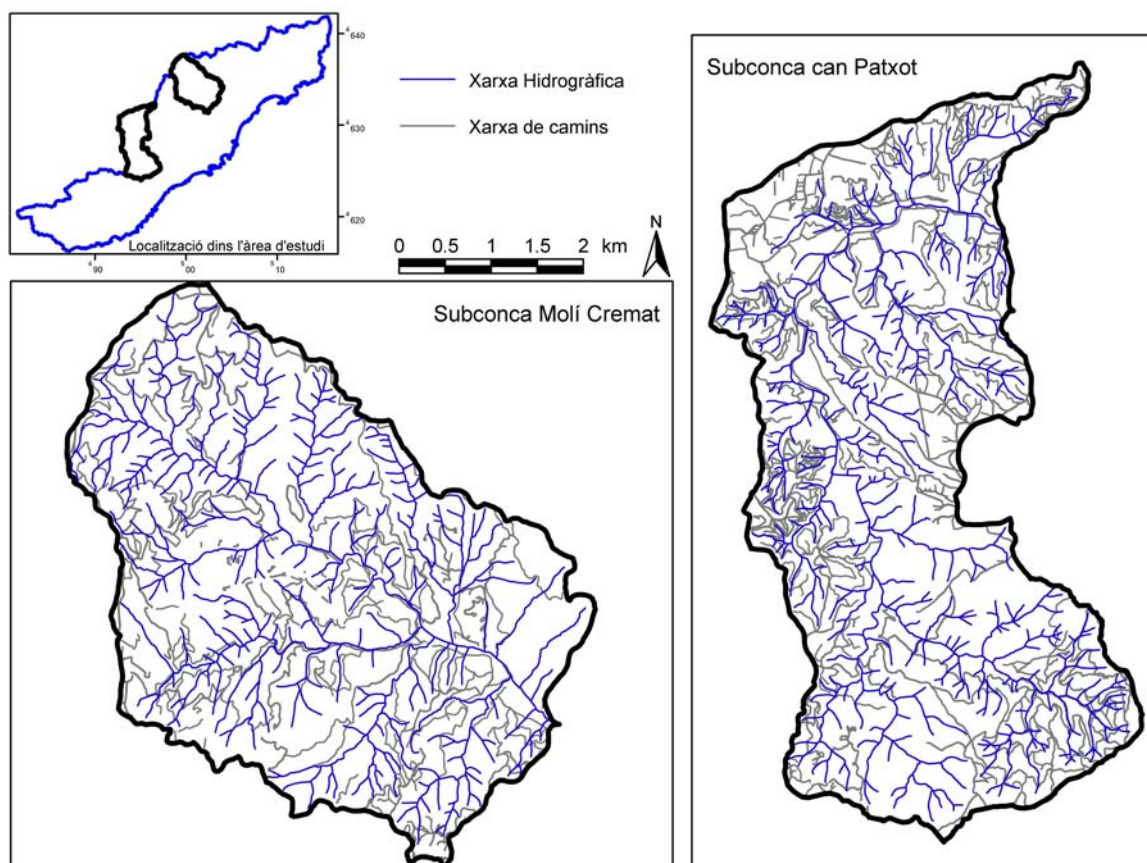


Figura 7.17.- Localització de la xarxa de drenatge i de camins de les subconques del Molí Cremat (riera de Calonge) i de can Patxot (Ridaura)

Només fent referència al càlcul de la longitud dels camins i comparant-la amb la xarxa hidrogràfica, ja és una dada prou significativa com per no menystenir l'impacte erosiu que poden provocar aquestes infraestructures "toves". El fet que els camins representin de

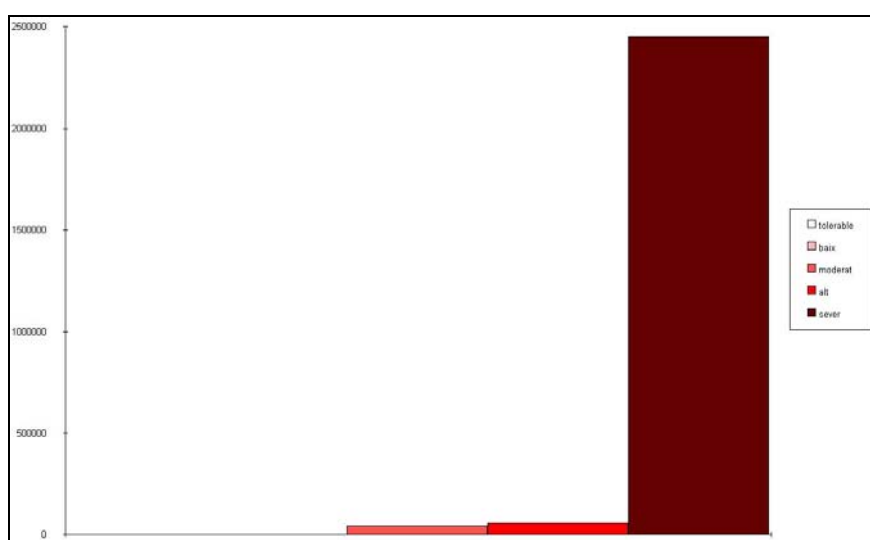
l'ordre d'un 50 a un 60% de la ratio amb la xarxa hidrogràfica fou un dels motius per valorar les taxes de denudació totals per les dues subconques.

A més a més les densitats de drenatge dels camins i de la xarxa hidrogràfica són equivalents, afirmació també compartida i demostrada en Wemple et al. (1996 i 2001). Cal tenir present que les densitats de drenatge naturals per ambdós subconques són majors que per les respectives conques (riera de Calonge i Ridaura) ja que, com s'ha apuntat anteriorment, són subconques de les parts altes de les rieres i que per tant les planes al·luvials hi són pràcticament inexistent.

- De cada una de les dues subconques analitzades el percentatge de cada interval de risc d'erosió potencial per a l'àrea ocupada per els camins es mostra en les següents taules. Els intervals d'erosió (tolerable: 0-3; baix: 3-5; moderat: 5-10; alt: 10-15 i sever: >15 tn/ha/any) es basen en la classificació que es dona en Stone & Hilborn (2000).

Interval de A (tn/ha/any)	Llegenda	Àrea (km ²)	Hectàrees	Percentatge respecte àrea total dels camins
0 – 3	Tolerable	0,0005	0,0470	0,07%
3 – 5	Baix	0,0019	0,1900	0,30%
5 – 10	Moderat	0,0109	1,0880	1,70%
10 – 15	Alt	0,0170	1,6990	2,66%
> 15	Sever	0,6092	60,8820	95,27%
Total		0,6395	63,9060	100,00%

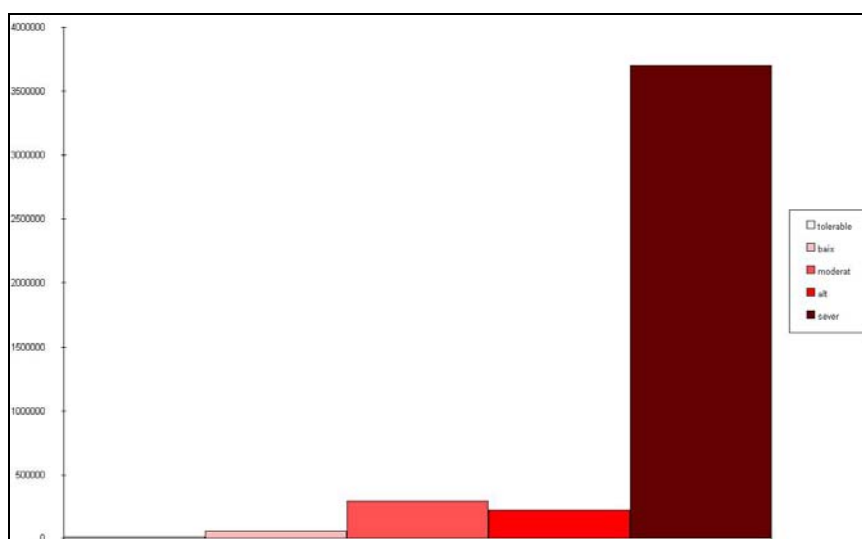
Taula 7.17.- Taula resum de l'àrea i percentatges per a cada interval de risc d'erosió potencial per els camins de la subconca Molí Cremat



Gràfica 7.3.- Histograma de distribució del nombre de píxels 0,5x0,5 metres de cada interval d'erosió potencial per els camins de la subconca Molí Cremat (tolerable: 0-3; baix: 3-5; moderat: 5-10; alt: 10-15 i sever: >15 tn/ha/any)

Interval de A (Tn/ha/any)	Llegenda	Àrea (km ²)	Hectàrees	Percentatge respecte àrea total dels camins
0 – 3	Tolerable	0,0085	0,8460	0,79%
3 – 5	Baix	0,0177	1,7660	1,65%
5 – 10	Moderat	0,0717	7,1600	6,69%
10 – 15	Alt	0,0526	5,2500	4,90%
> 15	Sever	0,9213	92,0410	85,97%
Total		1,0716	107,0630	100,00%

Taula 7.18.- Taula resum de l'àrea i percentatges per a cada interval de risc d'erosió potencial per els camins de la subconca de Can Patxot



Gràfica 7.4.- Histograma de distribució del nombre de píxels 0,5x0,5 metres de cada interval d'erosió potencial per els camins de la subconca Can Patxot (tolerable: 0-3; baix: 3-5; moderat: 5-10; alt: 10-15 i sever: >15 tn/ha/any)

Veient els histogrames i taules anteriors (Gràfiques 7.3 i 7.4 i Taules 7.17 i 7.18) es pot apreciar que d'entre un 85,97 i 95,27% de l'àrea que ocupen els camins en les dues subconques estudiades presenten unes taxes d'erosió **severes**, segons la classificació de Stone & Hilborn (2000). Els altres intervals es poden considerar gairebé despreciables. Aquestes dades només fan que corroborar que el fet de desprotegir el terreny de vegetació de forma constant provoca una greu erosió.

- A continuació, a la taula 7.19, es detallen les tones anuals de material erosionat, calculades mitjançant la USLE, que es mobilitzen per al total de la superfície de les dues subconques estudiades (primera columna) i les tones anuals de material erosionat per a les mateixes subconques però tenint en compte l'efecte de l'erosió en els camins (segona columna). També es presenta el percentatge que suposa l'erosió dels camins en tota la conca.

Subconca (hectàrees)	Tn/any (subconca)	Tn/any amb camins (camins)	% que representa l'erosió dels camins
Molí Cremat (2086,24 ha) (63,90 ha de camins)	51.188,63	59.245,35 (8.056,72)	13,60
Can Patxot (2207,60 ha) (107,06 ha de camins)	11.149,07	30.431,38 (8.133.24)	26,75

Taula 7.19.- Tones potencials d'erosió laminar per any per al total de la conca i el total dels camins, calculades mitjançant la USLE a les subconques del Molí Cremat i de Can Patxot

Comparant les àrees de les subconques es pot afirmar que gairebé són iguals, diferint només de 121,36 ha. De totes maneres les tn/any totals calculades per la USLE en tota la seva extensió són 4,6 vegades més per a la conca Molí Cremat que per la de can Patxot. Això es deu bàsicament al pendent més acusat i al sòl més vulnerable en la primera. Per tal de comparar més fàcilment aquests resultats es passen aquests valors a taxes d'erosió en tn/ha/any i mm/any (Taula 7.20).

Subconca (hectàrees)	Erosió subconca sense camins		Erosió subconca amb camins		Erosió dels camins	
	Tn/ha/any (subconca)	mm/any	Tn/ha/any amb camins	mm/any	Tn/ha/any dels camins	mm/any
Molí Cremat (2086,24 ha) (63,90 ha de camins)	24,54	1,82	28,40	2,10	126,08	9,34
Can Patxot (2207,60 ha) (107,06 ha de camins)	5,05	0,37	13,78	1,02	75,97	5,63

Taula 7.20.- Taxes en tn/ha/any i mm/any d'erosió laminar total de la conca amb i sense camins i taxa només per a camins, calculades mitjançant la USLE a les subconques del Molí Cremat i de Can Patxot

Comparant les taxes, d'entrada podem veure que l'aplicació de la USLE tenint en compte l'erosió dels camins no és menyspreable. En aquest sentit es pot afirmar que el fet de tenir en compte aquest factor antròpic millora notablement aquest mètode per a zones boscoses i amb pendents importants, com és el cas de la nostra àrea d'estudi. A més, com es pot veure en els percentatges, a on es nota més l'increment de les taxes tenint en compte aquest factor addicional és en conques on a priori donaria una taxa d'erosió potencialment baixa-moderada.

Si comparem les taxes entre subconques, les diferències que hi ha es deuen principalment als factors d'un major pendent i unes característiques del sòl que fan que l'erosionabilitat (factor K) sigui més acusada per a la subconca Molí Cremat.

En quant a l'erosió en els camins per el mètode directe de les agulles, el fet de considerar la mateixa taxa a tot arreu (171,72 tn/ha/any que s'obtenen en l'estació 6 de can Samada durant els primers 2 anys en el tallafoc), les tn/any totals seran majors a on l'extensió dels camins sigui major. Aquesta taxa correspon a 12,72 mm/any, dada molt similar als 11 mm/any que dóna Megahan (1983), o l'interval de 11,1 a 12,6 mm/any que dóna Crouch (1990). Per tant creiem que caldria destacar la similitud de taxes que dóna el mètode directe amb l'indirecte, essent sempre majors les del primer (Crouch, 1990; Ferre & Senciales, 1990).

Finalment per acabar, de la comparació dels diferents mètodes emprats podem extreure que s'ha posat en evidència la fragilitat del medi que estem analitzant i la importància que té la cobertura del sòl i la necessitat de la seva protecció per la conservació del sòl. Aquesta fragilitat ve determinada sobretot per les característiques de pendent i de l'erosionabilitat del terreny. Quan hi ha presència de vegetació, o aquesta es restableix després d'un incendi, s'ha demostrat en les estacions experimentals 1, 2 i 3 que les taxes disminueixen fins a nivells acceptables. Si aquesta cobertura continua inexistente, cas del tallafoc de Tossa de Mar o dels camins, les taxes d'erosió es mantenen. Això ha quedat constatat en l'aplicació de la USLE.

Si el que s'acaba d'exposar hi afegim la creació de camins o pistes forestals, l'impacte serà molt important al eliminar de forma irreversible el factor protector. Els efectes principals són la incisió de les aigües d'escolament, despreniments, pèrdues importants del material que conforma el sòl i, en conseqüència, una degradació ràpida del medi, la qual, sense cap control, pot començar a estendre's a les zones adjacents.

Com a futures actuacions per tal d'avaluar l'efecte que tenen els camins en l'erosió hídrica en el nostre àmbit d'estudi, caldria estudiar químicament els sediments de les rieres per tal de controlar l'origen d'aquests. En aquest sentit Gruszowski et al. (2003) avalua l'origen dels sediments a partir de l'anàlisi química del sediment, conclouent que els paràmetres que millor defineixen l'origen dels camins són Fe, Al, Cu, Na i ¹³⁷Cs. Aquests elements serien perfectament analitzables amb espectrometria d'emissió de plasma. De totes maneres alguns d'aquests elements poden variar en funció de les característiques naturals de cada conca, fet pel qual abans de qualsevol assaig caldria detectar possibles anomalies d'origen natural.

8.- PROCESSOS DE TRANSPORT-SEDIMENTACIÓ

8.1.- Significat geològic de les avingudes

Com ja s'ha comentat en la introducció d'aquesta memòria, la conca hidrogràfica actua com a un sistema natural obert, el qual depèn de diferents factors interrelacionats. Qualsevol alteració d'un d'aquests fa que el sistema també es vegi afectat, produint-se alguna modificació de la dinàmica o morfologia de la llera (Ayala et al., 1987). Per tant, aquest sistema delimitat per la divisòria d'aigües, actua com a un sistema procés-resposta autorregulat, en què qualsevol modificació en un punt determinat repercutirà en algun altre lloc de la conca.

El mecanisme d'autorregulació no només actua en els períodes més habituals d'aigües baixes sinó que en els moments puntuals d'aigües altes té mecanismes complementaris. Una plana d'inundació és una franja o superfície del terreny relativament suau, adjacent a la

llera, construïda pel propi riu i que s'inunda quan aquest sobrepassa els seus marges. Geològicament aquestes planes són efímeres, es construeixen i es destrueixen contínuament. Estan formades per materials al·luvials d'acreció vertical o lateral que es retreballen quan el riu migra lateralment o erosiona el seu canal. En el moment en què es produeix una avinguda, la geometria del canal es veu modificada, bàsicament en l'amplada, profunditat del canal i capacitat de transport dels sediments; per tant el que fa és adequar-se a un major gradient, per evacuar més eficientment el seu cabal, davant el que és l'habitual, més sinuós i de menor gradient, però suficientment eficient per a cabals menors.

Per tant les avingudes representen un fenomen lligat a la dinàmica fluvial: el riu desborda periòdicament del canal habitual per passar a ocupar la plana d'inundació. Aquesta plana allora compleix una triple funció:

- desallotjar un determinat volum d'aigua del canal principal en el moment de màxima avinguda, i per tant retardar la descàrrega, o el que és el mateix, emmagatzemar un volum d'aigua fent que el pendent de la corba de concentració i el pic d'avinguda de l'hidrograma disminueixin, fent allora que es presenti una base de temps més llarga i un cabal punta més retardat.
- actuar com a banc receptor de sediments,
- i des d'un punt de vista integrat, actuar com a mecanisme de renovació de l'aigua subterrània i dels nutrients dels sòls de les àrees inundables.

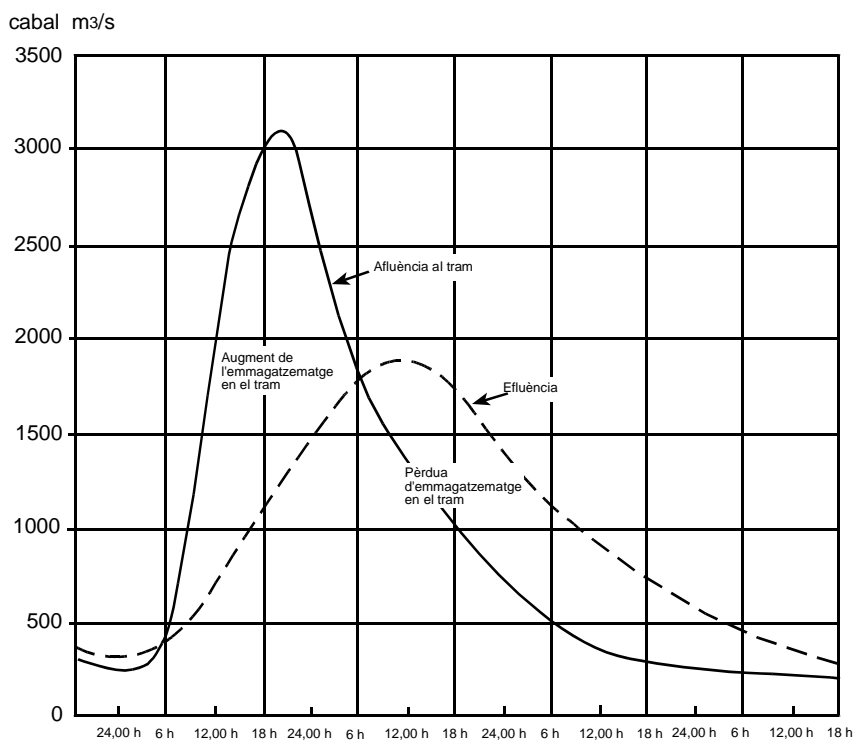


Figura 8.1.- Laminació de l'ona de creixuda (segons Ayala et al., 1987)

El primer dels punts anteriorment esmenats és el que es coneix com a laminació de l'ona de crescuda. En la figura 8.1 es poden observar els hidrogrames tipus d'un pic d'avinguda sense laminació o desbordament (en línia contínua) i d'un pic d'avinguda amb laminació o desbordament (en línia discontinua). Per a poder comparar-los s'ha de suposar un mateix volum d'aigua emmagatzemat en el tram estudiat, o el que és el mateix, una mateixa àrea. Si no desborda tot aquest volum queda concentrat dins del canal, en un temps de concentració més curt, amb més velocitat i força de tracció de sediments, i el que és més important, un cabal punta major que es desplaçarà riera avall.

En el cas en què l'aigua superi el límit de desguàs del canal, es produirà un desbordament cap a la plana d'inundació i per tant un emmagatzament en forma de làmina líquida que, encara que de molt petita alçada, reté temporalment un volum relativament gran, que serà retornat de manera pausada durant la corba de descens de l'hidrograma o en la corba d'esgotament a través de les aigües subterrànies.

D'aquesta manera, tot i que d'entrada el fet de desbordar sembli pitjor en quant a risc potencial, fa que el cabal punta sigui menor i més retardat en el temps, i per tant una disminució del risc aigües avall. Segons el gràfic anterior, tot el volum (àrea) que queda sota el pic d'avinguda primer, és igual al volum (àrea) que queda sota la corba de descens.

8.2.- Característiques hidrològiques-hidràuliques

Dins els processos de transport, la avingudes fluviotorrencials suposen el risc natural més comú del planeta (Ayala & Olcina, 2002). Aquestes constitueixen un fenomen esperat alhora que temut, ja que per una banda resulten necessàries per el correcte funcionament de molts ecosistemes fluvials, assegurant l'abastament hídic en zones humides, o fertilitzant els sòls adjacents; i per altra banda és un fenomen temut per les greus pèrdues econòmiques i humanes que poden arribar a ocasionar. En realitat és una qüestió d'un llindar entre el que és necessari i el tolerable. En el fons és la doble faceta de l'aigua, la de recurs i la de risc.

En el moment en què s'analitza com a risc, és de vital importància tenir en compte la presència de l'home i el marge de tolerància a l'excés d'aigua (Ayala & Olcina, 2002). En apartats anteriors s'han analitzat les conques hidrogràfiques més rellevants de l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi, ja sigui per l'extensió o per la important ocupació de les zones més baixes d'aquestes. Fins ara aquestes anàlisis han fet referència a l'ocupació del territori, aspectes morfològics relacionats amb les característiques hidrològiques de les conques o el risc d'erosió. Tot i aquesta anàlisi acurada del medi, es fa necessària l'estimació de les

avingudes màximes que es poden esperar en diferents punts de la llera, motiu pel qual és un dels objectius principals d'aquest apartat.

La importància d'aquesta problemàtica en el nostre àmbit d'estudi queda palesa en els objectius i tasques que s'estan realitzant a l'Àrea de Planificació Sectorial d'Aigües Fluvials del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat. En aquest sentit es tenia previst per a l'exercici de 2003 la realització dels estudis de Planificació dels Espais Fluvials (PEF) de les anomenades Rieres Costa Brava Centre; la riera de Tossa, el Ridaura, la riera de Calonge i l'Aubi, constant d'un total de 29 quilòmetres. Aquests estudis no estan acabats ni aprovats. Tampoc no s'ha realitzat cap delimitació hidràulica per a diferents períodes de retorn per a la redacció del Pla INUNCAT. Solament la definició, regional i de poc detall, de les zones inundables i de punts crítics basant-se només amb criteris geomorfològics. Queda per tant demostrada la clara necessitat de fer una anàlisi de les característiques hidrològiques-hidràuliques de les principals rieres del nostre àmbit d'estudi per a la contribució de l'estudi de les variables geoambientals a la Costa Brava.

8.2.1.- Estimació dels cabals màxims d'avingudes

Sense la quantificació d'un cabal màxim esperat per a una freqüència mitjana determinada, no es podrà avaluar aquesta problemàtica ambiental definint un risc ja que aquest concepte porta inherent la probabilitat que aquell esdeveniment es produeixi. Per aquest motiu, a continuació es presenten els resultats obtinguts pel que fa a dades de cabals, la delimitació del seu abast en la plana d'inundació i les principals seccions, com a factors més a tenir en compte a l'hora de fer una planificació de l'espai contigu a la llera de la riera.

En l'estimació d'avingudes màximes, s'anomena període de retorn (T) a la freqüència mitjana determinada. Aquestes estimacions es fan molt útils quan no es disposen de dades històriques de cabals de la mateixa conca. La metodologia emprada ha seguit dues línies, bàsicament per aplicar diferents mètodes i d'aquesta manera poder veure i discutir les diferències entre elles i adoptar la que més s'ajusti a la realitat.

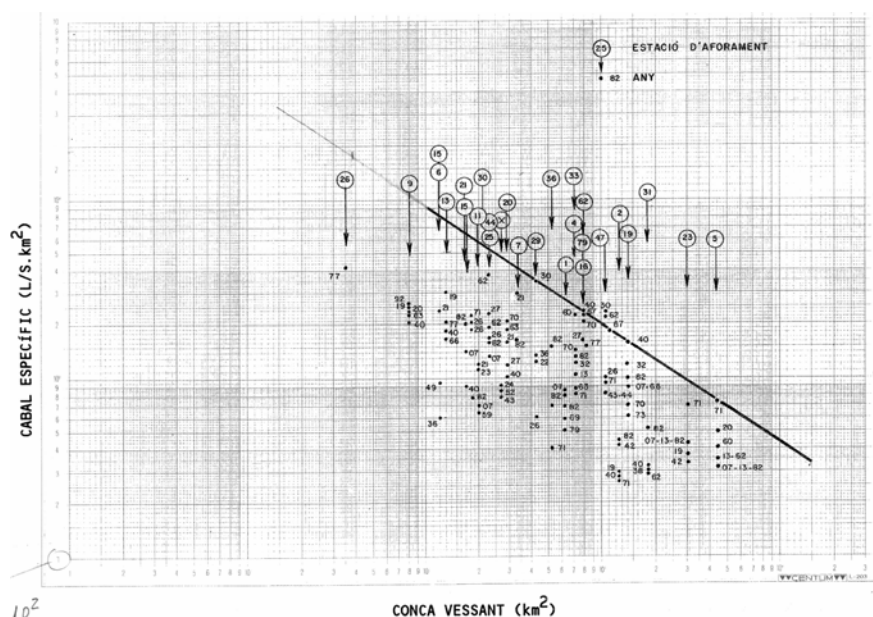
8.2.1.1.- Mètodes directes segons dades de cabals observats

L'estimació directa del cabal, o cabal per unitat de superfície, emprant dades empíriques de la regió on es localitza l'àmbit d'estudi, és menys precís que altres mètodes (Ayala & Olcina, 2002). Tot i això, permet donar unes estimacions més ràpides, servint per orientar-se i també per a valorar, des d'un punt de vista més general, els resultats obtinguts amb els mètodes posteriors, després de diverses hipòtesis sobre la puja i l'escolament (Junta

d'Aigües, 1994). Tot i la menor precisió s'ha cregut convenient presentar aquesta metodologia i els resultats que se'n deriven per el cas concret de la conca de la riera de Tossa. Per una banda servirà per descriure un ventall més ampli de mètodes i per altra banda servirà per la utilitat que té en casos en que només es busca una aproximació ràpida sense afany de fer una anàlisi exhaustiva d'una conca qualsevol.

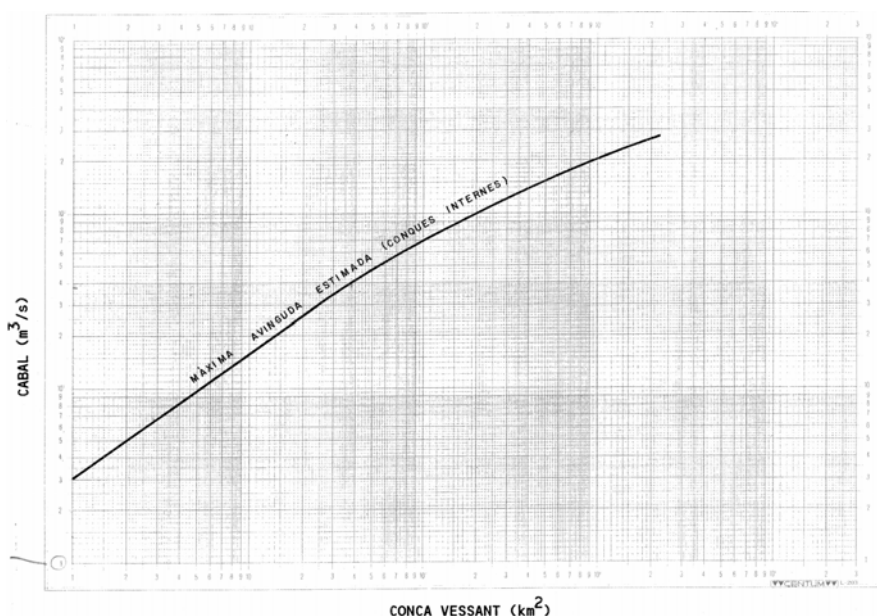
8.2.1.1.1.- Envoltants

López Bustos l'any 1980, a *Antecedentes para una Historia de las Avenidas en los Ríos del Pirineo Oriental*, és la referència al nostre país en la publicació de gràfics logarítmics de cabals específics ($m^3/s \cdot km^2$) màxims observats a diferents estacions d'aforament, enfront de l'àrea de la seva conca (km^2). A més, va fer notar que el límit superior de punts s'ajusta a una recta, anomenant-la recta de les envoltants. Aquest gràfic, corba envoltant d'avingudes màximes observades al vessant de les conques internes, es presenta a continuació (Gràfica 8.1).



Gràfica 8.1.- Corba envoltant d'avingudes màximes observades al vessant de les conques internes. Segons Junta d'Aigües, 1994

Aquest estudi es va completar per M. Novoa al "Plan Hidrológico del Pirineo Oriental" del 1985, deduint les corbes *cabal* (m^3/s) - *àrea de la conca* (km^2). En la corba de màxima avinguda estimada per a la vessant de les conques internes de Catalunya, presentada a la gràfica 8.2, es pot veure que descriu una recta semilogarítmica del tipus $Y=aX^b$:



Gràfica 8.2.- Corba de la màxima avinguda estimada a les vessants de les conques internes. Segons Junta d'Aigües, 1994.

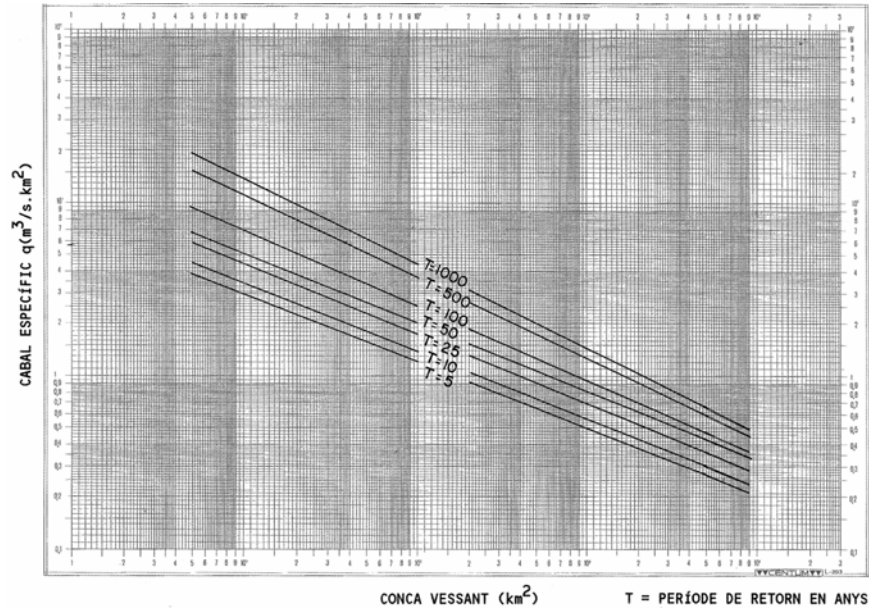
Les estimacions que dona aquest mètode són, en general, massa grans (Junta d'Aigües, 1994) ja que el període màxim en que es basen aquests gràfics és menor a 250 anys, les avingudes més baixes en aquests gràfics són degudes moltes vegades a falta de dades i, en general, no s'han estudiat prou històricament. Aquests fets fan del tot imprescindible emprar algun altre mètode supletori per a qualsevol mena d'estudi hidràulic i només serveix per poder fer una primera aproximació.

8.2.1.1.2.- Corbes empíriques. Relació cabal específic-àrea-període de retorn

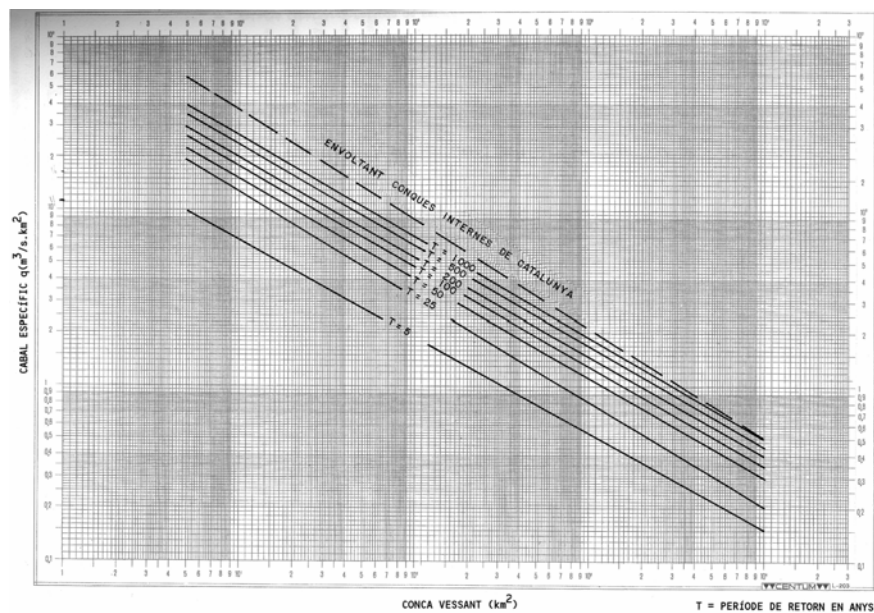
Nombrosos estudiosos i científics de la vessant de la hidrologia i hidrogeologia han volgut correlacionar les avingudes màximes segons l'àrea de la conca. Un dels primers científics a apuntar la relació del tipus $Q=aA^b$ fou Dickens a l'any 1865. Aquesta equació indica l'estreta relació entre l'àrea **A** i el cabal **Q**. Com que el cabal de drenatge incrementa a una taxa menor que l'àrea de drenatge, l'exponent **b** sol estar entre els valors de 0,5 i 0,8 (Strahler, 1981). En el nostre país, les corbes empíriques dels estudis de Heras (1976) en són un referent. Féu una estimació per a cada zona hidrogràfica, distingint segons el període de retorn considerat.

A les gràfiques 8.3 i 8.4, es donen els que en Heras (1976) es va proposar per a les conques internes de la vessant litoral de Catalunya. La primera per a les conques internes en general, i la segona per a conques internes però de rius torrencials. Aquestes tenen l'avantatge, respecte les de l'apartat anterior, de precisar els diferents períodes de retorn, però encara tenen l'inconvenient de no distingir zones de distinta pluviometria dintre d'una

mateixa zona hidrogràfica. Aquest inconvenient és especialment rellevant per a la conca de l'Ebre, que comprèn àrees de gran heterogeneïtat pluviomètrica. En el cas de les conques de l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi, al pertànyer al litoral de Catalunya, aquesta estimació és per defecte (Junta d'Aigües, 1994).



Gràfica 8.3.- Relació Cabal-Període de retorn, segons Heras (1976). Vessants de les conques internes. Segons Junta d'Aigües, 1994.



Gràfica 8.4.- Relació Cabal-Període de retorn, segons Heras (1976). Vessants de les conques internes per a rius torrencials. Segons Junta d'Aigües, 1994.

A continuació es mostra a les taules 8.1 i 8.2 els resultats d'interpol·lar l'àrea de la conca de Tossa, per als diferents períodes de retorn, amb els gràfics corresponents.

Període de retorn (T, anys)	Cabal a la desembocadura de la riera de Tossa (m ³ /s)
50	115,74
100	146,60
500	223,76

Taula 8.1.- Cabals per a la conca de la riera de Tossa segons la gràfica “Relació Cabal-Període de retorn, segons Heras (1976). Vessants de les conques internes, en Junta d’Aigües, 1994.

Període de retorn (T, anys)	Cabal a la desembocadura de la riera de Tossa (m ³ /s)
50	270,06
100	316,36
500	424,38

Taula 8.2.- Cabals per a la conca de la riera de Tossa segons la gràfica “Relació Cabal-Període de retorn, segons Heras (1976). Vessants de les conques internes per a rius torrencials, en Junta d’Aigües, 1994.

En Junta d’Aigües (1994) es realitza una anàlisi de l’apartat “Pequeñas Cuencas”, fet al Pla Hidrològic del Pirineu Oriental del 1985, juntament amb la revisió dels gràfics anteriors. Es conclou que la majoria de rius d’aquesta vessant del litoral segueixen un model similar al de la gràfica 8.4, l’estimació òptima de la qual és, per rius torrencials:

$$Q^{500} = 88.86 \cdot S^{-0.57}$$

on:

Q^{500} = cabal específic (m³/s*km²) de 500 anys de període de retorn

S = àrea de la conca (km²)

Per tant segons la fórmula anterior, per a T=500 anys, s’estima un cabal específic de 11,08 m³/s*km² i un cabal punta a la desembocadura de la riera de Tossa de 426,7 m³/s.

Un altre cop es pot extreure d’aquesta metodologia que els resultats són una aproximació al potencial pic d’avinguda i òbviament al no haver dins seu la possibilitat de diferenciar variables climàtiques i morfomètriques, en qualsevol estudi caldrà contrastar aquestes dades amb altres mètodes.

8.2.1.2.- Mètodes indirectes

Fins ara els diferents resultats obtinguts per mitjà de mètodes d'estimació directa segons dades observades no tenen en compte característiques intrínseques de la conca ni característiques locals referents a la meteorologia. Dins els mètodes indirectes existeixen dues tendències en l'estudi hidrològic de les avingudes: una determinista que es basa en fenòmens passats com a condicionants del comportament present i futur, estudiant aquest procés natural a partir de relacions matemàtiques; i una altra estocàstica, que partint del caràcter aleatori del fenomen, proposa funcions analítiques a un conjunt d'observacions prèvies per predir valors futurs de cabals.

8.2.1.2.1.- Fórmules empíriques

A banda de les diferents gràfiques anteriorment presentades, fruit de la interpolació de dades observades directament, hi ha hagut també molts autors que han desenvolupat un seguit de fórmules empíriques. Malgrat els esforços per fer aquestes fórmules degut a la gran escassetat de dades sobre cabals màxims i sobre pluges, molts autors ja fan notar la necessitat de comparar en cada cas els resultats amb altres informacions locals existents (Junta d'Aigües, 1994 i Ayala & Olcina, 2002). El motiu són que aquestes tenen incorporats models qüestionables tipus "caixa negra" prescindint dels coneixements dels processos hidrològics intencionalment de la conca. Per aquest motiu només s'ha volgut fer una enumeració de distintes fórmules empíriques, de les que destaquen les següents:

Fórmula de Fuller:

$$Q = N \cdot 0.013 A^{0.8} (1 + 0.8 \log T) (1 + 2.66 A^{-0.3})$$

Fórmula de Creaguer:

$$Q = C \cdot 0.0176 \cdot A^{0.5} \left[\frac{2 - e^{-0.33 A^{0.3}}}{3} \left(1 - \frac{\log 0.1T}{3} \right) + \frac{\log 0.1T}{3} \right]$$

On:

Q és en metres cúbics per segon,

A és l'àrea de la conca en quilòmetres quadrats,

T és el nombre d'anys, $C=6.000$, i

N una constant dependent de les característiques de la conca.

Avui dia aquestes fórmules resulten ineficients ja que tenen massa coeficients amb una estructura de difícil optimitzar per tal d'ajustar-les a les dades d'una conca (Junta d'Aigües, 1994).

En altres publicacions, Creaguer proposà:

$$Q = C \left(\frac{A}{2.59} \right)^{0.936} A^{-0.048}$$

Aquesta, però, resulta ser molt perillosa perquè minimitza l'efecte de l'augment del cabal específic quan l'àrea disminueix, com s'ha vist en l'apartat de la corba de les envoltants. Altres a destacar per la seva difusió i per tenir similituds als resultats trobats a les conques internes de Catalunya són la de Myers, Zapata, González Quijano o la de Vilaró (Junta d'Aigües, 1994).

8.2.1.2.2.- Mètodes hidrometeorològics. Mètode Racional

Els mètodes hidrometeorològics obtenen resultats després de diverses hipòtesis sobre la pluja i l'escolament basats en models determinístics més o menys complexes. En aquest cas, aquest mètode és fàcilment utilitzable ja que les pluges a Catalunya són ben conegudes a partir de les nombroses estacions meteorològiques repartides per tot el seu territori i gràcies a l'existència de nombroses publicacions referents a informació del terreny (mapes de vegetació, geològics, entre d'altres).

Malgrat haver varis tipus de mètodes hidrometeorològics, com ara el SHE, HSPF, hidrograma unitari o el d'avinguda màxima probable (PMF), el mètode que ha rebut més atenció recentment per tal d'estimar els cabals màxims a partir de les dades pluviomètriques per a un determinat període de retorn, és l'anomenat *Mètode Racional* (Acebillo & Folch, 2000; López, 2001; Ayala & Olcina, 2002; Rico & Benito, 2002; i Montalbán et al., 2003). Per això i pel fet que sigui un mètode senzill i basat en variables que són fàcilment integrables en un SIG, en aquesta tesi s'ha decidit treballar amb aquest mètode per estudiar aquest procés geològic. L'aplicabilitat i validació d'aquest mètode, comparant-lo amb altres estudis fets en el mateix àmbit geogràfic es veu en l'apartat de resultats.

Segons aquest, el cabal esperat corresponent a un període de retorn determinat, es troba a partir de la següent fórmula:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} \cdot K$$

on:

- **Q** és el cabal buscat en m³/s
- **A** és l'àrea de la conca en km²

- **I** és la màxima intensitat mitjana de la pluja en mm/h, durant un temps igual al temps de concentració " T_c " de la conca, amb el mateix període de retorn que el del cabal buscat.
- **T_c** o temps de concentració de la conca, en hores, és el temps que tarda en arribar al punt on s'estudia el cabal, una gota d'aigua caiguda al punt més allunyat de la conca.
- **C** és un coeficient denominat coeficient d'escolament, que determina la part de la pluja màxima ($I \cdot A$) que arriba al punt estudiat, en el moment de màxim cabal.
- **K** és un coeficient d'uniformitat que el CEDEX (Témez, 1982) ha pogut estimar experimentalment en:

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

Aquest mètode per a conques amb àrea superior a 3.000 km² perd en gran part el seu sentit i cal substituir-lo per uns altres de més treballosos, com el de les isocrones. Aquest límit havia estat situat en àrees no superiors als 500 km² però gràcies a la nova estimació experimental del coeficient d'uniformitat, ha permès estendre aquest límit fins a 3.000 km² com ara la conca del Llobregat. A banda de la consideració de l'àrea, per a conques on el temps de concentració és menor a 0,25 hores, el moviment de l'aigua d'escolament superficial fins a la llera, representa una proporció important de temps de concentració i el mètode no és del tot fiable (Témez, 1982).

Tenint en compte les consideracions abans esmentades, les conques hidrogràfiques estudiades semblen ser a priori idònies per aquest mètode ja que ni les àrees superen el llindar màxim ni els temps de concentració són menors a les 0,25 hores.

En els apartats que es presenten a continuació es descriu la metodologia seguida per calcular cadascun dels paràmetres del mètode racional.

8.2.1.2.2.1.- Temps de concentració

El temps de concentració, o temps que tarda una gota en recórrer la distància del punt més llunyà fins al punt estudiat, és una variable que depèn bàsicament de les característiques lineals de la llera, com és el pendent i longitud del curs principal, abastament tractat en l'apartat de descripció morfològica de les conques estudiades.

Existeixen diverses fórmules empíriques per estimar aquest temps en una conca petita, d'entre les que destaquen les proposades per:

- la fórmula de l'Estat de Califòrnia,

$$T_c = 0.066\left(\frac{L}{J^{1/2}}\right)^{0.77}$$

on:

T_c és el temps de concentració en hores

L és la longitud del curs principal en km

J és el pendent mitjà del curs principal en tant per 1

- la fórmula de l'US Soil Conservation Service (USSCS), que recomana estudiar els temps de concentració per trams, calculant la velocitat mitjana de l'aigua, suposant la llera plena, i sumant els diferents temps. Aquesta és:

$$T_i = \frac{L_i}{V_i}$$

on:

T_i és el temps que tarda l'aigua a recórrer el tram i , en hores

L_i és la longitud del tram i en km

V_i és la velocitat de l'aigua en el tram i en km/h

- la fórmula de Témez, publicada en Témez, 1982.

$$T_c = 0.3\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.76}$$

on:

T_c és el temps de concentració en hores

L és la longitud del curs principal en km

J és el pendent mitjà del curs principal en tant per 1

Al temps de concentració obtingut per a qualsevol dels mètodes anteriors, cal sumar-li el temps relativament petit (**tc**), que correspon a l'aigua caiguda a l'extrem de la conca tarda a arribar al naixement de la llera considerada. Per al càlcul d'aquest temps la Instrucció de Carreteres 5.2-IC "Drenaje Superficial" proposa un àbac per al qual es necessita la distància d'escolament, la cobertura vegetal i el pendent.

Aquesta distància ha sigut calculada en el capítol de morfologia, apartat de morfometria, com a distància d'escolament, "de", donant els metres que recorre l'aigua des de la divisòria d'aigües fins al principi de la llera. Considerant una cobertura del terreny de vegetació mitjana dalt de les carenes, amb l'àbac esmentat, els temps de concentració addicionals que caldrà sumar a qualsevol dels temps de concentració estudiats són com segueixen (Taula 8.3).

Conca hidrogràfica	Distància d'escolament (de) en metres	Pendent mitja ponderada (%)	Temps de concentració addicional (tc) en minuts
Aubi	202,85	16,51	18,3
Riera de Calonge	150,41	30,70	13
Ridaura	136,53	24,89	15,3
Riera de Tossa	84,50	38,78	9,5
Riera de Lloret	87,03	31,63	11,5

Taula 8.3.- Temps de concentració addicional, tc, per a cada conca estudiada

Segons l'anàlisi feta per Junta d'Aigües (1994), la fórmula de Témez, en general, dona temps de concentració majors que la fórmula de Califòrnia, sobretot per a conques d'elevat pendent, igualant-se a partir de $J=0.00042$. De tota manera aquest efecte es compensa amb el coeficient d'uniformitat, definit en la presentació de la fórmula del mètode racional, estimat experimentalment per el mateix autor. Com a conseqüència, tant la fórmula del temps de concentració com del coeficient d'uniformitat, emprats conjuntament han adquirit una alta validació a tota Espanya, que la de Califòrnia no posseeix (Junta d'Aigües, 1994).

Exposats els motius anteriors, queda evident i així s'ha tractat en el present treball, que la utilització de la fórmula de Témez per al temps de concentració és la més adequada per assolir els objectius d'aquest apartat.

8.2.1.2.2.2.- Intensitat de pluja màxima diària per a diferents períodes de retorn

Per obtenir la intensitat mitjana màxima de precipitació, corresponent a un període de retorn determinat i a un interval de temps igual al temps de concentració de la conca estudiada, es fa servir el procés recomanat per la Instrucció de Carreteres 5.2-IC "Drenaje Superficial" :

- a) es determina el valor de $I1/Id$ segons el mapa d'isolínies, d'aquesta mateixa relació, esmentada a la mateixa Instrucció de Carreteres i elaborat per J.R. Témez. Per a l'àmbit d'estudi s'ha pres un valor de 11,5, el mateix que en Boté (1996) i Dolz & Sánchez (2001). Aquest factor regional de la fórmula representa la relació entre la intensitat horària i la diària del mateix període de retorn, on $I1$ és la intensitat màxima en una hora i Id és la intensitat mitja màxima diària.
- b) s'escull el valor de la precipitació màxima en 24 hores per al període de retorn determinat. Aquest paràmetre ja ha estat calculat al capítol d'hidrometeorologia

d'aquesta memòria. Per tal de seguir la millora del mètode racional proposat per Témez (1982), la pluja màxima diària del període de retorn desitjat s'ha de reduir multiplicant-la pel coeficient **K_a**, tant per estimar la intensitat mitjana màxima, **I_t**, com pel coeficient d'escolament (calculat en el següent apartat). Aquest coeficient reductor es calcula de la forma següent:

$$K_a = 1; \quad \text{per } A \leq 1$$

$$K_a = 1 - \frac{\log A}{15}; \quad \text{per } 1 < A \leq 3000$$

on:

K_a és el factor reductor de la pluja diària

LogA és el logaritme decimal de l'àrea **A** de la conca estudiada en km²

- c) amb la següent fórmula es pot conèixer el valor **I_t** de la intensitat mitjana màxima de pluja en **t** hores:

$$I_t = \left(\frac{P_d}{24} \right) \cdot \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1-t^{0.1}}}{28^{0.1}-1}}$$

on :

- **I_t** és la **I** de la fórmula del mètode racional, o sigui la màxima intensitat mitjana de la pluja en mm/h, durant un temps igual al temps de concentració **T_c** de la conca, amb el mateix període de retorn que el del cabal buscat
- **t** és el temps de concentració (**T_c**) en hores
- **I_d** = **P_d**/24 és la intensitat mitjana màxima diària
- **P_d** és la precipitació màxima en 24 hores, corresponent al període de retorn considerat i corregida pel factor corrector **K_a**
- **I₁** és la intensitat màxima en una hora
- i finalment la relació **I₁/I_d** és el factor regional descrit en l'apartat anterior.

La metodologia exposada fins ara per a l'obtenció de les precipitacions màximes donen finalment dades puntuals de precipitació en la localització de cada observatori meteorològic. El fet de treballar amb conques hidrogràfiques, àrea coneguda, podríem calcular directament el volum d'aigua recollit. El problema sorgeix quan l'àrea és prou gran perquè la distribució espacial d'aquest fenomen no sigui homogeni i les estacions meteorològiques consultades no estiguin homogèniament repartides (es podria efectuar la mitjana aritmètica). Amb aquestes dificultats, i per tal de minimitzar l'error per a l'estudi que portem a terme, es poden emprar dos procediments per al càlcul de la distribució espacial de les precipitacions: polígons de Thiessen o mapa d'isoietes.

El primer consisteix en traçar polígons al voltant de les estacions meteorològiques i es suposa que en tota la seva extensió rep la mateixa precipitació que en el punt central. Per fer aquests polígons s'uneixen les mediatrises dels segments que uneixen les estacions pluviomètriques. Finalment per a l'obtenció de la dada de precipitació màxima en la conca determinada només caldrà fer la mitja ponderada segons el percentatge de participació a l'àrea de la conca de cada polígon. Aquest mètode, tot i ser objectiu, no té en compte el fet de la variació altitudinal de la precipitació i per això s'ha optat per utilitzar el segon.

El mètode de les isoietes per a la distribució de la precipitació en l'àmbit d'estudi consisteix en traçar isolínies que englobin punts compresos en els intervals elegits. En zones on hi ha manca de dades, les corbes de nivell poden servir d'ajuda considerant la relació de la precipitació i l'altitud. Per a cada període de retorn considerat es tindrà un mapa d'isolínies de precipitació. Un exemple dels que s'ha confeccionat per aquesta tesi és el que segueix (Figura 8.2).

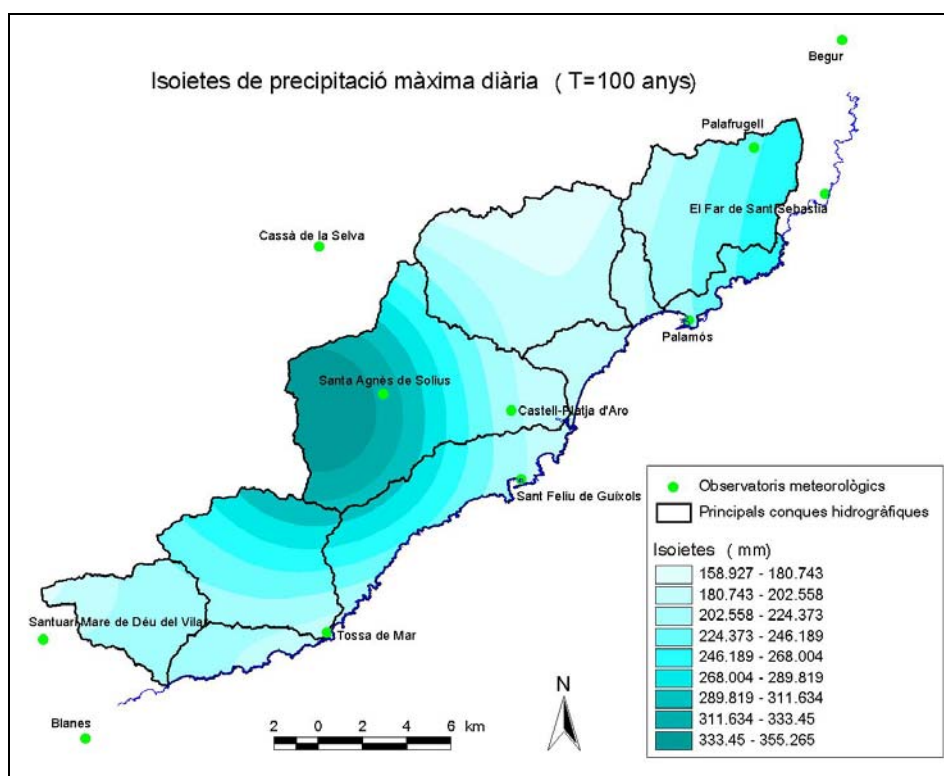


Figura 8.2.- Mapa d'isoietes de precipitació màxima diària per a T=100 anys

Un cop fet el mapa d'isolínies només caldrà calcular per a cada conca estudiada la mitjana ponderada, segons la participació areal a aquesta conca, de cada franja d'igual precipitació màxima diària. Aquestes mitjanes ponderades es presenten en la taula 8.4. Aquest mapa no solament permet quantificar el valor mitjà de la precipitació màxima sinó que a més

representa gràficament la distribució espacial de la precipitació per al període de retorn considerat.

Conca Hidrogràfica	Pd conca (T= 50)	Pd conca (T=100)	Pd conca (T= 500)
Conca de l'Aubi	198,30	227,76	300,29
Conca de la riera de Calonge	168,95	188,39	232,63
Conca del Ridaura	247,32	285,99	384,50
Conca de la riera de Tossa	215,05	247,48	322,52
Conca de la riera de Lloret	182,95	208,06	270,01

Taula 8.4.- Mitjanes ponderades de la precipitació màxima diària per a T=50, 100 i 500 anys de les principals conques estudiades

8.2.1.2.2.3.- Escolament superficial

Dins el cicle hidrològic l'aigua es pot trobar en forma de vapor en les masses d'aigua, passant per la seva precipitació i evapotranspiració fins a arribar en contacte amb la litosfera formant part de l'aigua interceptada, aigua d'escolament o aigua subterrània després del procés de la infiltració. En aquest apartat s'intenta estudiar l'aigua que córrer per la superfície d'aquesta litosfera i en particular la superficial. Aquesta, a diferència de l'escolament directe que drena en forma d'un flux concentrat a través de la xarxa hidrogràfica, l'escolament superficial és la que de forma dispersa viatja per sobre la superfície de les vessants de la conca de drenatge.

L'aigua d'escolament superficial pot donar-se directament d'una excessiva precipitació que no ha pogut infiltrar-se en el sòl o també pot originar-se per la sortida a l'exterior de l'aigua de saturació al llarg de les línies d'intersecció del nivell freàtic amb la superfície del terreny. Amb aquesta descripció ja es pot entreveure que un dels factors decisius per a la formació de l'escolament és la capacitat d'infiltració del terreny o de manera indirecta l'ús de la terra.

En el mètode racional que s'està estudiant aquest paràmetre està inclòs en el coeficient d'escolament, **C**, de la mateixa fórmula.

El coeficient d'escolament és la relació existent entre el cabal màxim i la pluja màxima de la conca, o sigui, determina la part de la pluja que cau dins de la conca estudiada que arriba al punt on s'està estudiant en el moment de màxim cabal.

Aquest en alguns casos es determina a partir d'experiències d'alguns rius estudiats, però la realitat és que aquest pot variar notablement en conques petites. Aquesta variació es pot donar en lapses d'espai relativament curts, ja sigui pel canvi sobtat de la permeabilitat del

terreny, el pendent o els cultius. Abans que l'aigua comenci a córrer per la superfície, cas anomenat com a escolament superficial, per drenar fins al curs torrencial més proper, el sòl pot retenir una quantitat més o menys important d'aigua, la qual cosa pot tenir una influència important en el coeficient d'escolament i de retruc modificar l'anàlisi final del cabal.

Pels motius expressats anteriorment, s'ha volgut posar especial èmfasi a l'hora de determinar aquest coeficient. No només ajustar-se al màxim a la realitat relacionant els usos del sòl amb els paràmetres tabulats mitjançant diferents validacions de camp i una adequació de cada ús del sòl a la tipologia de sòl; sinó que també, pel fet de disposar d'una cartografia amb la informació dels usos del sòl de l'any 1957, 1974 i 1993 (Nuell, 2002), s'ha volgut estudiar l'evolució de les característiques hidrològiques de les principals conques i subconques tenint en compte l'evolució que han patit els usos del sòl en tot l'àmbit d'estudi. Expressament no s'ha tingut en compte la capa dels usos del sòl de DMA (2005) ja que la llegenda, unificada per els tres anys anteriorment esmentats, l'escala, el mètode de captura i la font són diferents, podent esbiaixar els resultats comparatius.

A banda de l'estudi a partir de dades històriques de l'ocupació humana (Figures 8.4, 8.5 i 8.6), s'ha realitzat el càlcul hidrològic per a dos escenaris hipotètics més. El primer d'aquests fa referència, a priori el més problemàtic, en el cas en què tot el sòl urbà i urbanitzable programat, definit i previst pels diferents Plans Generals d'Ordenació Urbana (PGOU) dels diferents municipis afectats, quedés afectat per sòl tipus urbà (fent referència a les característiques del sòl). Cal tenir en compte que aquest cas té una *taca* de sòl urbà considerablement major que el sòl urbà fotointerpretat del 1993 (Figura 8.7). La informació dels PGOU (vigents el 2001-2002, de tots els municipis inclosos en l'àmbit d'estudi) ha estat consultada a la Delegació Territorial d'Urbanisme de Girona.

El segon escenari hipotètic fa referència en el cas en què s'adoptés una política de gestió i control integral d'aigües d'escolament superficial en l'àmbit definit com a urbà del cas hipotètic anterior (Figura 8.8). Aquesta política, Low-Impact Development (LID) (Wynkoop, 1999), es basa en reproduir els processos d'emmagatzematge, infiltració, evaporació i retenció de l'escolament superficial, que es donaria de forma natural. Intenta imitar les funcions d'una conca hidrogràfica natural pel que fa al balanç hídric, afavorint bàsicament al retard i minimització de l'impacte negatiu que suposa l'escolament superficial en l'erosió o en les inundacions. Aquesta tecnologia LID (*LID technology*, terme emprat en Wynkoop (1999)) es basa en el concepte de la microgestió –*micro management*– i la descentralització dels controls ambientals, canviant la visió que els agents controladors dels impactes negatius dels processos hidràulics ha de ser la pròpia població mitjançant microtècniques de control i no l'administració directament mitjançant grans planejaments i infraestructures dures (Wynkoop, 1999).

Aquestes microtècniques són d'aplicació individual per a cada habitatge o illes de cases, de les quals podem destacar la bioretenció amb plantes i materials filtrants, pous secs per a retenir i ajudar a la infiltració posterior de l'aigua de les teulades, zones de recàrrega induïda, buffers de vegetació per a la reducció de la velocitat d'escolament i la disminució del risc d'erosió, així com cisternes per a l'emmagatzematge d'aigües pluvials per al posterior rec de parcs i jardins. Les millores directes d'aquest tipus de tècniques permeten disminuir notablement l'escolament superficial, augmentar la recàrrega directa dels aqüífers, retardar i disminuir el pic d'avinguda, retenir al sòl possibles contaminants de les aigües pluvials, així com augmentar la qualitat paisatgística, entre d'altres. L'explicació detallada de les tècniques, així com l'anàlisi comparativa de zones amb i sense LID, es presenten a Wynkoop (1999). A tall d'exemple presentem uns hidrogrames (Figura 8.3), ja que la millor manera per explicar els resultats de l'aplicació de tècniques per minimitzar l'impacte de les urbanitzacions en el règim fluviotorrencial és analitzant aquestes gràfiques cabal-temps.

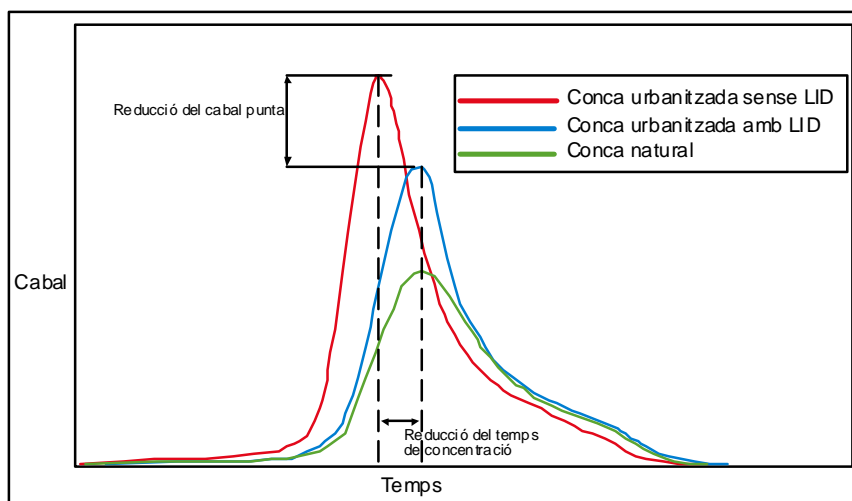


Figura 8.3.- Hidrogrames característics segons diferents tipologies d'ocupació del territori

La línia verda representa la resposta d'un episodi plujós determinat d'una zona en condicions naturals rica en vegetació. Un augment i una baixada gradual del pic d'avinguda defineix aquest tipus d'hidrograma.

La línia vermella representa la resposta a un desenvolupament de l'entramat urbà sense cap mena de gestió de l'escolament superficial. Aquest hidrograma reflecteix un temps de concentració menor, i per tant un increment de la impermeabilització de la conca. També resulta clar l'augment del cabal punta, esdevenint aquest escenari amb un risc hidràulic major.

La línia blava representa la resposta que tindria una conca amb una urbanització que hagués implementat un sistema de gestió per a la reducció de l'escolament superficial. Com

es pot observar hi ha una millora respecte el cas anterior en què el cabal punta es menor i el temps de concentració ha augmentat fins al que es tindria en condicions naturals.

Tal com es pot observar, amb l'aplicació d'aquestes tècniques per imitar les condicions naturals del sistema, permeten la reducció notable del cabal punta, amb la consegüent minimització de l'impacte de les avingudes magnificades per l'acció humana sobre els usos del sòl, així com una reducció del volum d'escolament superficial, emmagatzemat temporalment en els dipòsits artificials, retinguts per la vegetació o introduïts dins el sistema aquífer amb l'augment de la infiltració.

Per al cas de l'aplicació del LID, en l'àrea que correspondria si quedés la delimitació del sòl urbà i urbanitzable dels PGOU com a urbana, s'ha considerat l'assoliment d'imitar les característiques hidràuliques d'un l'entorn natural prèvia construcció. Segons Wynkoop (1999), amb l'aplicació d'aquestes microtècniques en urbanitzacions de nova creació és fàcilment assolible un 95-100% de la retenció en estat natural, que equivaldria a no tenir en compte aquesta àrea com a urbana per al càlcul d'avingudes. En el nostre cas, que s'ha preferit considerar un cas més realista, aquest "nou" ús del sòl equivaldria a una massa forestal clara, que depenen del tipus de sòl equivaldria a un llandar d'escolament parcial de (vegeu taula 8.5) $Poi_A=60$, $Poi_B=24$, $Poi_C=14$, $Poi_D=10$.

Per a la determinació del coeficient d'escolament s'ha elegit el mètode de l'US Soil Conservation Service adaptat per Téméz (1982) a les condicions d'Espanya. Aquest parteix de la fórmula:

$$C = \frac{(P_d - P'_0) \cdot (P_d + 23 P'_0)}{(P_d + 11 P'_0)^2}$$

On:

- P_d és la precipitació màxima en 24 hores, corresponent al període de retorn considerat, expressat en mm/dia
- P'_0 és el valor propi de la conca estudiada, anomenat llandar d'escolament, que és la quantitat de pluja que cal perquè comenci a haver-hi escolament, expressat en mm

El valor de P'_0 es calcula multiplicant P_0 , estimat mitjançant la fórmula següent, pel factor multiplicador regional M extret del plànol d'isolinies d'aquest factor que presenta la mateixa Instrucció de Carreteres 5.2-IC "Drenaje Superficial". Per a la Costa Brava li correspon una $M=2.5$. Al igual que per a determinar $I1/d$, aquest factor multiplicador regional escollit, és el mateix que s'ha emprat en Boté (1996) i Dolz & Sánchez (2001).

En el cas en que la conca sigui heterogènia en quant a tipologia d'ús del sòl, i clarament és així en el nostre cas, el coeficient **P₀** es treu a partir de la mitjana ponderada de cadascuna de les àrees parcials homogènies. Aquesta s'expressa com:

$$P_0 = \frac{\left(\sum P_{oi} \cdot A_i \right)}{\sum A_i}$$

On el numerador és el sumatori de cada llindar d'escolament parcial per la corresponent àrea parcial i el denominador la suma de totes les àrees parcials.

A continuació es presenta la taula 8.5 (estimació del paràmetre llindar d'escolament parcial **P_{oi}**), l'adaptació de Témez (1982) del mètode l'US Soil Conservation Service. Cal esmentar que s'ha realitzat una modificació de la taula original per tal d'acostar-se més a la realitat de les conques estudiades. Per una banda s'ha ampliat amb els termes de *ferm sense paviment*, *ferm amb llambordes i paviment betuminós/formigó* a partir de Boté (1996) i Montalbán et al. (2003); el terme *urbà* a partir de Junta d'Aigües (1994); i finalment el terme d'*urbanització* avaluada per el propi autor.

Cal tenir present que els valors molt alts s'han substituït per dues ratlles. Això vol dir que les àrees parcials corresponents a aquests valors no es tenen en compte a l'hora del càlcul d'avingudes ja que és d'esperar que no provoqui escolament superficial i s'infiltri tota l'aigua caiguda en aquella àrea.

El mètode de l'US Soil Conservation Service considera que els nuclis urbans, edificacions rurals i camins, no s'han de tenir en compte en l'àrea total quan aquestes siguin *poc importants*. Com que en totes les conques i subconques estudiades, i de forma extensiva a les rieres i torrents de la Costa Brava, l'ús de la terra *urbà i urbanitzacions* representen una àrea relativament important, tant per la pressió urbanística molt accentuada com per tractar-se de conques hidrogràfiques petites, s'ha volgut anar més enllà i tenir-los en compte.

L'*urbà* s'ha considerat del tot impermeable i per tant un valor de **P_{oi}**=0. L'*urbanitzable*, **P_{oi}**=4, s'ha estimat a partir d'una anàlisi de treball de camp, com a dos terços de **P_{oi}** corresponent a urbà (per les cases i carrers) i un terç de **P_{oi}** corresponent a prat pobre de grup de sòl B i pendent<3 (pels jardins).

Ús de la terra	Pendent %	Característiques hidrològiques	Grup de sòl			
			A	B	C	D
Guaret	≥3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	<3	R/N	20	14	11	8
Conreus en filera	≥3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereals d'hivern	≥3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotació de conreus pobres	≥3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	<3	R/N	30	19	13	10
Rotació de conreus densos	≥3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	<3	R/N	47	25	16	13
Praderies	≥3	Pobre	24	14	8	6
		Mitja	53	23	14	9
		Bona	--	33	18	13
		Molt bona	--	41	22	15
	<3	Pobre	58	25	12	7
		Mitja	--	35	17	10
		Bona	--	--	22	14
		Molt bona	--	--	25	16
Plantacions regulars d'aprofitament forestal	≥3	Pobre	62	26	15	10
		Mitja	--	34	19	14
		Bona	--	42	22	15
	<3	Pobre	--	34	19	14
		Mitja	--	42	22	15
		Bona	--	50	25	16
Masses forestals (boscos, garriga, ...)		Molt clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Mitja	--	34	22	16
		Espessa	--	47	31	23
		Molt espessa	--	65	43	33
Roques permeables	≥3			3		
	<3			5		
Roques impermeables	≥3			2		
	<3			4		
Ferm sense paviment				2		
ferm amb llambordes				1,5		
paviment betuminós/ formigó				1		
urbà				0		
urbanitzacions				4		

Taula 8.5.- Estimació del paràmetre Poi o llinar d'escolament parcial. Segons Junta d'Aigües (1994), Boté (1996) i Montalbán et al. (2003). Modificat.

A continuació es fa un breu resum de les definicions que Junta d'Aigües (1994) fa del sentit de les paraules i símbols de la taula anterior:

Ús de la terra

Guaret: terreny de conreu en què hi ha periodicitat en els anys en què es sembra i anys en què no es sembra per deixar reposar el sòl. En general és un sòl que rep feines agràries que disminueixen el grau d'escolament però en general sempre és important per raó de

l'escassa vegetació. En els casos en què no es disposava de la informació del tipus de conreu o per observació directa no es podia determinar, s'ha considerat com a guaret ja que és el conreu amb un grau d'escolament superficial més alt i per la finalitat que tenia s'ha considerat millor agafar el pitjor dels casos.

Conreus en filera: terres sembrades de conreus formant fileres, cosa que permet realitzar-hi feines agrícoles mentre les plantes es desenvolupen (patata, blat de moro, tomàquet, fruiters, vinya, ...). L'efecte hidrològic de la major distància entre plantes es sol veure afavorit per ser un tipus de plantes de brancatge ample i sistema radicular potent, protegint d'aquesta manera el sòl de l'impacte de la pluja.

Cereals d'hivern: són terres dedicades a cereals, el cicle vegetatiu dels quals es pot desenvolupar a l'hivern, com ara el blat, l'ordi o el sègol.

Rotació de conreus: és la seqüència cíclica de conreus en una determinada explotació. Des del punt de vista hidrològic cal diferenciar entre:

- Rotació pobra o amb escassa cobertura vegetal, quan aquesta combinació es fa entre conreus de filera, cereals i guaret.
- Rotació densa és la que conjumina conreus de filera o cereals d'hivern amb alfals, prats o sèmbras de densitats elevades.

Praderies, prades i pastures: en aquesta categoria hi ha els camps en què bàsicament són aprofitats per a l'alimentació de bestiar de pastura. Alhora es classifiquen en:

- Pobres: pasturatge intens o amb cobertura vegetal de menys del 50% de la superfície total (pastures i erms).
- Mitjanes: règim de pasturatge moderat o amb cobertura vegetal d'entre el 50 i 75%.
- Bones: règim de pasturatge lleuger o amb cobertura vegetal de més del 75%.
- Molt bones: praderies artificials o naturals sense règim de pasturatge. La vegetació és densa, abundant, homogènia i de certa altura.

Plantacions regulars d'aprofitament forestal: són les plantacions d'arbres de forma regular i alineada, com plantacions d'eucaliptus o pollancre. La subdivisió de pobres, mitjanes o bones, fa referència a les característiques de la cobertura vegetal no arbòria, depenent bàsicament de si l'explotador forestal neteja el "sotabosc" o no.

Masses forestals: superfície del terreny a on s'hi desenvolupa vegetació llenyosa arbòria o arbustiva, com són el baix forest, l'alt forest o els boscos. D'acord amb la densitat de la vegetació esmentada s'ha dividit en molt espessa, espessa, mitjana, clara o molt clara.

Roques permeables i impermeables: aquestes àrees són les que estan desprovistes totalment de vegetació amb la roca del sòcol aflorant. Les primeres quan la roca és massiva i les segones quan aquesta presenta mantell d'alteració.

Urbà i urbanitzacions: descrit anteriorment, com ara el casc urbà per al primer i cases amb jardí per la segona categoria.

Feines de conreu en línia recta (símbol R): aquesta categoria és quan el treball del sòl, la sembra i les feines de conreu es realitzen en la direcció del màxim pendent o a mig vessant.

Feines de conreu en línies de desnivell (símbol N): aquesta categoria és quan el treball dl sòl, la sembra i les feines de conreu es realitzen seguint les corbes de nivell del terreny. Aquesta classificació no té massa sentit quan el terreny presenta poca pendent per la qual cosa, en pendents <3 , no hi ha distinció (símbol R/N).

Sòls

Per a la determinació d'aquesta característica i per tant decidir per a cada ús del sòl quin coeficient d'escolament parcial li corresponia s'han subdividit els usos del sòl a partir de la capa de sòls. D'aquesta manera s'ha pogut incidir en més detall en la determinació d'aquest paràmetre ja que per a cada ús del sòl concret podem tenir diferents llistats d'escolament parcial depenent de la tipologia de sòls. Del mapa de sòls confeccionat expressament per aquesta tesi (Figura 7.2), s'ha reclassificat en els grups A, B, C i D:

Grup A: l'aigua s'hi infiltra ràpidament, encara quan estan molt humits. Profunds i de textures gruixudes (arenoses o areno-llimosa), estan excessivament drenats.

Grup B: quan estan humits tenen una capacitat d'infiltració moderada. La profunditat del sòl és de mitjana a profunda i la textura franco-arenosa, franca, franco-argilo-arenosa o franco-llinoses. Estan bé o moderadament drenats.

Grup C: quan estan molt humits la infiltració és lenta, la profunditat de sòl és inferior a la mitjana i la seva textura és franco-argilosa, franco-argilo-llimosa, llimosa o argilo-arenosa. Són sòls imperfectament drenats.

Grup D: quan estan humits la infiltració es molt lenta. Tenen horitzons d'argila a la superfície o pròxims a aquesta i estan pobrament drenats. També s'inclouen aquí els terrenys amb nivell freàtic permanent alt i sòls de poc gruix (litosòls)

Un cop definits els paràmetres possibles per tal d'establir el llistat d'escolament, mitjançant l'eina SIG s'ha pogut calcular el coeficient d'escolament amb certa facilitat. Primerament s'ha digitalitzat mitjançant el paquet informàtic ArcView, a una escala aproximada d'1:10.000 amb l'ajuda de Nuell (2002), ortofotomapes digitals i fotografia aèria, les distintes subàrees

(A_i) que es preveia que tindrien una certa homogeneïtat referent a la classificació de l'ús de la terra anteriorment descrit. Després de la primera aproximació a la divisió territorial en unitats homogènies es féu una validació dels límits reals i una classificació definitiva a partir de l'observació directa a camp.

Un cop definides les subàrees amb la seva respectiva classificació de l'ús del sòl es definí per a cada polígon el valor del llinar d'escolament parcial (P_{oi}), tenint en compte les dades de camp i les distintes variants possibles anteriorment descrites. A continuació es presenten els mapes efectuats d'Unitats Homogènies del Llinar d'Escolament Parcial (Poi) per als diferents escenaris estudiats (Figures 8.4 a 8.8).

Finalment amb l'ajuda de les eines d'anàlisi del SIG s'han fet tots els càlculs corresponents per tal de fer les mitjanes ponderades per la conca i subconques, així com obtenir el valor final del coeficient d'escolament necessari per al càlcul del cabal mitjançant el mètode racional.

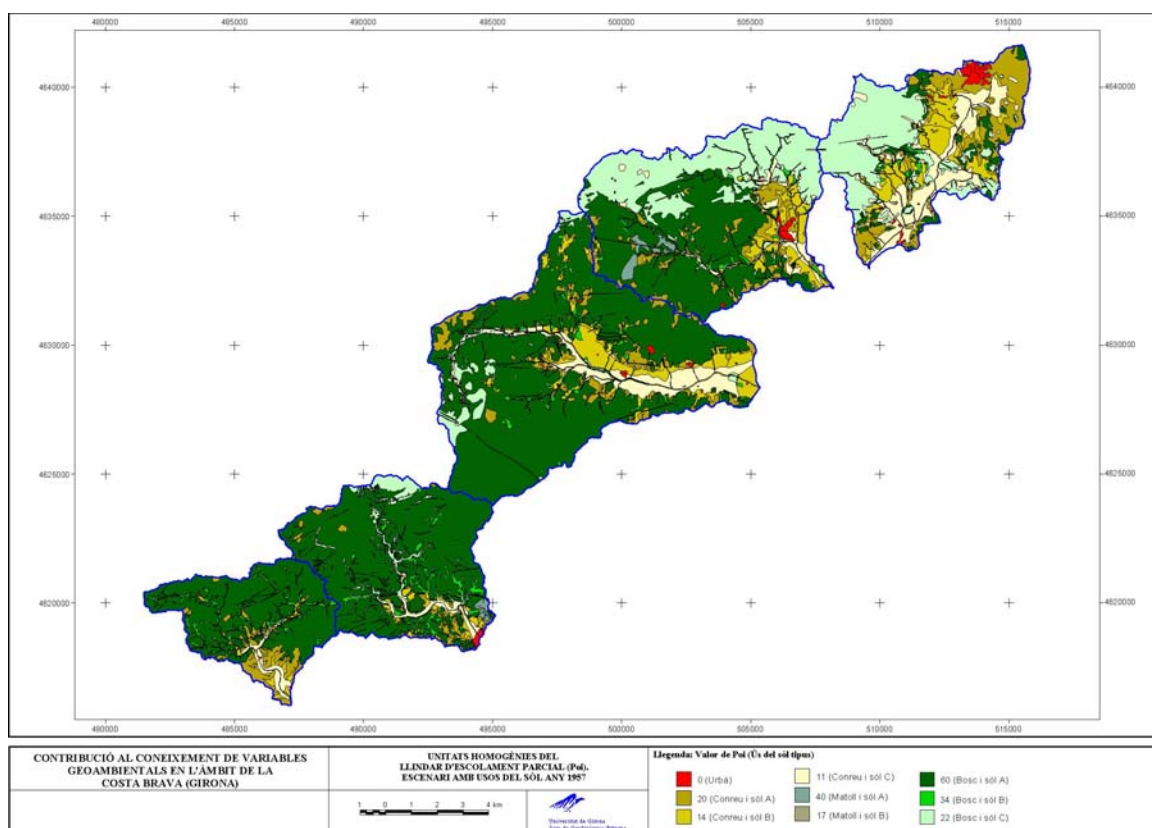


Figura 8.4.- Mapa d'unitats homogènies del llinar d'escolament parcial (Poi). Escenari amb usos del sòl de l'any 1957.

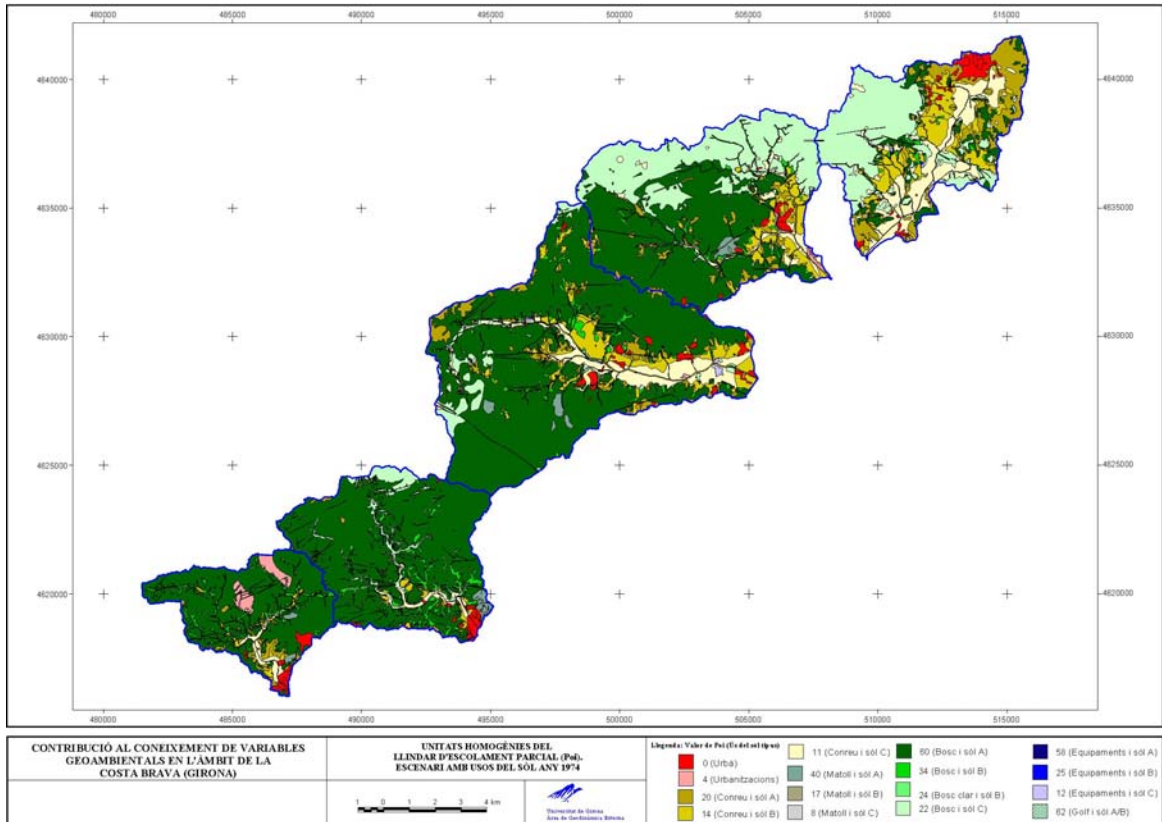


Figura 8.5.- Mapa d'unitats homogènies del llinar d'escolament parcial (Poi). Escenari amb usos del sòl de l'any 1974.

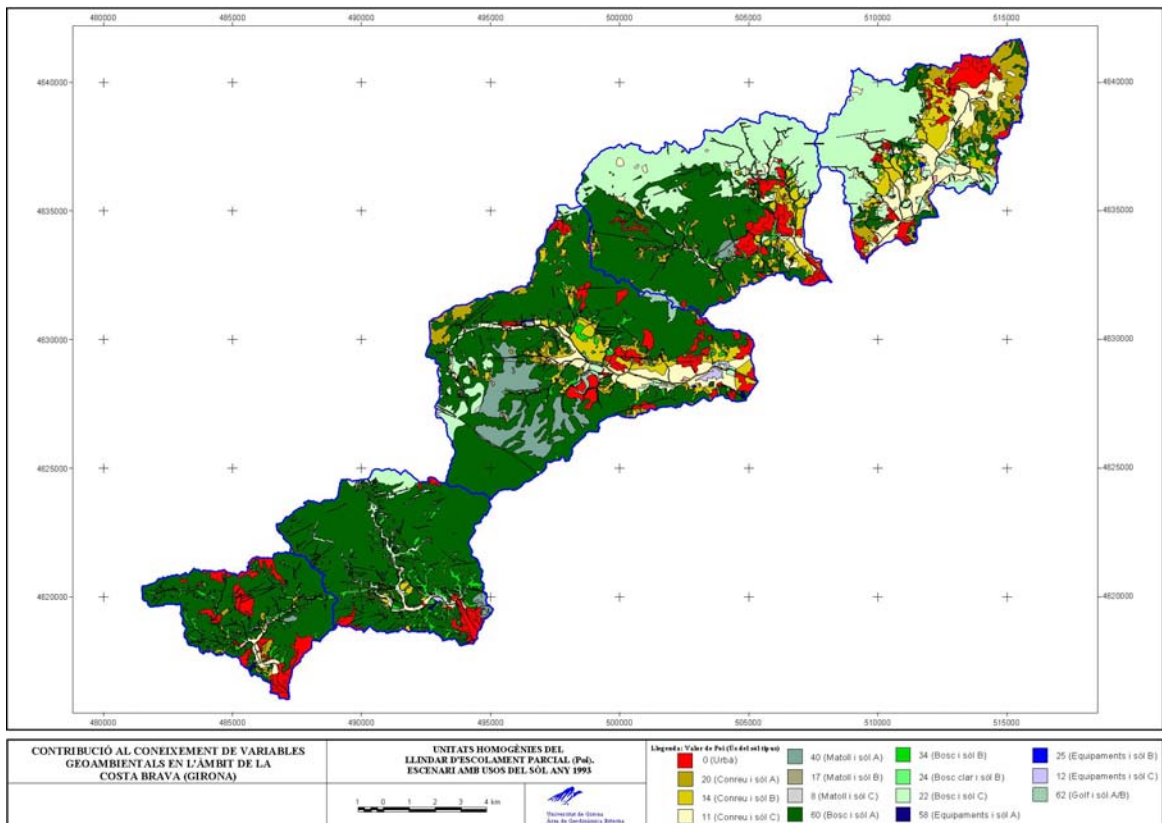


Figura 8.6.- Mapa d'unitats homogènies del llinar d'escolament parcial (Poi). Escenari amb usos del sòl de l'any 1993.

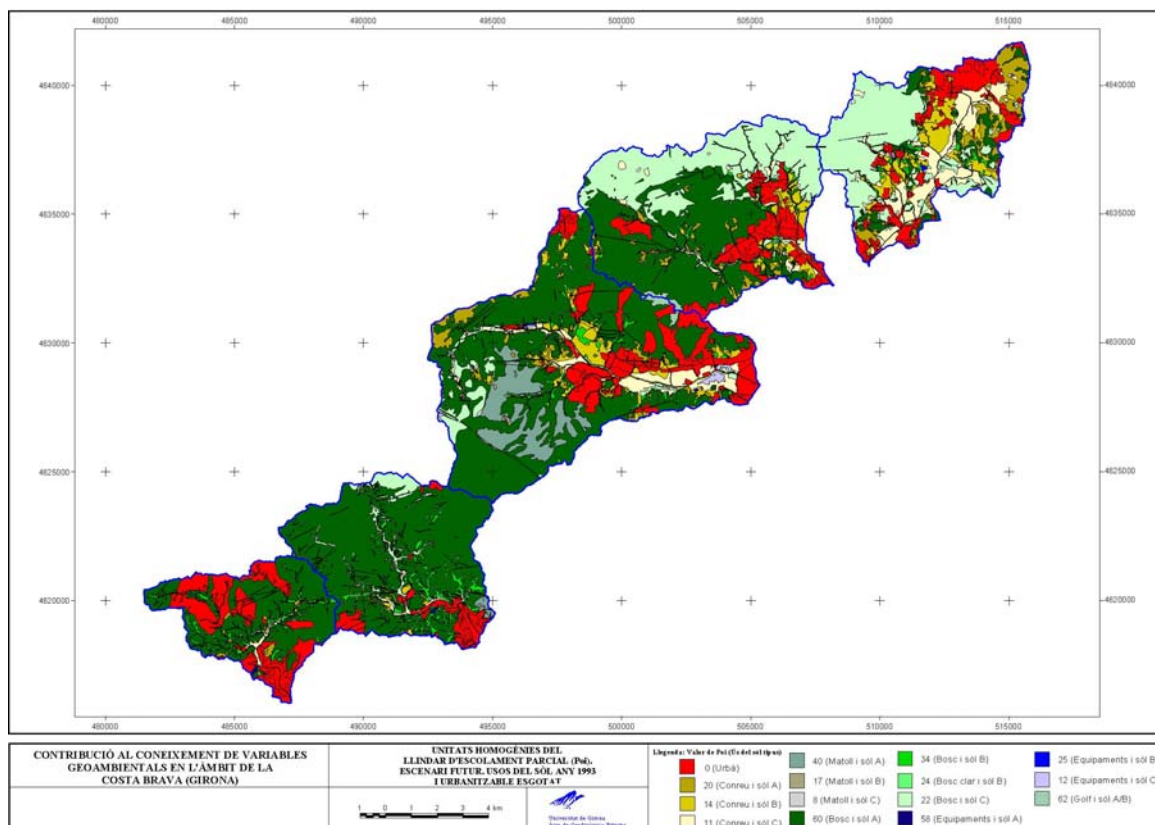


Figura 8.7.- Mapa d'unitats homogènies del llindar d'escolament parcial (Poi). Escenari futur amb usos del sòl de l'any 1993 i sòl urbanitzable esgotat.

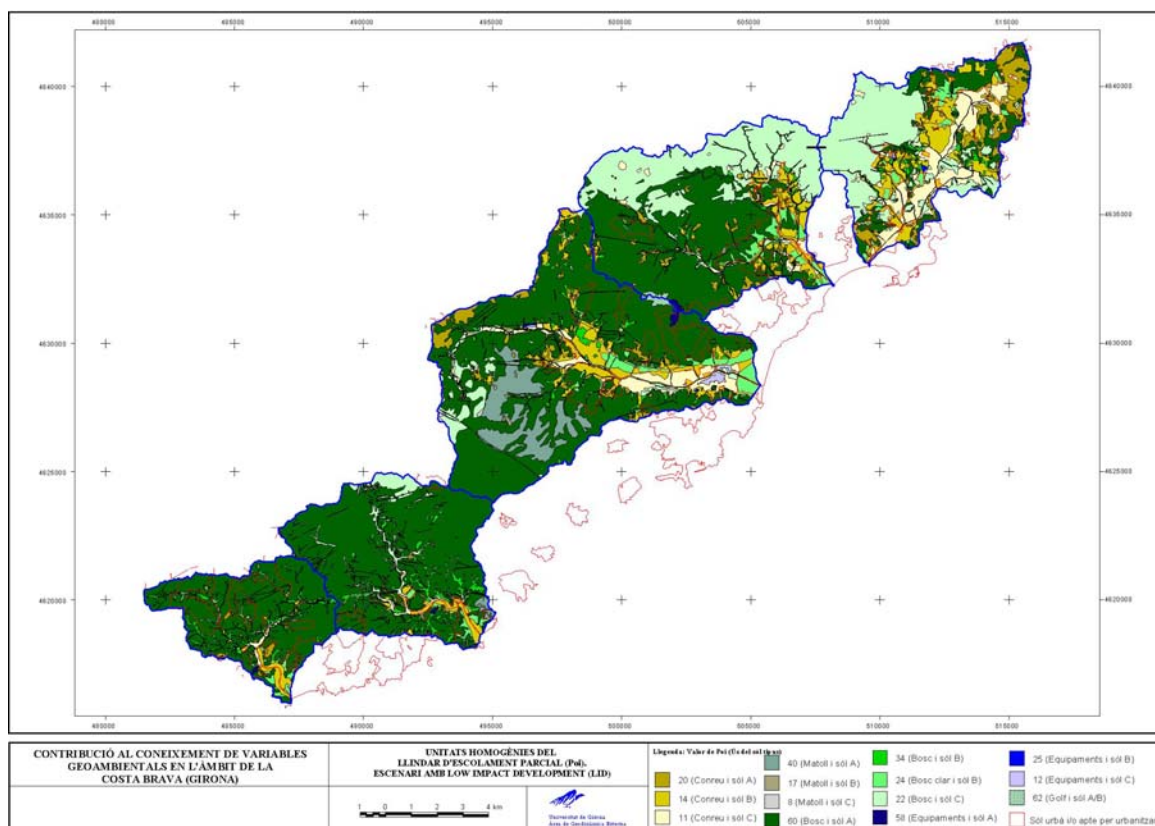


Figura 8.8.- Mapa d'unitats homogènies del llindar d'escolament parcial (Poi). Escenari amb Low Impact Development (LID)

8.2.1.2.3.- Mètode d'aforament postriuada

Pel que fa a l'aforament de les rieres en les seccions estudiades, és a dir, la mesura d'un cabal en un riu o riera com a conseqüència d'un esdeveniment plujós determinat o el càlcul del cabal màxim que admet una secció sense desbordar-se, pel fet de no existir una estació d'aforament amb un limnigraf capaç d'anotar la dada de cabal en continu, no ens ha permès obtenir dades de cabal per a pluges ocorregudes durant el transcurs de la realització d'aquest present treball ni contrastar els resultats obtinguts.

A més a més, el fet que les rieres estudiades pertanyin a conques mediterrànies, les avingudes, en forma de rambla, no permeten la realització d'una campanya de mesura de corrents per la celeritat en què arriba el pic d'avinguda (temps de concentració que en casos no arriben ni a les 2 hores, com és la riera de can Roure de Lloret de Mar o la riera de Vall-llobrega), és per aquest motiu que l'única forma que s'ha pogut aforar les rieres ha sigut mitjançant mètodes de mesura postriuada.

Existeixen molts mètodes d'aforament postriuada, els quals consisteixen bàsicament en definir i marcar el nivell d'aigua màxim que ha assolit la riera durant la crescuda, l'àrea transversal de la secció, el pendent de la llera i les característiques de rugositat d'aquesta. De tots ells destaquen l'equació de Manning-Strickler, la de Riggs, la de Williams, la de Chezy o la de Darcy-Weisbach, entre moltes d'altres. La primera, anomenada normalment de Manning, és la que s'ha emprat en aquesta tesi pel fet de ser la més coneguda, àmpliament utilitzada (Ayala & Olcina, 2002) i fàcilment calculable a partir de relacions geomètriques de la secció i un índex tabulat referent a característiques de la llera. Les altres equacions, descartades en aquesta tesi, són per casos molt concrets amb moltes restriccions d'ús, com ara només per a canals amb llits de graves o sorra grollera o per a àrees molt petites, per a intervals de pendent molt concrets i petits o per a canals que ja s'hagin desbordat (Williams, 1988, en Buxó, 1996).

En el mètode de Règim Uniforme, o també anomenat mètode del pendent-àrea, el cabal es calcula en base a l'equació de flux en règim uniforme, que inclou les característiques geomètriques de la llera, el perfil de la làmina d'aigua en la seva secció longitudinal, el radi hidràulic, i el coeficient de rugositat. L'equació més freqüentment emprada és l'equació de Manning:

$$Q = \frac{A_h \cdot R_h^{2/3} \cdot J^{1/2}}{n}$$

on:

- **Q** és el cabal, en m³/s
- **A_h** és l'àrea de la secció transversal de la llera ocupada per l'aigua, en m²
- **R_h** és el radi hidràulic de la secció transversal, en m ($R_h = A_h/P_m$)
- **P_m** és el perímetre mullat de la secció transversal, en m
- **J** és el pendent longitudinal del tram a on hi ha la secció estudiada, en %
- **n** és el coeficient de rugositat

Aquesta equació, tal i com va ser desenvolupada, està pensada per fluxos de règim uniforme en els quals la làmina d'aigua és paral·lela al llit del riu, i tant l'àrea, el radi hidràulic i la rugositat es mantenen constants al llarg del canal. Per aquests motius les diferents seccions estudiades es van elegir en trams que seguissin les següents característiques:

- a) bona referència dels nivells màxims de l'aigua
- b) trams que mantinguin, durant un cert recorregut tant amunt com avall de la secció, les característiques de forma i rugositat.

La campanya per definir el màxim nivell d'aigua durant la riuada convé fer-la de forma immediata als dies següents de la riuada, ja que per l'acció de la maquinària per arreglar possibles desperfectes que afectin a la llera i als marges, i també per la precipitació de noves pluges fan que aquestes marques restin ben definides durant un període curt de temps. Un mes després gran part de marques han desaparegut. Els paràmetres de secció i rugositat cal determinar-los un cop les aigües van tranquil·les per tal de poder observar el fons de la llera i poder fer les mesures amb certa seguretat. La resta s'ha calculat mitjançant els mapes topogràfics a escala 1:5.000 de l'ICC amb l'ajuda del SIG.

Pels que fa al càlcul de les diferents variables de què està formada l'equació de Manning són amb certa manera fàcils de determinar ja que només responen a dades geomètriques. En canvi el coeficient de rugositat, és d'elecció més qualitativa. Per tant cal estudiar bé quins són els principals factors que afecten a la rugositat del llit del riu. En general es pot afirmar que qualsevol obstacle amb efectes retardadors suposa un increment de **n**. A efectes visuals tot el que contribueix a augmentar la turbulència implica un ascens en aquest paràmetre. Els principals factors dels que depèn són:

- 1) **Superfície rugosa:** la superfície rugosa del perímetre d'un canal proporciona un punt crític de referència en l'estimació de **n**. En canals on el llit del riu està format per materials argilosos i sorres, el número del coeficient de rugositat és baix, en canvi si el riu està format per grans blocs de roca el valor de **n** es veu incrementat notablement.
- 2) **Vegetació:** el valor estimat de **n** haurà de tenir en compte l'efecte de la vegetació en el retard provocat al flux. En general la importància relativa de la vegetació sobre aquest factor és en funció de la seva alçada, densitat i distribució. És fonamental la seva consideració en els trams a on s'espera una falta de manteniment.
- 3) **Irregularitat del canal:** es refereix a les variacions en les seccions transversals del canal, de la seva forma i perímetre mullat al llarg del tram a on es localitza la secció estudiada. En general variacions graduals de la secció tenen efectes poc significatius en el valor de **n**, però canvis abruptes en la seva forma poden produir efectes molt grans.
- 4) **Obstruccions en el canal:** la presència d'obstruccions tal com ponts, o bé la presència de troncs, poden tenir efectes significatius, el seu efecte depèn de la quantitat i mida de les obstruccions.
- 5) **Alineament del canal:** mentre que corbes de gran radi de curvatura sense canvis freqüents en la direcció del canal ofereixen una resistència addicional relativament petita, corbes fortes i sobtades de petit radi incrementen la forma significativa el valor de **n**.
- 6) **Erosió i sedimentació:** en general la sedimentació i erosió activa, així com el transport de fons durant una avinguda poden donar increment en el valor de **n**.

Davant de la dificultat d'assignar valors al coeficient de rugositat, en part per la dificultat intrínseca que comporta i en part per la manca d'experiència, s'ha procedit d'una manera sistemàtica, emprant el mètode de la taula. Aquesta taula dissenyada per Chow (1959), estableix diferents valors mínims, normals i màxims per **n**, per a una multitud de canals de diferents característiques. Els valors proposats i que han estat emprats pel càlcul són els que s'indiquen a la taula 8.6.

Tipus de superfície	Mínim	Normal	Màxim
Sèquies i recs			
Terra, en línia recta i uniforme	0.017	0.0225	0.025
Excavat en roca, llis i uniforme	0.025	0.033	0.035
Excavat en roca, rugós i irregular	0.035	0.040	0.045
Sèquia moderadament serpentejant	0.0225	0.0275	0.030
Canal dragat en terra	0.025	0.030	0.033
Canal de llit pedregós aspre, amb malesa als marges	0.025	0.035	0.040
Fons de terra i marge d'escullera	0.028	0.033	0.035
Cusos d'aigua naturals			
1- Net, marge recte, sense esglaons, passallissos o basses profundes	0.025	0.030	0.033
2- Com 1, però amb alguns matolls i pedres	0.030	0.035	0.040
3- serpentejant, algunes basses, bancs de sorra i net	0.033	0.040	0.045
4- igual que 3, esglaons més profunds, seccions i pendents menys eficaços	0.040	0.050	0.055
5- igual que 3, alguns matolls i pedres	0.035	0.045	0.050
6- igual que 4, trams pedregosos	0.045	0.055	0.060
7- Trams de riu peresosos, amb malesa i basses profundes	0.050	0.070	0.080
8- Trams amb molta malesa	0.075	0.125	0.150

Taula 8.6.- Valors del coeficient de rugositat per a diferents tipus de superfície. Segons Chow (1959 i 1994) i Seve (1998). Modificat.

Aquesta és una reducció de la llarga llista original, escurçada per obtenir només els apartats necessaris per a descriure els llits de les rieres estudiades. En aquest sentit s'ha eliminat tot el referent a conductes, canals revestits o fabricats, entre altres.

8.3.- Resultats

De tots el mètodes analitzats per a l'estimació de cabals màxims d'avingudes, són el mètode racional i l'equació de Manning els que s'han fet servir per a l'anàlisi, comparació, mapificació i elaboració de les seccions pertinents, en l'anàlisi d'aquest risc. Els motius són perquè s'ha vist que són els que més es poden acostar a la realitat, ja sigui perquè tenen en

compte moltes variables, per ser mètodes molt emprats o per la comprovació ulterior, resultats de la qual es presenten a continuació.

Caldria esmentar d'entrada que un tret compartit pels cursos de les rieres principals que agreuja el comportament torrencial i facilita la inundació dels cursos baixos és l'existència d'un fort canvi de pendent de la majoria de rieres i torrents quan abandonen els relleus de les zones de capçalera i arriben a les planes. L'elevat cabal que conflueix a les sortides dels massissos i la sobtada disminució de velocitat són els inductors de la majoria dels episodis d'inundació. Les situacions meteorològiques de llevant amb què solen associar-se els màxims pluviomètrics, representen un factor que accentua encara més el risc d'inundació, ja que tant l'onatge com la lleugera elevació del nivell del mar a la línia de costa en dificulten llur desguàs.

Comparació i validació dels cabals màxims, per a diferents períodes de retorn, entre els càlculs de CENSA (1999), Sala (2003) i els propis. El cas del Ridaura.

L'estudi de CENSA (1999), encarregat per l'ajuntament de Castell-Platja d'Aro i realitzat des de la UPC, s'ha fet a partir de l'estudi hidrometeorològic basat en la corba IDF i pluja de projecte. En el cas de la present tesi els càlculs s'han efectuat mitjançant el mètode racional modificat per Témez (1982). Els cabals calculats al Ridaura (Taula 8.7), agafant com a punt final de desguàs el pont del c/Tramuntana i usos del sòl de l'any 1993 (mateixa secció i característiques de la conca), són:

Període de retorn (T anys)	Qmàx (m³/s) CENSA (1999)	Qmàx(m³/s). Dades pròpies
50	184.86	339,75
100	240.21	439,79
500	390.05	718,38

Taula 8.7.- Comparació de cabals màxims entre CENSA (1999) i pròpies

A priori sembla que les dues metodologies són molt dispars, donant valors molt més elevats en el cas del mètode racional. Analitzant més a fons el mètode es comprova que la majoria de variables, geomètriques i de característiques de la llera, excepte la pluja màxima diària (Pd), són iguals o molt semblants. Les dades pròpies de Pd, tal com es mostra més extensament en el capítol d'hidrometeorologia, s'han calculat mitjançant els mapes d'isoietes, realitzats mitjançant interpolacions per a cada període de retorn amb les 10 estacions meteorològiques consultades. En el cas de l'estudi de la UPC només han partit de les dades de pluviometria diària de l'estació meteorològica de Sant Feliu de Guíxols (0283A) i per a una sèrie d'anys relativament més curta. Cal dir que en tots dos casos s'ha emprat la

distribució SQRT-ETmàx per al càlculs dels respectius períodes de retorn. Les Pd emprades en ambdós estudis es presenten a la taula 8.8.

Període de retorn (T anys)	Pd (0283A) CENSA (1999)	Pd. Dades pròpies
50	179.46	247,32
100	208.67	285,99
500	278.68	384,50

Taula 8.8.- Comparació de dades de precipitació diària màxima, per a diferents períodes de retorn, emprats en CENSA (1999) i pròpies

Tal i com es comprova la disparitat de valors en Pd influeix de manera directament proporcional en el càlcul final dels cabals màxims. Per a poder comparar les metodologies es féu una prova mantenint tots els càlculs del mètode racional intactes menys la variable Pd. A continuació es mostra a la taula 8.9, la comparativa dels cabals calculats a partir de la Pd de l'estació 0283A de CENSA (1999), mitjançant la corba IDF i el mètode racional:

Període de retorn (T anys)	Q (m ³ /s) (0283A) CENSA (1999)	Q (m ³ /s) (0283A). Mètode racional i dades pròpies
50	184.86	183,24
100	240.21	247,14
500	390.05	420,39

Taula 8.9.- Comparació de dades de cabals màxims, per a diferents períodes de retorn, mitjançant la corba IDF i el mètode racional emprant les mateixes dades pluviomètriques

Per períodes de retorn petits els mètodes, per a la subconca del Ridaura avaluada, són gairebé idèntics. Augmentant aquest període els resultats donen un xic diferents tot i que similars en quant a ordre de magnitud, suposant solament un 7,8 % més per a un T=500 anys en el cas del mètode racional. Com a resultat d'aquesta comparació es pot afirmar que el mètode racional és perfectament vàlid i que podem agafar les dades de cabals per a diferents usos del sòl com a bons.

A banda d'aquestes consideracions hom es podria preguntar l'origen de la disparitat de valors en les dades pluviomètriques anteriors. En el cas de les dades emprades per al càlcul propi de les iosietes, les tres estacions meteorològiques més properes o dins de la subconca avaluada, són les que es presenten a la taula 8.10.

Observatori	Pd (T= 50)	Pd (T=100)	Pd (T= 500)
Santa Agnès de Solius	280,45	326,22	443,22
Tossa de Mar	165,93	189,40	248,71
Castell Platja d'Aro	184,36	208,72	269,74

Taula 8.10.- Dades de precipitació màxima diària en mm, per a diferents períodes de retorn, de les 3 estacions meteorològiques més properes a la conca del Ridaura

Es pot apreciar que l'estació de Solius, que a més a més està físicament dins de la conca, presenta unes precipitacions, influïdes per a l'orografia del terreny, més elevades que la resta d'estacions properes al mar, com és el cas de la de Sant Feliu, utilitzada en CENSA (1999). A més s'ha estimat mitjançant polígons de Thiessen que aquesta estació contribueix a al precipitació de la conca amb gairebé un 72%.

Pel que fa als resultats presentats en Sala (2003) són també molt similars als calculats en aquesta tesi. A més, pel que fa al les dades meteorològiques Sala arriba a les mateixes conclusions que les que apuntem en el paràgraf anterior. Mentre que en aquesta publicació calculen que per una precipitació de 200 mm el cabal punta és d'entre 200 i 250 m³/s a l'alçada de l'entrada del Ridaura a la població de Platja d'Aro, introduint aquesta precipitació en els nostres càlculs donen uns cabals, en el mateix punt concret, de 227,57 m³/s per als usos del 1993 i de 251,61 m³/s per a usos del sòl amb tot el sòl urbanitzable esgotat.

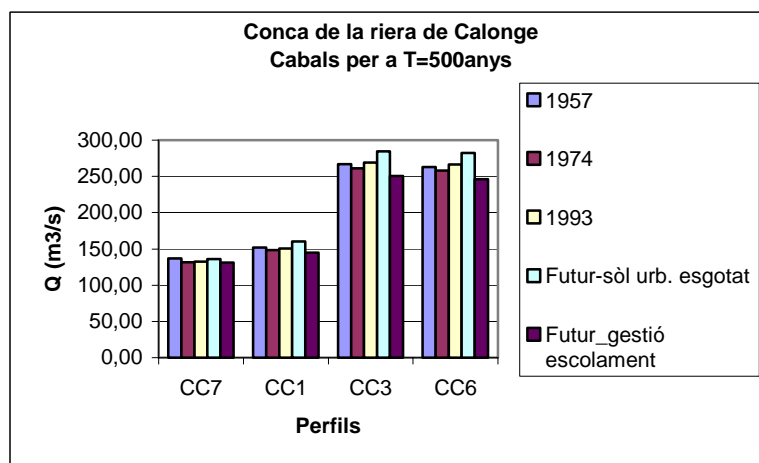
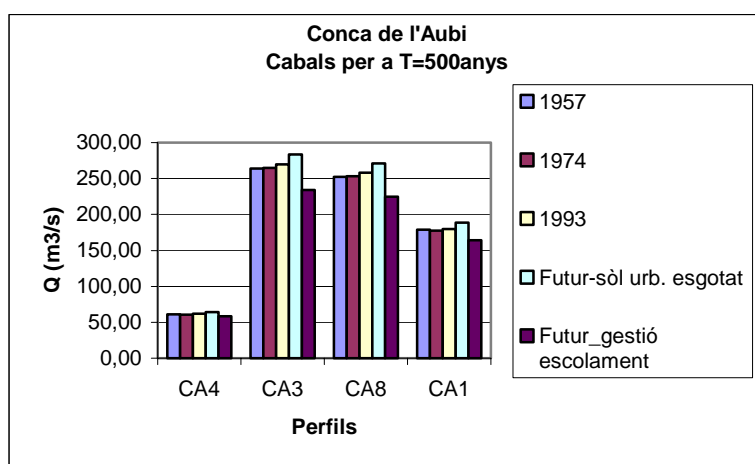
Per tant, es pot afirmar que les dades recopilades en la present tesi s'ajusten més a la realitat i per aquest motiu reforça encara més les dades de cabals màxims obtinguts.

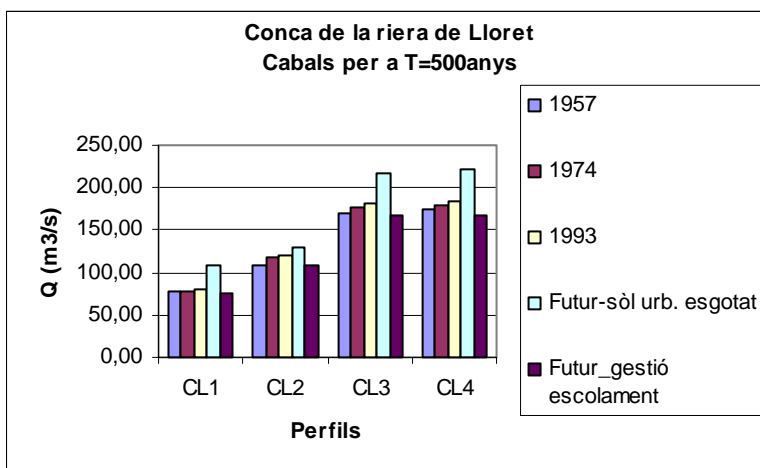
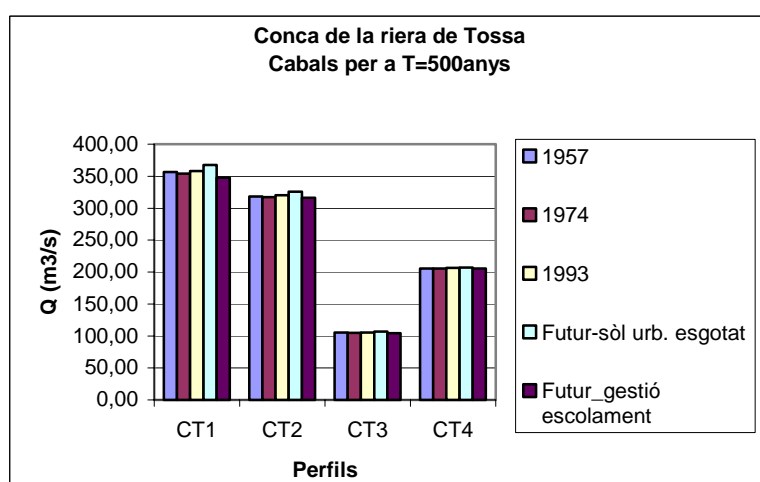
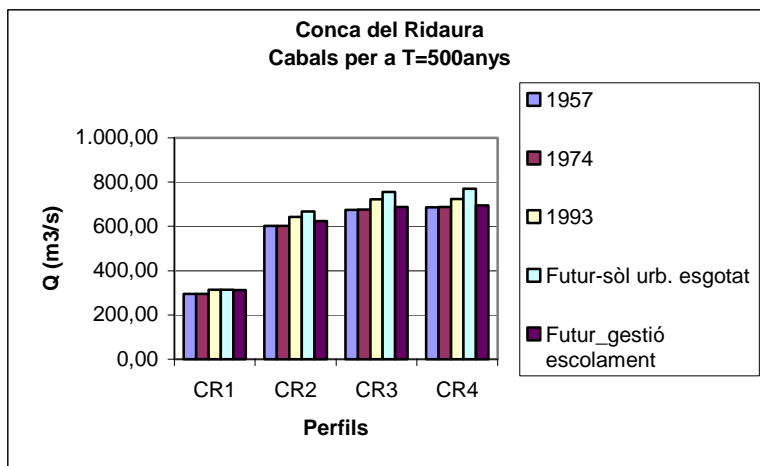
Dels càlculs de cabals màxims, a banda de la utilització d'aquests per a la representació de les seccions i la zonificació de les àrees inundables, se'n poden extreure una sèrie de conclusions. Aquestes il·lustren el procés que ha patit el litoral de la Costa Brava Meridional en els últims 40 anys i de com pot arribar a transformar-se en un futur proper amb la magnificació del risc d'inundacions que això comporta.

Caldria comentar, abans de llegir les conclusions extretes, que es pot comprovar ràpidament que al augmentar l'àrea de la conca o el període de retorn, el cabal màxim augmenta, tal com demostra l'equació de Manning. Per aquest motiu, tots els comentaris dels resultats dels càlculs de cabals màxims aniran dirigits en com aquests han canviat amb el pas del temps com a conseqüència del canvi dels usos del sòl o la hipotètica gestió d'aquests usos per a la mitigació al risc d'avingudes. A tall d'exemple es presenten a continuació les gràfiques de cabals màxims esperats de diferents seccions, per a cada conca principal estudiada, per als diferents anys estudiats, i per a un període de retorn de 500 anys (Gràfiques de 8.5 a 8.9).

En aquesta memòria per a la discussió dels resultats no s'han contemplat els altres períodes. De l'estudi comparatiu se'n dedueixen aproximadament les mateixes conclusions, sigui quin sigui el període utilitzat, tot i que l'increment percentual degut a la impermeabilització de la conca esdevé major per a períodes de retorn curts (Sala, 2003). Les conclusions extretes també es fonamenten en l'anàlisi dels mapes d'usos del sòl per al càlcul del coeficient d'escolament.

En quant a la representació territorial de les conques i subconques i la situació de les seccions es presenta al capítol d'hidrometeorologia. La classificació del territori en unitats homogènies de llinar d'escolament ja han esta presentats a les figures de 8.4 a 8.8.





Gràfiques 8.5 a 8.9.- Cabals màxims per a T=500 anys, de diferents seccions de les conques de Lloret, Tossa, Ridaura, Calonge i Aubi

De forma generalitzada en gairebé totes les conques i subconques, amb la única excepció de les parts baixes de la conca de la riera de Lloret (CL2, CL3 i CL4), el pas dels cabals estimats per al usos del 1957 al 1974 disminueixen sensiblement o es mantenen constants. Això respon al fet que durant aquesta etapa es dugué a terme un progressiu abandonament dels camps amb un consegüent augment de l'extensió forestal, ús del sòl amb un llindar

d'escolament superficial major. En el cas de la plana final de la riera de Lloret aquest fenomen de disminució no es va donar pel fet que ja en aquella època hi havia pocs camps i l'augment urbanitzador ja havia començat, passant de l'1% del municipi el 1957 al 4,5% del municipi el 1974 (Nuell, 2002).

En quant a la variació de cabals màxims estimats durant el període 1974-1993, l'augment d'aquests ha estat molt suau i homogeni en tots els àmbits estudiats, suposant de mitjana un increment de l'ordre del 3%. Durant aquesta època és quan proporcionalment l'àrea total de sòl urbà creix més, alhora que disminueix l'ocupació del bosc (que havia augmentat en èpoques anteriors), i continua imparable la disminució de les àrees de conreu i matollar.

Malgrat l'augment força homogeni, en el cas de la conca del Ridaura aquest és força més espectacular, augmentant el pic d'avinguda fins a gairebé 6 %. Avaluant només l'increment del sòl urbà, durant aquest període el quocient de creixement de sòl urbà (vegades que s'han de multiplicar les hectàrees de 1957 per donar les del 1993) ha sigut molt més important per exemple a Calonge (4,6) i Lloret (4,6) que no pas Castell-Platja d'Aro (2,8) o Santa Cristina d'Aro (4,1) (Nuell, 2002). Per tant seria d'esperar que l'augment més notori en els cabals màxims fossin per la riera de Calonge i Lloret respectivament. El fet que aquest augment de cabals punta sigui més accentuat en el Ridaura rau en el fet que, mentre en la resta de conques i subconques la disminució de tots els usos del sòl es donen en detriment de l'augment del sòl urbà, en el cas del Ridaura es dona la sinergia següent: per una banda hi ha l'augment de la trama urbana ocupant conreu i sobretot bosc (disminuint notablement la capacitat de retenció de l'escolament superficial) i per altra banda un increment de l'extensió del matollar (també amb una capacitat inferior de retenir l'escolament superficial) a la zona de la capçalera, ocupant també zones boscoses. Per tant aquest augment dels cabals punta en la conca del Ridaura es deu per una banda al creixement urbanístic però també per al canvi de vegetació. Aquest augment del matollar podria estar relacionat amb els símptomes d'una mala gestió forestal, en què després d'una tala a *mata rasa* no s'hagués procurat deixar arbres llavorers o efectuar una bona regeneració amb plançons. Aquesta pretèrita activitat forestal es veu palesa amb la gran quantitat de camins de desembosc, analitzats en el capítol d'erosió antròpica anterior, caracteritzats per ser d'amplada mitjana de 2-3 metres, amb molta densitat d'aquests i fent ziga-zagues molt juntes per salvar els grans desnivells.

A banda de l'anàlisi històrica, tal com es descriu més amunt, s'ha volgut estudiar dos escenaris hipotètics; l'un en què tot el sòl urbanitzable, previst pels diferents Plans Generals d'Ordenació Urbana, es convertís en urbà i l'altre en què en aquest mateix entramat urbà s'hi apliqués una política de gestió descentralitzada de l'escolament superficial (LID, vegeu l'apartat anterior referent al càlcul de l'escolament superficial), reproduint aquest com si es tractés d'ús del sòl natural (bàsicament bosc).

En el primer d'aquests escenaris, l'augment del cabal punta degut a un canvi de l'ús del sòl també es fa palès en totes les conques estudiades, essent de l'ordre del 5%. En tots els casos aquest augment del sòl urbà en forma de *taca d'oli* envairia principalment el bosc, passant de l'ús més favorable per a la reducció de l'escolament superficial, alhora que també protector natural davant el risc d'erosió, a l'ús del sòl en què tota la precipitació contribueix directament al cabal punta de les rieres. On el canvi seria més accentuat és a la conca de la riera de Lloret, amb un augment màxim del cabal punta de l'ordre del 30% (CL1), entre les dades del 1993 i les hipotètiques futures. Aquest municipi ja del 1957 al 1993 havia multiplicat per 40 les hectàrees destinades a urbà, i el PGOU preveu una gran proliferació d'urbanitzacions a les vessants de les muntanyes.

En quant al segon escenari, a les subconques de les capçaleres els cabals punta es mantindrien gairebé iguals i només en subconques amb una major participació de les planes finals, aquesta cabals es veurien reduïts notablement (de l'ordre del 10-15%). Per una banda, seria en les conques a on en el primer escenari futur donaria els casos més desfavorables, on la reducció del cabal punta com a conseqüència de la gestió de l'escolament superficial seria major. Com a conseqüència d'això, també és en les diferents subconques de la riera de Lloret on aquesta millora quedaria molt més accentuada, de l'ordre del 30% de disminució de cabal punta. Per altra banda cal dir que hi ha subconques, fent referència a les de la riera de Calonge i Aubi, que tot i que l'augment previst de l'entramat urbà no és dels més accentuats, la millora aplicant el LID és proporcionalment destacable. Aquest fet és perquè són planes amb una extensió de conreu relativament elevada, ús del sòl amb un coeficient d'escolament superficial més baix que el que es donaria en el cas de l'aplicació de les microtècniques de gestió de l'escolament en el sòl urbà.

8.3.1.- Zonificació d'àrees inundables i seccions

Fruit d'un intens treball de camp i anàlisi de gabinet s'han definit les zones que es podrien veure afectades per inundacions de mitjana i gran magnitud. Aquestes principalment són les que es produirien en el cas en què ocorregués un fenomen plujós amb un període de retorn de 100 i 500 anys, respectivament, i per a l'escenari hipotètic en que s'esgotés o es convertís tot el sòl urbanitzable a urbà (gran impermeabilització de les conques). Per a la confecció d'aquesta delimitació s'ha partit de:

- els resultats dels cabals màxims estudiats en diferents seccions al llarg de les rieres del nostre àmbit d'estudi,
- criteris geomorfològics a partir de l'anàlisi del territori mitjançant fotointerpretació, i

- l'anàlisi tridimensional de les zones planes mitjançant les eines 3D-Analyst i Water Layer de l'ArcView 3.2.

Lligat amb el tema de l'elecció del període de retorn més adient alhora de construir i planificar qualsevol edificació o infraestructura que es pugui veure afectada pel curs d'un riu o riera, cal destacar la unificació de criteris adoptats per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), aprovades pel Consell d'Administració de l'Agència el 28 de juny de 2001, referents als aspectes tècnics a considerar a l'hora de fer els informes que l'administració urbanística ha de sol·licitar a aquesta agència en la tramitació dels diferents instruments de planejament urbanístic. En aquest sentit l'ACA ha volgut realitzar un document per tal que no apareguin ambigüitats a l'hora de definir les diferents zonacions, que fa la *Ley 29/1985 de Aguas (LA)*, sobre el Domini Públic Hidràulic (zona inundable ordinària), Zona de Policia (100 metres d'amplada) i Franja de Ribera o de Servitud (5 metres d'amplada). Així mateix, vol pretendre unificar la terminologia en relació amb la llera i el seu àmbit d'influència tant per la pròpia agència com per a les empreses privades.

Les definicions són les següents:

1. **Zona fluvial (ZF).** Ve definit per la franja delimitada per la línia de cota d'inundació de l'avinguda de període de retorn 10 anys (Figura 8.9). Aquest terme pretén eliminar l'ambigüitat del terme legal del Domini Públic Hidràulic englobant tant la llera legal com la seva zona d'influència immediata o llera escosistèmica. L'ambigüitat venia donada per la diferent torrencialitat dels diversos rius a considerar, que amb la definició del cabal de període de retorn 10 anys (Q_{10}) resta acotada a un nivell superior.

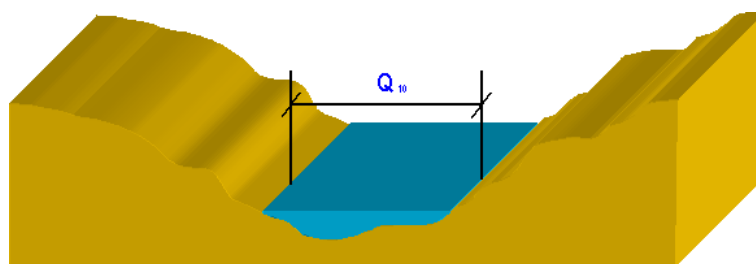


Figura 8.9.- Zona Fluvial. Segons Agència Catalana de l'Aigua

L'estudi hidràulic del riu per a determinar la franja inundable amb el cabal de període de retorn de 10 anys cal realitzar-se tinguent en compte els aspectes de caràcter històric, geomorfològic i biològic per tal de complementar la seva definició. L'estudi d'aquests aspectes definiran l'evolució històrica de la llera, existència de lleres secundàries recuperables, zones de vegetació de ribera i d'altres característiques definitòries del sistema

En aquesta franja o franges no és aconsellable permetre-hi **cap ús**. Segons l'ACA es considera que només poden dur-se a terme tasques de manteniment de la vegetació destinades a afavorir-ne un creixement equilibrat i alhora, mantenir una capacitat hidràulica mínima. Les intervencions han de ser autoritzades i tutelades per la pròpia agència. En aquest apartat ja queda palès la prohibició total dels possibles abocaments de terres que s'han detectat en la zona d'estudi.

En quant a les infraestructures canalitzades, cal evitar que passin per la zona fluvial amb la idea de què el domini públic hidràulic és una franja vital a respectar i no un espai per a ubicar-hi diferents serveis. En cas que això no sigui possible, sempre amb el permís directe de l'ACA caldrà fer l'obra tenint en compte el règim d'avingudes, l'erosió potencial total, la naturalesa del fons de la llera i la seva capacitat de desguàs.

2. **Sistema hídric (SH).** El terme de "sistema general hídric" va ser proposat en les "Jornades Parlamentàries sobre prevenció de riscos relacionats amb l'aigua", celebrades a Madrid el 24 i 25 de novembre de 1997. Sota aquest concepte es pretén integrar l'ordenació de la llera i de la seva àrea d'influència dintre del procés de planificació territorial i urbana (Figura 8.10).

Aquest "sistema hídric" de protecció fluvial, s'ha de definir a partir de criteris basats en la consideració de valors ecològics, naturals i espacials associats als cursos fluvials, observant alhora determinades normes i recomanacions tècniques hidràuliques de prevenció, definides en la planificació hidrològica i concretades sobre el territori per la planificació territorial, dins de les quals cal considerar el risc d'inundació com a factor clau per a la protecció de sòl.

Com que aquesta planificació actualment no està disponible, l'agència ha proposat considerar el SH, tal i com es pot observar a la figura següent, com la zona ocupada pel cabal previst per a un període de retorn de 100 anys. Aquest criteri s'hauria de complementar amb consideracions de caràcter històric, geomorfològic i biològic.

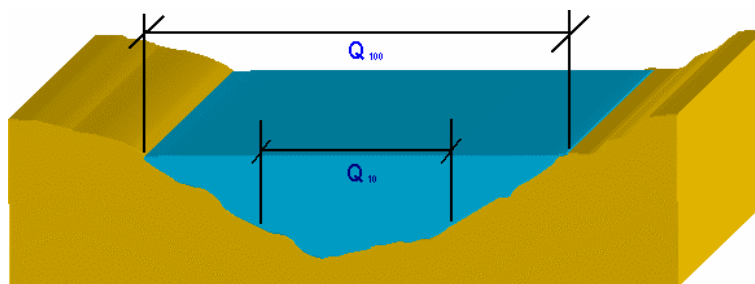


Figura 8.10.- Sistema hídric. Segons Agència Catalana de l'Aigua

Mentre en el planejament urbanístic el Sistema Hídric no estigui reflectit, els usos que hi estarien permesos, sempre fora de la Zona Fluvial, serien els següents:

- a. Ús agrícola: terres de conreu, pastura, horticultura, viticultura, gespa, silvicultura, vivers a l'aire lliure i conreus silvestres. No es permeten els hivernacles ni tancaments de cap classe entre parcel·les.
 - b. Ús industrial-comercial: zones verdes.
 - c. Usos residencials: gespa, jardins, zones de joc degudament senyalitzades.
 - d. Usos recreatius públics i privats: camps de golf, pistes esportives a l'aire lliure, zones de descans, zones de natació, reserves naturals i de caça, parcs, vedats de caça i pesca, circuits d'excursionisme o d'equitació. La implantació d'aquestes activitats recreatives no pot suposar, en cap cas, l'alteració significativa de les condicions naturals dels terrenys afectats.
 - e. Les estacions de bombament, tant d'aigües residuals com potables, es podran situar en el SH, sempre que els accessos es localitzin a una cota en la que no es produeixi la condició d'inundació greu per a l'avinguda d'un període de retorn de 500 anys.
 - f. Les infraestructures canalitzades soterrades degudament protegides front a l'erosió en avinguda, només es poden autoritzar de forma excepcional i prèvia justificació com a única alternativa viable. No s'haurien d'autoritzar en cap cas, instal·lacions per al transport de productes que puguin representar un risc de contaminació del Domini Públic Hidràulic.
3. **Zona inundable (ZI).** Es defineix per la franja delimitada per la línia de cota d'inundació de l'avinguda de període de retorn de 500 anys (Figura 8.11).

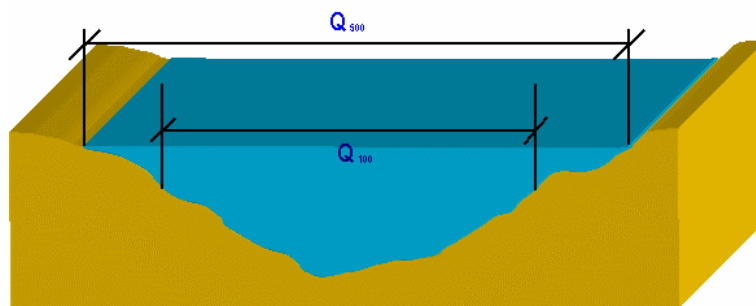


Figura 8.11.- Zona inundable. Segons Agència Catalana de l'Aigua

L'estudi hidràulic del riu per a determinar la zona inundable amb el cabal de període de retorn 500 anys cal que es faci considerant les condicions de contorn que afecten l'anàlisi del tram estudiat i el seu règim hidràulic. A més, cal considerar aspectes de caràcter històric, geomorfològic i biològics.

Els usos permesos dins de la ZI, però fora ZF i SH, no són tan per a aspectes hidràulics sinó més aviat per evitar danys importants. Concretament, l'ACA ha proposat les següents limitacions:

- a. Les futures edificacions de caràcter residencial haurien de situar-se a una cota tal que en el cas de produir-se una avinguda amb un període de retorn de 500 anys, la inundació no arribés a moderada.
- b. Les zones d'acampada dels càmpings han de quedar sempre fora de la zona d'inundació de l'avinguda de període de retorn 500 anys.
- c. Les futures edificacions de caràcter comercial-industrial haurien de situar-se a una cota tal que en el cas de produir-se una avinguda amb un període de retorn de 500 anys, la inundació no fos greu. Aquestes mateixes condicions caldria aplicar-les a les estacions depuradores d'aigües residuals (E.D.A.R.) de caràcter convencional i a les instal·lacions associades a estacions de tractament d'aigües potables (E.T.A.P.). En canvi, per a les EDAR de tipologia verda, l'únic condicionant serà el de situar-se fora del SH.
- d. A la zona inundable caldria prohibir la instal·lació d'abocadors de qualsevol tipus.

Finalment cal esmentar que les tres zones definides com a zona fluvial (ZF), sistema hídic (SH) i zona inundable (ZI) es superposen, quedant sempre compreses una dins l'altra. Els usos permesos proposats en cada cas serien sempre els corresponents a la limitació més restrictiva.

A banda d'aquests criteris i definicions, l'ACA també en proposa d'altres, tot i que en fase d'aprovació pel seu Consell d'Administració. A tall de resum, i descrites en Montalbán et al. (2003), aquestes són:

- Zona d'Inundació Peril·losa (ZIP)
- Via d'Intens Desguàs (VID):
- Zona d'Inundació Greu
- Zona d'Inundació Moderada

Com a conseqüència dels criteris tècnics definits anteriorment, en què la definició de la ZI és la més restrictiva i que alhora conté dins els seus límits la ZF i el SH, malgrat haver calculat totes les sèries de paràmetres necessaris per al càlcul de cabals per a diferents períodes de retorn, en el **Mapa 2.- Dominis Morfodinàmics** de l'annex, s'han presentat solament la delimitació de la Zona Inundable (superfície inundable corresponent a una situació

hidrològica d'elevada intensitat (T=500 anys)) i el Sistema Hídric (superfície inundable corresponent a una situació hidrològica de mitjana intensitat (T=100 anys)).

Tal com es descriu en el mètode d'aforament postriuada, l'equació de Manning, ens ha permès efectuar el càlcul del cabal màxim que admeten una sèrie de seccions. Per tant, la diferència entre el cabal que admet aquella secció determinada sense que sobrepassi els marges de la llera ordinària, i el cabal previst per al període de retorn corresponent, calculat a partir del mètode hidrometeorològic o racional, ens dóna el cabal desbordat per a diferents períodes de retorn. Aquesta dada ens ha permès establir la cota en què arribaria l'aigua en cas de desbordament.

Tots els talls transversals representatius perpendiculars al tàlveg, també mostrats al Mapa 2 dels annexes, ens han ajudat enormement a l'hora d'establir l'extensió de les zones inundables, alhora que ens han permès caracteritzar i quantificar amb dades reals els principals punts crítics de les conques hidrogràfiques estudiades. Tots aquests perfils representatius es presenten a continuació.

8.3.2.- Punts Crítics

De tots el talls transversals efectuats a les rieres principals estudiades, se n'ha fet una selecció dels més representatius. La selecció s'ha basat en el fet que hi hagués una representació de talls al llarg del curs de les rieres i a ser possible que fos un punt crític pel que fa a la capacitat hidràulica. Aquests per tal d'identificar-los, situar-los i caracteritzar-los s'han presentat en forma de fitxes que es presenten a l'apartat d'annexes. De totes maneres la principal intenció de la realització d'aquestes fitxes és que siguin consultables en el SIG d'aquesta tesi *clicant* al perfil hidràulic corresponent (*hot link*).

9.- DOMINIS MORFODINÀMICS

L'estudi integrat dels diferents processos dinàmics, que actuen a nivell de conca, i de les seves formes resultants, ens ha permès identificar en les principals conques de l'àmbit d'estudi àrees caracteritzades per un comportament geomòrfic uniforme.

En aquesta tipologia d'àrees, que hem denominat dominis morfodinàmics, els processos que s'hi desenvolupen s'organitzen espacialment i temporal d'una determinada manera. Són conseqüència d'una distribució i magnitud dels canvis geomòrfics desencadenats per precipitacions màximes.

La classificació que es proposa és fruit d'una visió de conjunt de la conca. Es basa en dues escales temporals de models d'evolució del paisatge que es fonamenten en aquestes visions integrades: la proposta de Davis (1899), extreta de Gutiérrez (2001), (Figura 9.1), que avarca una escala temporal de centenars de milers a milions d'anys, i classificacions

d'evolució morfodinàmica de canals inestabilitats realitzades per Simon (1989) i USACE (1990), sintetitzades en USDA (1998) i Schumm et al. (1984), en aquest cas amb períodes curts de desenes a centenars d'anys (Figura 9.2).

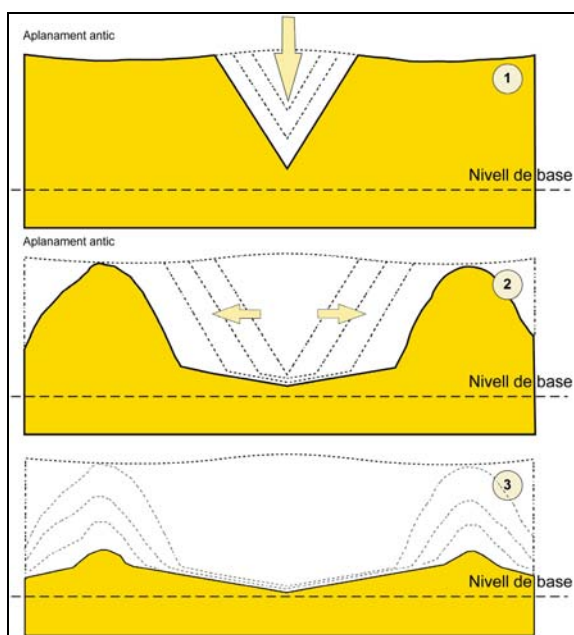


Figura 9.1.- Model d'evolució del paisatge proposat per Davis (1899) (Gutiérrez, 2001)

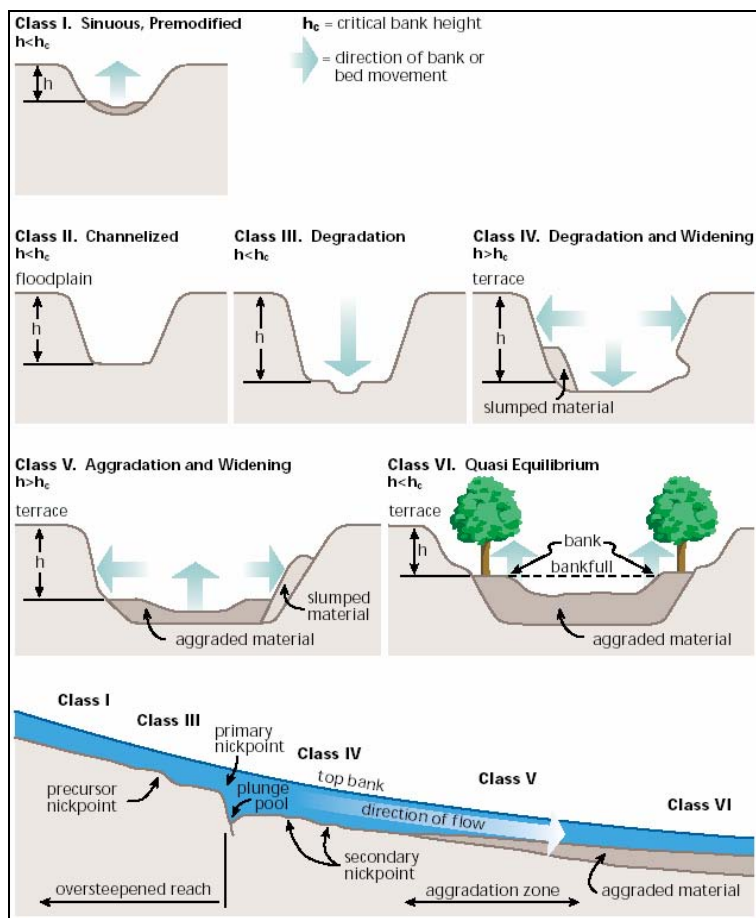


Figura 9.2.- Model d'evolució del canal inestabilitzat (reproducció d'USDA, 1998)

En conseqüència, les àrees que hem diferenciat es caracteritzen per formes de conjunt fruit de dilatats lapses temporals i per formes i processos d'àmbit local que desenvolupen canvis geomòrfics en períodes curts de temps, i per tant, que poden interferir en l'activitat humana.

Cadascuna de les zones cartografiades que formen part d'un determinat domini morfodinàmic presenten, majoritàriament, característiques pròpies d'aquest. Com a principal criteri cartogràfic diferenciador s'ha fonamentat en el comportament global de l'entitat. Els processos dominants identificats en aquests seran els que definiran el comportament del conjunt de l'àrea.

Així mateix, a nivell cartogràfic, tot i haver emprat bàsicament els límits dels dipòsits sedimentaris, aquests límits entre dominis han de ser considerats flexibles ja que varien en funció del grau de detall de l'estudi morfodinàmic. Els treballs realitzats han quedat sintetitzats cartogràficament en el **Mapa 2.- Dominis Morfodinàmics**, de l'apartat d'annexes. Tot seguit se'n descriuen les principals característiques.

9.1.- Domini morfodinàmic 1 (*cursos incisius*)

Són aquells cursos fluvials en els quals els processos incisius, d'erosió de fons del tàlveg, hi són dominants (Figura 9.3).

S'inclouen en aquesta categoria tots aquells estadis evolutius que manifesten una progressiva degradació dels canals, sense que hi hagi una acumulació temporal significativa de sediments. Serien equivalents a classes II a IV de Simon (1989) i USACE (1990), i a les 1 i 2 de Schumm et al. (1984).

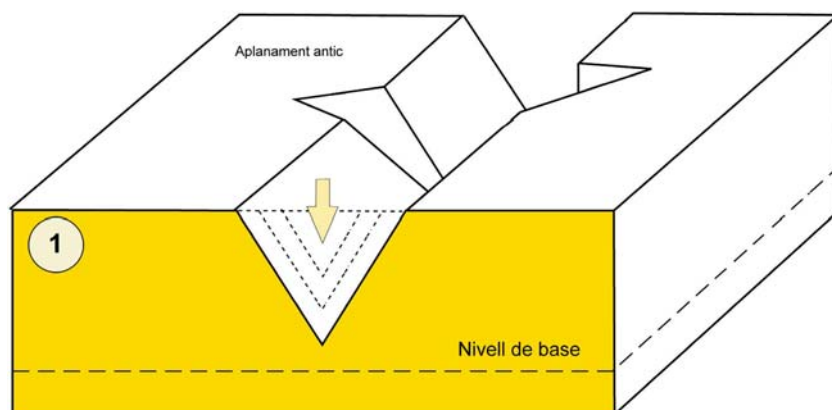


Figura 9.3.- Esquema del domini morfodinàmic 1

Característiques morfològiques

Són les valls que es localitzen en les zones de la capçalera de la conca i, a escala detallada, en determinats barrancs i torrenteres que es desenvolupen en qualsevol part de la conca. En ambdós casos els relleus són força acusats. En conjunt, per a cadascuna de les principals conques estudiades, les superfícies que ocupen es resumeixen a la taula 9.1.

Sistema	Superfície ocupada (km ²)	Percentatge del total de la conca (%)
Aubi	26,21	62,49%
Calonge	47,24	80,26%
Ridaura	57,40	77,46%
Tossa	33,40	86,49%
Lloret	21,81	84,00%

Taula 9.1.- Superfície i percentatge respecte la conca principal del domini morfodinàmic 1

La morfologia dels canals és en forma de "V". Els vessants que delimiten aquests cursos fluvials presenten pendents elevats; normalment superiors al 20%. Els col·lectors principals tenen gradients de fins al 148%. En general, els torrents i barrancs tributaris d'aquestes valls presenten un desenvolupen escàs i no tenen un recorregut gaire important.

En els casos en que el procés incisiu del curs fluvial troba nivells més resistents, com són els dics de quars que travessen perpendicularment la riera de Tossa i Lloret, s'hi solen desenvolupar saltants d'aigua. Són la resposta del sistema fluvial a canvis del nivell de base, originats com a conseqüència de captures, desnivellacions producte de l'activitat neotectònica local o adaptacions als nivells regionals de base (nivell del mar) de la conca.

Processos identificats

Tal com s'observa a la figura 9.2, la incisió provoca que una vegada l'altura del marge de la riera superi la crítica ($h > h_c$) els processos d'instabilitat gravitatòria hi seran dominants.

En els vessants, els moviments en massa constitueixen el procés principal, tractant-se majoritàriament de desprendiments de blocs. A aquest procés cal afegir-hi un factor agreujant detectat: la vegetació arbòria, sobretot pins, desenvolupen arrels seguint fractures de distensió dels granitoides accelerant aquest tipus d'erosió.

En aquestes zones els màxims pluviomètrics originen ràpides crescudes del nivell de les aigües d'escolament superficial en el fons de les valls, on les seccions són molt estretes. Els sediments generats o acumulats prèviament són evacuats mitjançant fluxos amb una càrrega sòlida important, que, generalment, són dipositat en zones de canvis de pendent acusats. L'estudi dels sediments d'avingudes indica que el fluxos del tipus *debris flow* en són els dominants.

Els trets sedimentològics i geomorfològics dels dipòsits d'avingudes corresponen a un flux de sediments (Costa, 1988) amb les particularitats de medis granítics (Palacios et al., 2003) Per què es desenvolupin aquests dipòsits són necessàries unes precipitacions d'elevada intensitat que originin inundacions sobtades (*flash floods*). Aquestes no solen ser freqüents i l'interval de recurrència per a la gènesi d'aquests dipòsits s'estima d'entre els 300 i 10.000 anys (Costa, 1988).

Els pendents elevats provoquen que la infiltració sigui baixa i quan es desenvolupa un flux subsuperficial aquest té un recorregut molt curt. En conseqüència, en aquest domini morfodinàmic la capacitat de retenció hídrica és baixa. A nivell de circulació subterrània es determinen gradients hidràulics força elevats per l'acusat pendent del sòcol rocós que actuarà debilitant la base dels vessants.

9.2.- Domini morfodinàmic 2 (valls de fons pla)

Es tracta d'aquells cursos fluvials en els quals els processos d'eixamplament lateral -erosió dels vessants- dominen respecte als d'erosió del fons del llit fluvial. Com a conseqüència, es veu afavorida l'acumulació de sediments en el fons de les valls, fet que determina la seva morfologia plana (Figura 9.4).

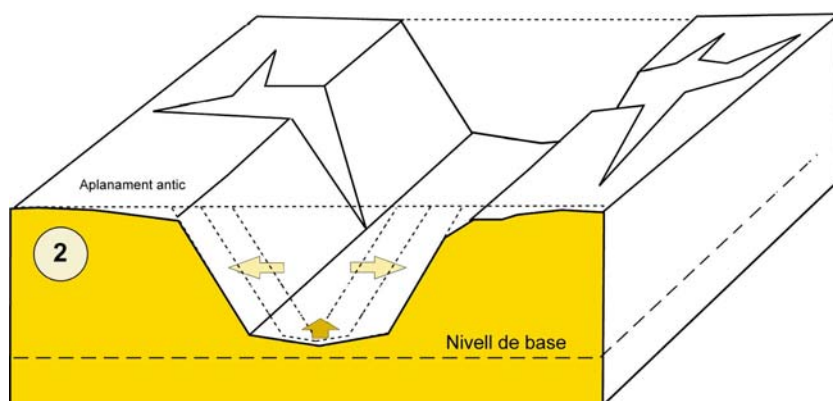


Figura 9.4.- Esquema del domini morfodinàmic 2

Aquest domini representa un estadi evolutiu equivalent, a nivell de processos actuant en un canal inestabilitzat, a les classes V i VI de Simon (1989) i USACE (1990), i a la classe 3 de Schumm et al. (1984).

Característiques morfològiques

Es troben en diversos contextos i sovint són continuació, aigües avall, del morfoambient anterior. En aquest cas el relleu encara és força acusat.

La morfologia característica són els fons de vall aplanats, conseqüència de l'acumulació de sediments. La major evolució de les formes determina que els valors dels pendents dels vessants (entre 20 i 2 %), i gradients dels col·lectors principals (de fins a 60 %) siguin més baixos que en el cas de la tipologia anterior. En general, els torrents i barrancs tributaris d'aquestes valls principals presenten un desenvolupament areal superior als del domini anterior.

En conjunt, per a cadascuna de les principals conques estudiades, les superfícies que ocupen es resumeixen a la taula 9.2.

Sistema	Superfície ocupada (km ²)	Percentatge del total de la conca (%)
Aubi	0,24	0,56%
Calonge	2,99	5,08%
Ridaura	3,46	4,67%
Tossa	4,03	10,44%
Lloret	2,78	10,70%

Taula 9.2.- Superfície i percentatge respecte la conca principal del domini morfodinàmic 2

Processos identificats

En aquest domini morfodinàmic els processos gravitatoris són encara força importants. En determinades valls, aquests processos *-debris flow*, principalment- determinen el desenvolupament de ventalls al·luvials que han arribat a provocar represaments de la vall principal.

Aquesta particular fenomenologia ha estat estudiada en detall en les valls del Torrent dels Oms i a la vall de la riera de Tossa, les quals pertanyen a la conca principal d'aquesta última.

La situació d'aquests dipòsits quaternaris amb les respectives conques analitzades es presenten a la figura 9.5. El resultat de l'anàlisi morfomètrica es presenten en la gràfica 9.1. Cal destacar que s'han trobat dues anomalies, corresponents a les subconques número 2 i 10. Es pot observar que buscant la línia de correlació amb tots els punts (línia prima) dóna una $R^2=0,1137$. Per contra, deixant de banda les dues dades anòmales, la correlació s'ajusta molt bé a una recta (línia gruixuda), amb una $R^2=0,959$.

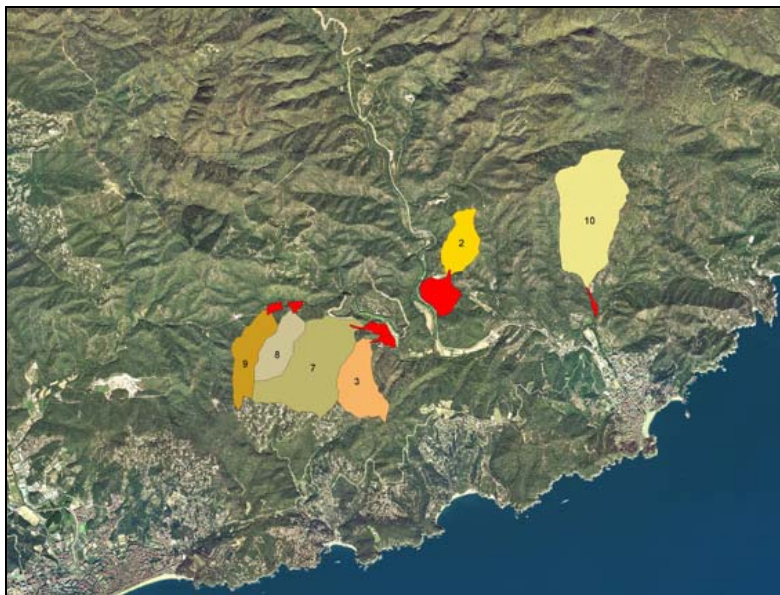
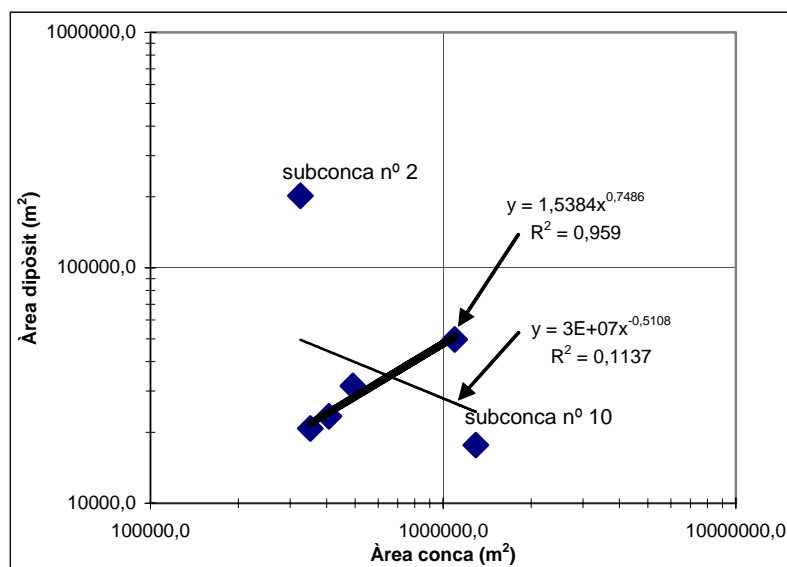


Figura 9.5.- Situació de les subconques amb els respectius ventalls al·luvials estudiats de la conca de la riera de Tossa



Gràfica 9.1.- Àrea subconca versus àrea del dipòsit

Tal i com s'observa en la imatge on s'han representat les subconques estudiades (amb colors verdosos), amb els respectius ventalls al·luvials (de color vermell), ja s'intueix l'anomalia de les subconques 2 i 10. La primera per tenir un ventall exageradament gran (Pla de Sant Benet i Pla de cal Rull) per una conca tant petita i la segona per tenir un ventall molt petit en front de la conca molt més gran. Aquest últim cas es pot dir que té menor importància ja que altres subconques, no presenten ventall al·luvial i per tant tampoc s'han representat.

L'anomalia corresponent al cas de la subconca 10 podria ser deguda a una edat d'aquest dipòsit diferent de la resta d'acumulacions mesurades. Si es tracta d'un dipòsit més recent es podria associar a un període de menor activat morfodinàmica que aquells que es van donar durant episodis geològics més antics i que van donar lloc a la resta d'acumulacions.

En el cas dels dipòsits relacionats amb la conca número 2 (Pla de Sant Benet i Pla de cal Rull) aquesta hipòtesi no sembla tant viable, en tant que ocupa una posició altitudinal força similar a la resta de ventalls al·luvials. A més a més, les característiques litològiques i la seva forma en planta són diferents de la resta d'acumulacions. En aquest cas les fraccions fines són dominants front les mitjanes-grolleres (en superfície s'observa un domini de materials argilosos i llimosos). La seva morfologia en planta és molt aplanada, en camp no s'observa cap indicatiu de pendents deposicionals propis dels ventalls al·luvials.

Valorades diverses hipòtesis creiem que es podria tractar d'acumulacions originades com a conseqüència del represament de la vall. Existeixen indicis geomorfològics que permeten apuntar l'origen de l'obstrucció en l'actuació de moviments en massa i/o desnivellacions producte d'una activitat neotectònica.

En el cas dels ventalls genèticament associats a mecanismes de *debris flow*, l'activitat neotectònica d'alguna de les fractures existents a la conca s'associa al desenvolupament d'aquestes acumulacions, ja que els nivells de base dels torrents que generen aquests dipòsits es troben alineats per fractures recents. Aquesta relació observada entre fracturació neotectònica i allaus pot ser utilitzada com a element de prevenció d'aquest fenomen.

Les característiques geomètriques d'aquests dipòsits han estat estudiades en el Pla de Sant Benet (provenint de la subconca 2) i al pla de can Samada (provenint de la subconca 7) mitjançant prospecció geofísica sísmica per refracció. L'equip emprat ha sigut el sismògraf SmartSeis Exploration Seismograph 26325-01 REV.B de la casa GEOMETRICS, INC., format de 12 geòfons, amb un dispositiu de 50 metres i un espaiat de 5 metres entre geòfons, menys el primer i l'últim (2,5m). Pel que fa al càlcul dels temps de les primeres

arribades analitzant els sismogrames, la interpretació de les diferents dromocrones i l'obtenció de les seccions de profunditat dels diferents refractors, s'han calculat mitjançant el programa informàtic SIPT2 v4.1 (Rimrock Geophysics Inc., 1995). Els resultats d'aquest programa es basen amb un model interpretatiu desenvolupat pel U.S. Bureau of Mines; els càlculs es realitzen mitjançant el mètode Temps de Retard o "delay-time" per al càlcul de la profunditat per a cada geòfon, introduït per Gardner (1939).

Recordem que les característiques d'aquests dipòsits també serveixen per descriure la unitat aquífera sedimentària, tractada al capítol d'Aigües Subterrànies.

S'han seleccionat aquests pel fet que el terreny és relativament pla, són propers entre ells, són de fàcil accés i perquè no estan ocupats urbanísticament, fet que dificultaria o impossibilitaria la pràctica d'aquesta tècnica. La localització dels perfils geofísics es mostra a la figura 9.6.

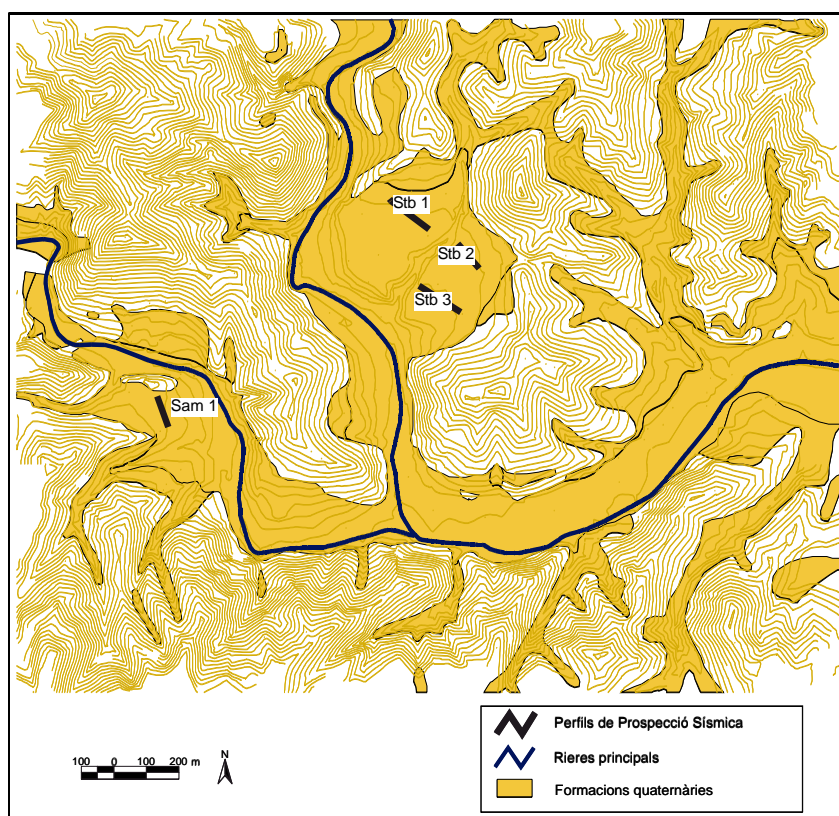


Figura 9.6.- Localització dels perfils de Prospecció Sísmica a la conca de la riera de Tossa

A continuació es descriuen els treballs efectuats, les mesures obtingudes i la interpretació de les dades en forma de seccions per a cada ventall al·luvial.

En el Sector del pla de Sant Benet s'han realitzat 3 seccions o perfils sísmics, el nom i nombre de dispositius de 50 metres dels quals és com segueix (Figura 9.7):

Perfil Stb1 compost per tres dispositius

Perfil Stb2 compost per dos dispositius

Perfil Stb3 compost per tres dispositius

Les mesures aconseguides, els mil·lisegons de les primeres arribades de les ones sòniques en front de l'espai, es presenten en forma de dromocrones. Un cop interpretades s'obté un model de 3 capes o nivells sísmics per al conjunt de seccions investigades. Les velocitats que caracteritzen els nivells sísmics reconeguts, així com la geometria dels refractors que els separen es pot observar a la figura 9.7.

En base a la informació geològica de superfície i la del subsòl disponible s'han interpretat les mesures geofísiques. Per fer-ho s'han establert les següent correlacions:

- El nivell 1, el nivell geofísic més superficial, de velocitats relativament lentes, compreses entre 241 i 306 m/s, associat a sòls, en el senti edàfic del terme. Es tracta d'un nivell altament porós, constituït per terra vegetal, llims, argiles sorrenques i sorres. El gruix d'aquestes capes oscil·la entre els 1 i 4 metres de fondària.
- El nivell 2, corresponent al nivell geofísic intermig, presenta velocitats compreses entre 803 i 1018 m/s, sembla ser que podria pertànyer a un nivell d'argiles sorrenques i/o sorres argiloses amb nivells molt dispersos i poc continus de graves i sorres. Segons dades de pous del pla, en aquesta alçada es troba el nivell freàtic i, en conseqüència, el primer refractor podria ser un reflex del traçat del nivell piezomètric, tot i que aquesta afirmació s'hauria de corroborar amb posteriors estudis. Els gruixos estan compresos entre els 7 i 12 metres.
- Finalment el nivell 3, el refractor basal, que s'ha detectat correspondria al substrat prequaternari o sòcol paleozoic, de velocitats compreses entre 2781 i 3697 m/s. Tal i com es pot comprovar en el mapa litològic, el sòcol està format per leucogranits de gra fi i granodiorites-sienites, cosa que confirma aquestes elevades velocitats.

D'acord amb les correlacions realitzades, els dipòsits investigats estan representats pels dos nivells geofísics més superficials (nivell 1 i 2). En conjunt, en el subsòl investigat, el gruixos que presenten aquests dipòsits són força constants; oscil·len entre els 8 i 16 m.

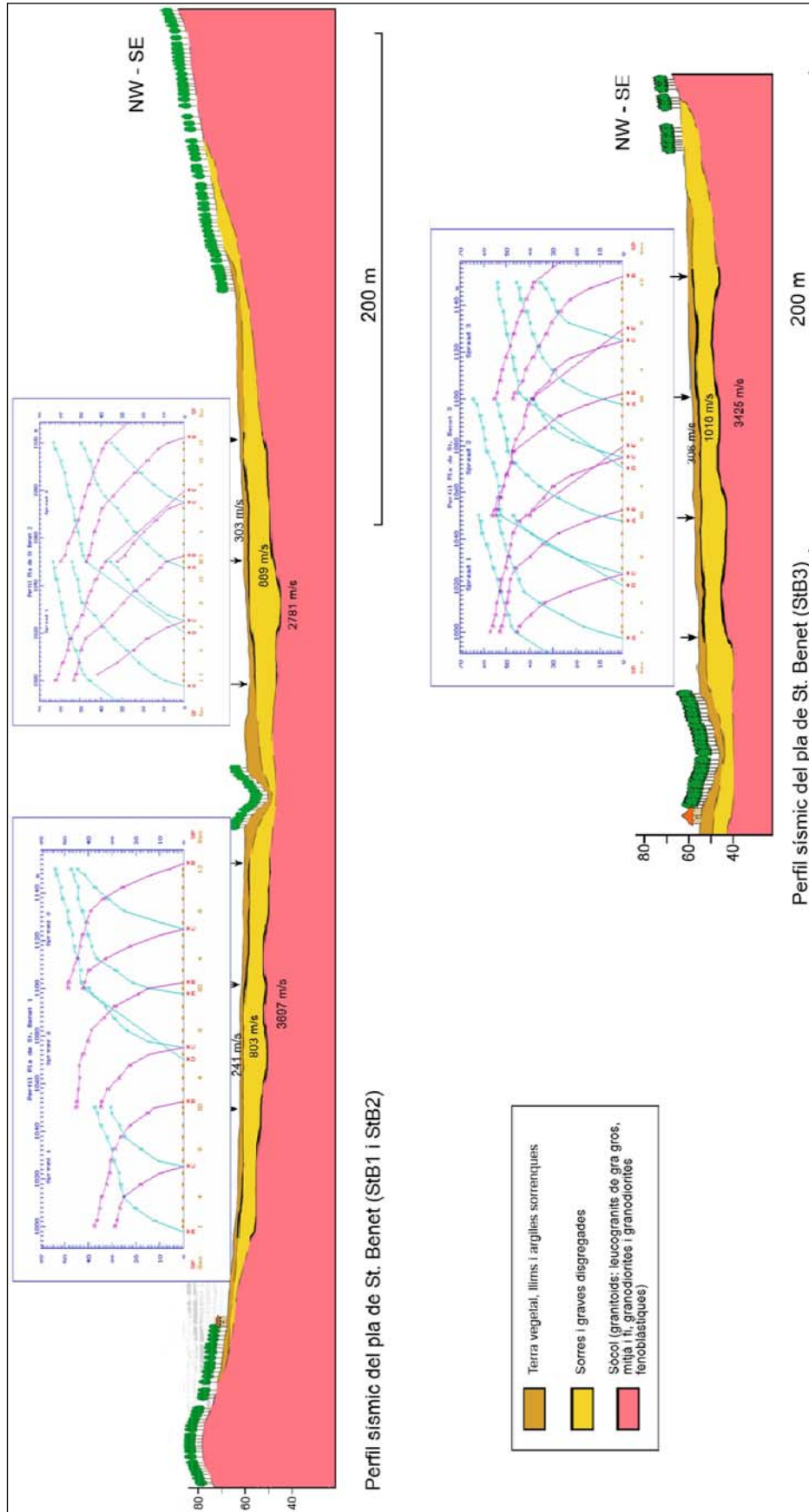


Figura 9.7.- Resultats de la prospecció sísmica per refracció al pla de Sant Benet (Tossa de Mar)

En el Sector de can Samada s'ha realitzat una única secció geofísica anomenada Sam1, composta per dos dispositius de 50 metres.

Igualment, les mesures fetes (dromocrones) i la seva representació gràfica es presenten a la figura 9.8. S'ha obtingut un model de 3 capes o nivells sísmics. Les velocitats que caracteritzen aquests nivells, així com la geometria dels refractors es poden observar en aquesta mateixa figura.

En base a la informació geològica de superfície i la del subsòl disponible s'han interpretat les mesures geofísiques. Per fer-ho s'han establert les següent correlacions:

- El nivell 1, el nivell geofísic més superficial, presenta velocitats relativament lentes, 326 m/s, associat a sòls. Es tracta d'un nivell altament porós, constituït per terra vegetal, llims, argiles sorrenques i sorres. El gruix d'aquestes capes oscil·la entre els 1 i 3 metres de fondària.
- El nivell 2, presenta velocitats de l'ordre de 1012 m/s, sembla ser que podia pertànyer a un nivell d'argiles sorrenques i/o sorres argiloses amb nivells molt dispersos i poc continus de graves i sorres. Els gruixos estan compresos entre els 7 i 17 metres.
- Finalment el nivell 3, correspondria al substrat prequaternari o sòcol paleozoic, de velocitats de l'ordre de 3317 m/s. Tal i com es pot comprovar en el mapa litològic, el sòcol està format per leucogranits de gra gros i granodiorites-sienites, cosa que confirma aquestes elevades velocitats.

A l'igual que en el cas del ventall al·luvial del Pla de Sant Benet, s'opina que el nivell 1 i 2 corresponen als dipòsits quaternaris, i el nivell 3 al substrat de la zona.

Comparant els resultats obtinguts en ambdós sectors, s'observa com els resultats són força similars, tant pel que fa a velocitats com geometries. Destaca el predomini de velocitats més baixes en el sector del pla de St. Benet; aquest fet podria estar en relació amb un major contingut en argiles i llims d'aquests dipòsits.

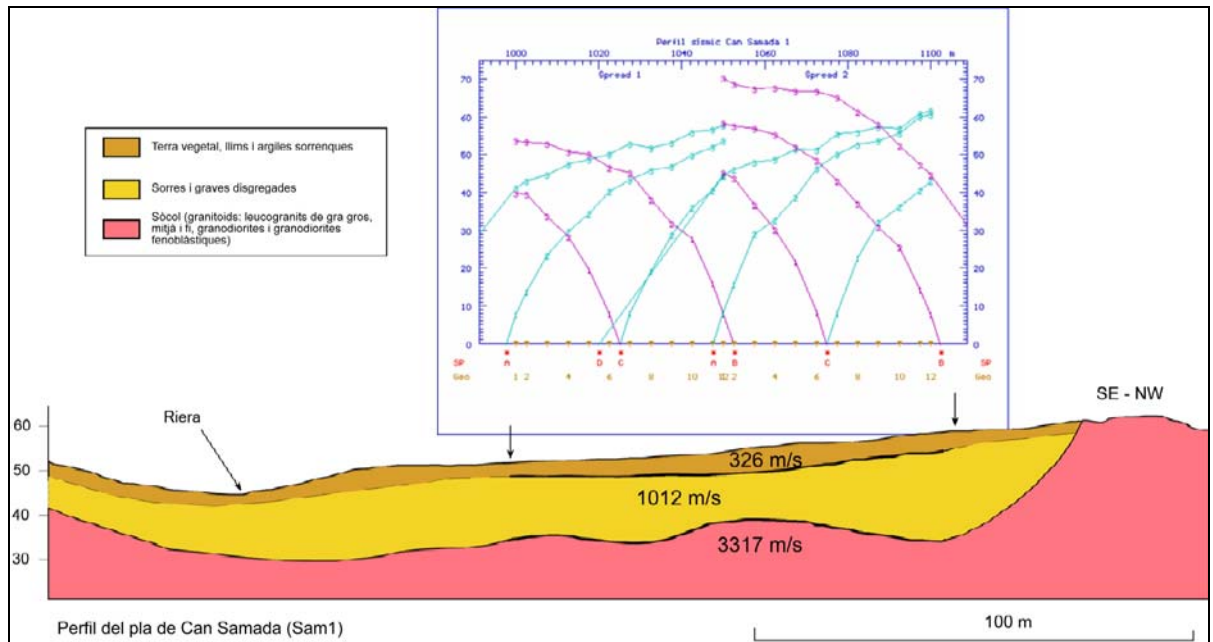


Figura 9.8.- Resultats de la prospecció sísmica per refracció al pla de can Samada (Tossa de Mar)

9.3.- Domini morfodinàmic 3 (rampes laterals)

La progressiva evolució de les valls principals determina la formació d'unes rampes laterals que actuen com a formes de transició entre les zones elevades, dominades pels processos denudatius, i les parts baixes, en les quals les accions de transport i sedimentació són dominants. Aquest domini morfodinàmic es centra en aquesta morfologia (Figura 9.9)

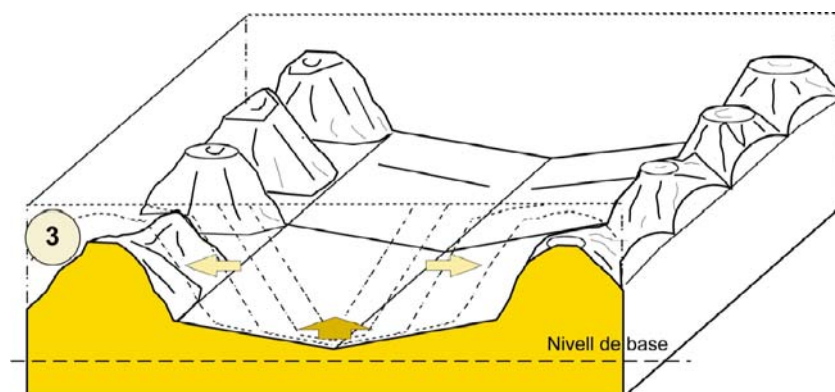


Figura 9.9.- Esquema del domini morfodinàmic 3

Característiques morfològiques

Es troben ben desenvolupades a les conques del Ridaura, Calonge i Aubi; sistemes fluviotorrencials que en general es troben més evolucionats.

Fonamentalment s'hi identifiquen morfologies de caràcter deposicional de tipus ventall al·luvial. En aquest cas els pendents varien entre 4 i 40%.

Localment també corresponen a dipòsits poc gruixuts de tipus al·luvial - col·luvial, acumulats en vessants lleugerament inclinats que connecten progressivament amb la plana al·luvial. Aquests es troben majoritàriament a la conca alta de l'Aubi, a l'entorn de Palafrugell i de Mont-ras. També n'hi ha a banda i banda de la plana al·luvial de la riera de Calonge i esporàdicament a la del Ridaura. Aquests vessants recoberts de sediments tenen pendents d'entre l'1 i 10%.

A la taula 9.3 es mostren les superfícies del domini morfodinàmic 3 que ocupen en conjunt per a cadascuna de les conques principals.

Sistema	Superfície ocupada (km ²)	Percentatge del total de la conca (%)
Aubi	9,25	22,04%
Calonge	5,17	8,79%
Ridaura	4,76	6,42%
Tossa	--	--
Lloret	--	--

Taula 9.3.- Superfície i percentatge respecte la conca principal del domini morfodinàmic 3

Processos identificats

En els ventalls al·luvials els fluxos són imprevisibles i amb importants variacions dins d'un mateix flux i entre els seus successius. Aquests poden estar dominats per l'aigua o per sediments. En aquest últim cas es pot produir una obstrucció dels canals. S'han observat que aquests experimenten importants migracions i són freqüents les avulsions.

Majoritàriament els dipòsits presenten traços sedimentològics dipositats per fluxos d'aigua (*water flood*) (Costa, 1988). Són conseqüència d'inundacions sobtades (*flash flood*) de curta durada.

Els riscos d'inundació són evidents, però no afecten d'igual manera a totes les parts del ventall. Els riscos són extrems al llarg del canal actiu, moderats a la capçalera i zona distal del ventall i dèbils en el sector mitjà.

Pel que fa als vessants recoberts per dipòsits al·luvials - col·luvials els processos dominants es relacionen amb fenòmens d'inundació en què l'aigua circula pendent avall de forma laminar, amb escassa incisió. Localment, la làmina d'aigua queda temporalment retinguda en indrets de pendent escàs, donant lloc a dipòsits palustres. Aquesta mena de materials han estat identificats en alguns llocs en el subsòl de Palafrugell.

Anàlisis geomorfològiques

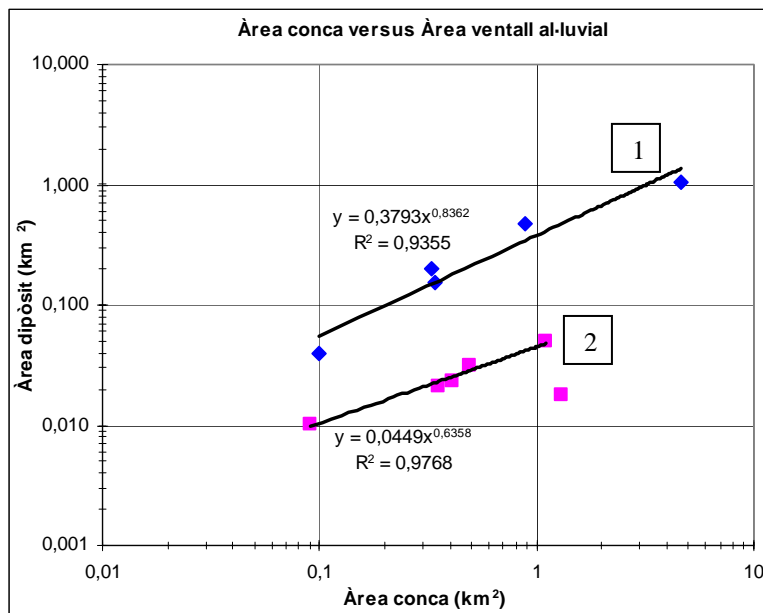
Diversos factors condicionants en el desenvolupament dels ventalls al·luvials, descrits per Marcén (1996), es reconeixen en les conques de la nostra zona: abundància de material meteoritzat, barranc relativament recte i de longitud curta, acusada pendent del tàlveg en el barranc i en l'àpex del ventall, entre d'altres. Amb tot, evidentment, un estudi de detall de les característiques sedimentològiques d'aquests dipòsits determinaria el tipus de flux que els ha originat.

Amb l'objectiu de conèixer algunes de les característiques geomorfològiques genèriques d'aquests dipòsits, s'ha prestat atenció al coneixement de les relacions que es donen entre l'extensió de la conca font d'on prové el material en front de l'àrea del ventall al·luvial (Marcén, 1996, Gutiérrez, 2001 i Gracia et al., 2003). El resultat es presenten en la gràfica 9.2 en escala logarítmica, i la localització corresponent als diferents ventalls i subconques a la figura 9.10. En el gràfic es pot observar que hi ha dues tendències clarament definides ja que correlacionant la línia potencial amb tots els punts dona tan sols una $R^2=0,5131$. Per contra, separant aquestes dues tendències en dues tipologies de dipòsits dona una correlació molt més encertada, de $R^2=0,9355$ i $R^2=0,9768$.

Aquesta diferenciació, que a més coincideix en la separació d'aquests ventalls del domini morfodinàmic 2 i 3, es basa en la relació que té el ventall amb la seva subconca. El núvol de punts superior (agrupació núm. 1 de la gràfica, corresponent al domini 2) correspon a una tipologia de ventall relativament gran en comparació a la seva conca font, associada amb episodis de represament, origen dels quals es podria relacionar amb possibles moviments en massa i/o desnivellacions producte d'una activitat neotectònica (Gracia et al., 2003). Pel que fa a l'altre tipus de dipòsits (agrupació núm. 2 de la gràfica, corresponent al domini 3), corresponent al núvol de punts inferior, la seva extensió és relativament molt més petita en comparació a la seva conca font, característica de la qual es podria relacionar amb la major duresa del substrat i menor pendent (Gracia et al., 2003). De totes maneres aquesta

afirmació caldria confirmar-ho amb un estudi detallat ja que aquests ventalls podrien haver estat molt més grans en un passat i haver estat erosionats.

En qualsevol cas les constants i exponents equacions potencials que es presenten en la gràfica 9.2 estan dins els rangs proposats a Gutiérrez (2001) i Gracia et al. (2003).



Gràfica 9.2.- Àrea subconca versus àrea del dipòsit

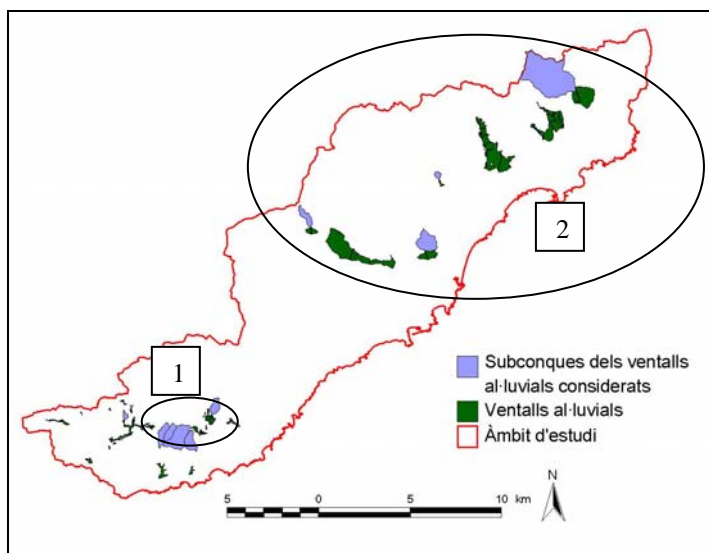
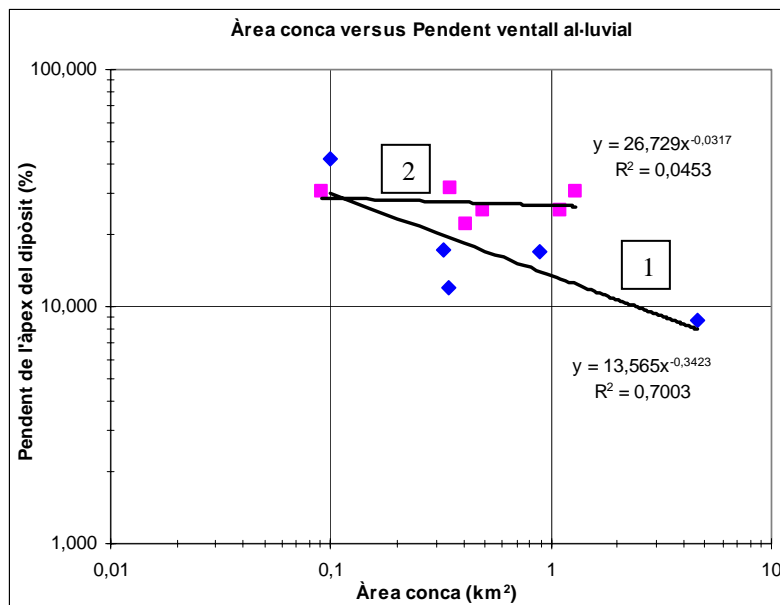


Figura 9.10.- Situació de les subconques amb els seus respectius ventalls al·luvials considerats

A banda d'aquestes relacions presentades, s'hi poden afegir les que hi ha entre el pendent de l'apex del dipòsit i l'àrea de la subconca font (Gràfica 9.3):



Gràfica 9.3.- Àrea subconca versus pendent de l'apex del dipòsit

Com s'observa en la gràfica anterior es poden diferenciar dues tipologies de dipòsits. Les correlacions establertes altre cop són en ordres de magnitud equiparables a les proposades per Gutiérrez (2001) i Gracia et al. (2003). Segons aquests mateixos autors, el fet de tenir àrees de les conques font relativament petites i pendents dels dipòsits acusats es podria relacionar amb colades de fang (*debris flow*). Per contra, àrees relativament més grans i pendents moderats es relacionarien amb processos tipus *sheet flood*.

De totes maneres, segons les dades de la nostra àrea d'estudi i tenint en compte el que s'ha descrit en la relació entre àrees (Gràfica 9.2), l'agrupació d'aquests dipòsits confirma l'oposat a la bibliografia consultada. En el nostre cas l'agrupació número 1, amb pendents més suaus, corresponen a ventalls originats per moviments en massa; i l'agrupació número 2, amb pendents més acusats, correspondrien a dipòsits originats per processos d'inundació laminar.

De forma comuna els ventalls al-luvials estan controlats per canvis en la tectònica, el clima o la vegetació, que, al mateix temps, produeixen modificacions en la producció de sediments i en l'escolament dins dels sistema (Harvey, 1997). Com hem manifestat anteriorment, en el nostre cas, la neotectònica sembla ser un factor condicionat. Almenys així sembla indicar-ho les dades disponibles del subsòl a les immediacions de Santa Cristina, a la conca del Ridaura (Figura 9.11).

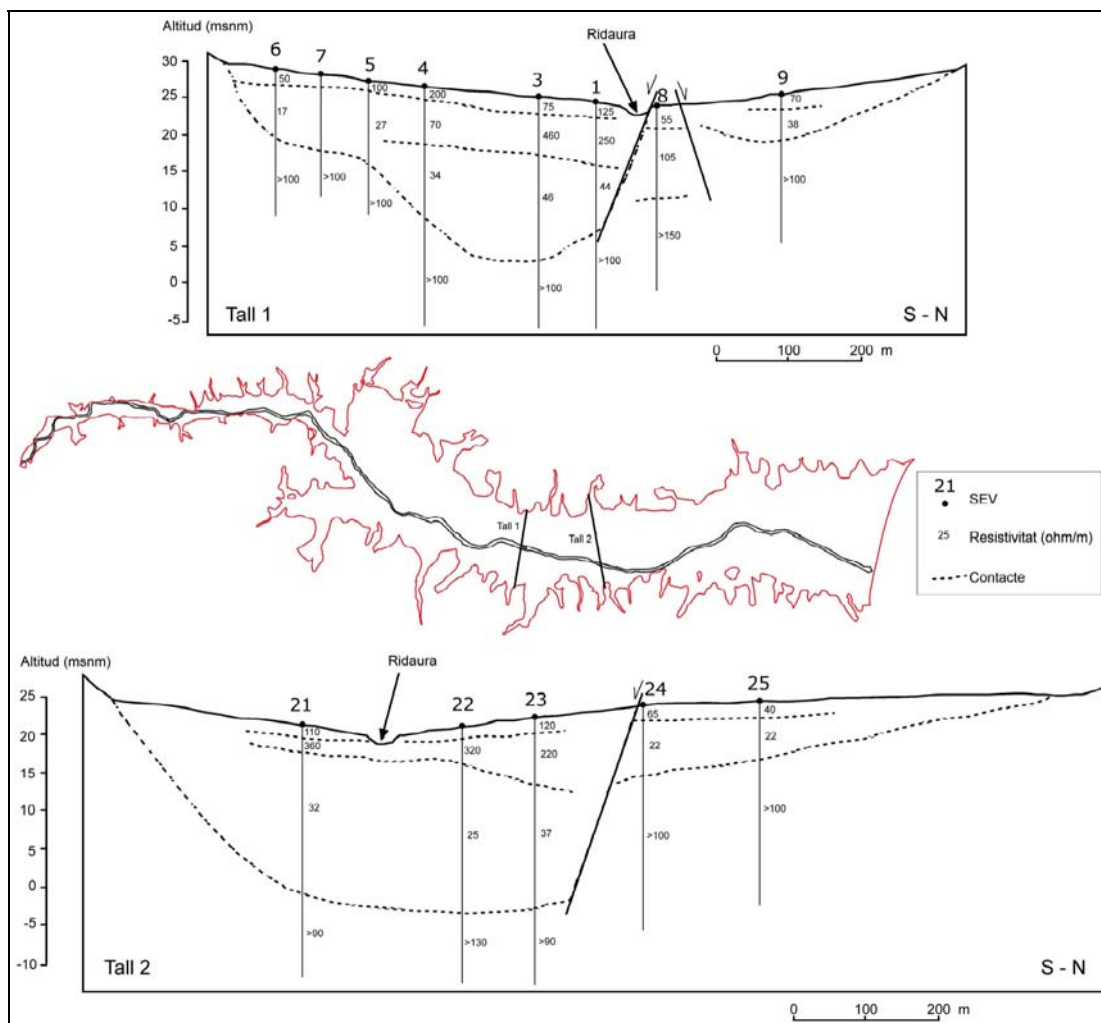


Figura 9.11.- Seccions geoelectriques a les immediacions de Santa Cristina d'Aro (conca del Ridaura) (Trilla et al., 1980)

Aquest talls geoelectrics estan essencialment formats per tres trams: un tram superficial, de resistivitats entre els 50 i els 200 ohm/m, corresponent al sòl; un tram intermig, de valor resistiu comprès entre els 20 i 50 ohm/m, que correspon a sorres, llims i graves; i un tercer tram de base, de resistivitat superior als 100 ohm/m, el qual correspondria al sòcol granític.

A banda de la caracterització geofísica cal destacar que la formació quaternària es pot dividir aproximadament en dues parts. En el primer dels talls presentats la divisòria d'aquestes dues parts coincideix amb un petit aflorament dins la llera de Ridaura. L'acumulació de sediments al marge dret de la riera assoleix gruixos de l'ordre de 23 metres, en canvi en el marge esquerre aquests són molt més limitats; de l'ordre de 6 metres com a màxim. En el segon dels talls presentats la morfologia és anàloga tot i que ara el Ridaura està situat al bell mig de la part dreta on les acumulacions quaternàries arriben a potències de 25 metres i un gruix màxim de tan sols 10 metres a la part esquerra.

El salt brusc que hi ha entre el paquet quaternari esquerre i dret es podria associar a una activitat tectònica. En superfície i mitjançant anàlisi de fotografia aèria, en aquesta mateixa conca, es reconeixen diversos indicis d'activitat tectònica recent que afecten als ventalls al·luvials.

9.4.- Domini morfodinàmic 4 (planes al·luvials i deltaïques)

Les parts distals dels ventalls al·luvials del domini anterior enllacen aigües avall amb planes dominades per la dinàmica dels cursos fluvials principals. Aquestes planes fluvials, que caracteritzen aquest domini, s'eixamplen vers les seves parts baixes, on enllacen transicionalment amb planes pròpiament fluviodeltaïques.

Característiques morfològiques

Aquestes àrees es desenvolupen des del seu inici fins a la desembocadura a banda i banda del principal canal de transport del sistema fluvial. Habitualment aquest és únic, encaixat i força rectilini.

L'element morfològic més important que s'ha detectat en aquest domini ha estat el caràcter antròpic de la majoria dels canals principals i, en nombrosos punts, de la pròpia plana d'inundació.

La construcció de marges artificials (Figura 9.12) (imitant els *levées* naturals) per evitar desbordaments, juntament amb el recreixement del conjunt de la secció, representen les actuacions d'artificialització del canal principal més freqüent a tota la zona. Tot i aquesta pràctica estesa en tot l'àmbit d'estudi no podem passar per alt l'esment de la total artificialització del tram final de la riera de Lloret, canalitzada amb formigó i tapada en els últims 1000 metres.

Un altre element morfològic significatiu en aquest domini morfodinàmic està representat per les zones endorreiques o de drenatge deficient. Aquestes àrees, junt amb d'altra informació elaborada, es presenten a les figures de 9.13 a 9.17.



Figura 9.12.- Construcció de marges artificials. Exemple de la riera de l'Aubi

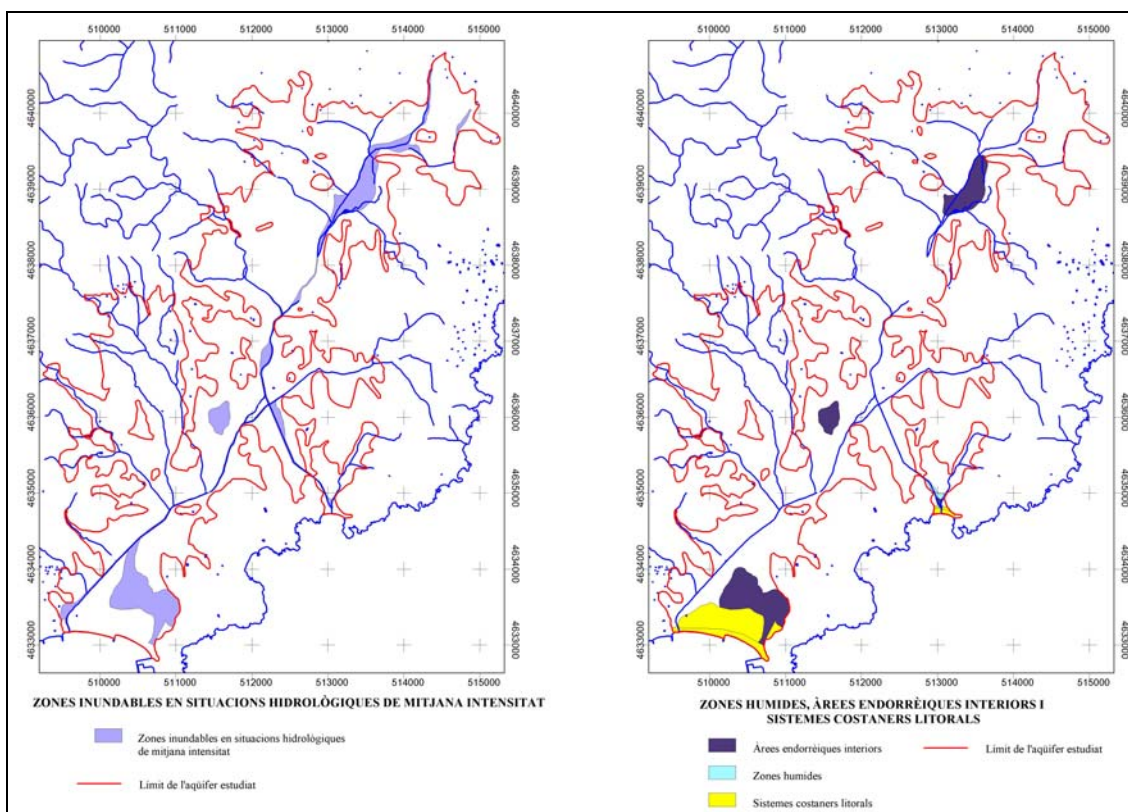


Figura 9.13.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca de l'Aubi

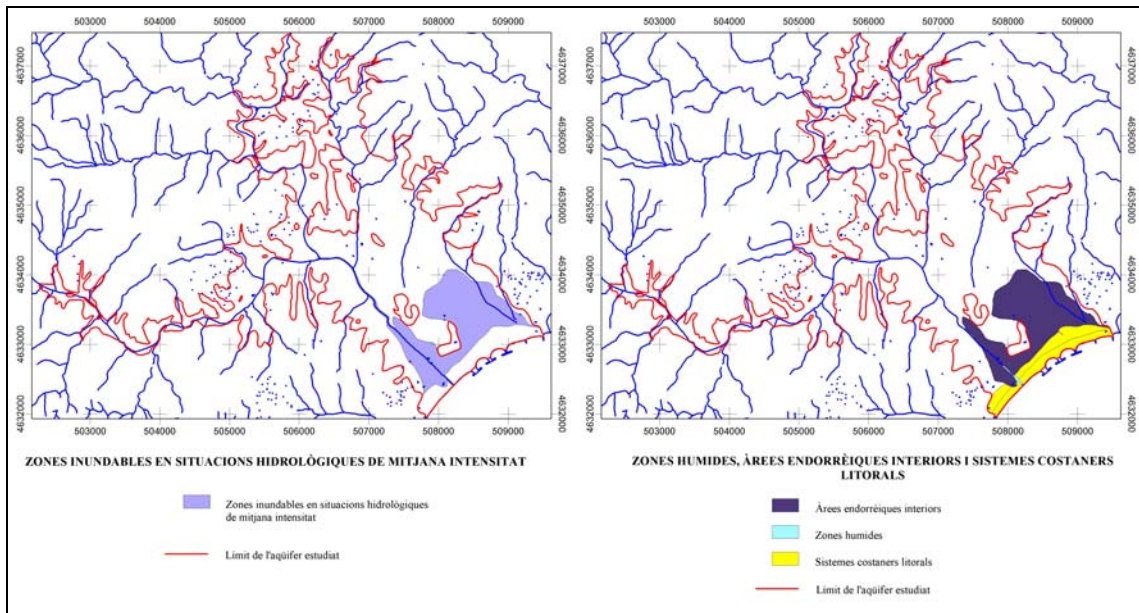


Figura 9.14.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca de la riera de Calonge

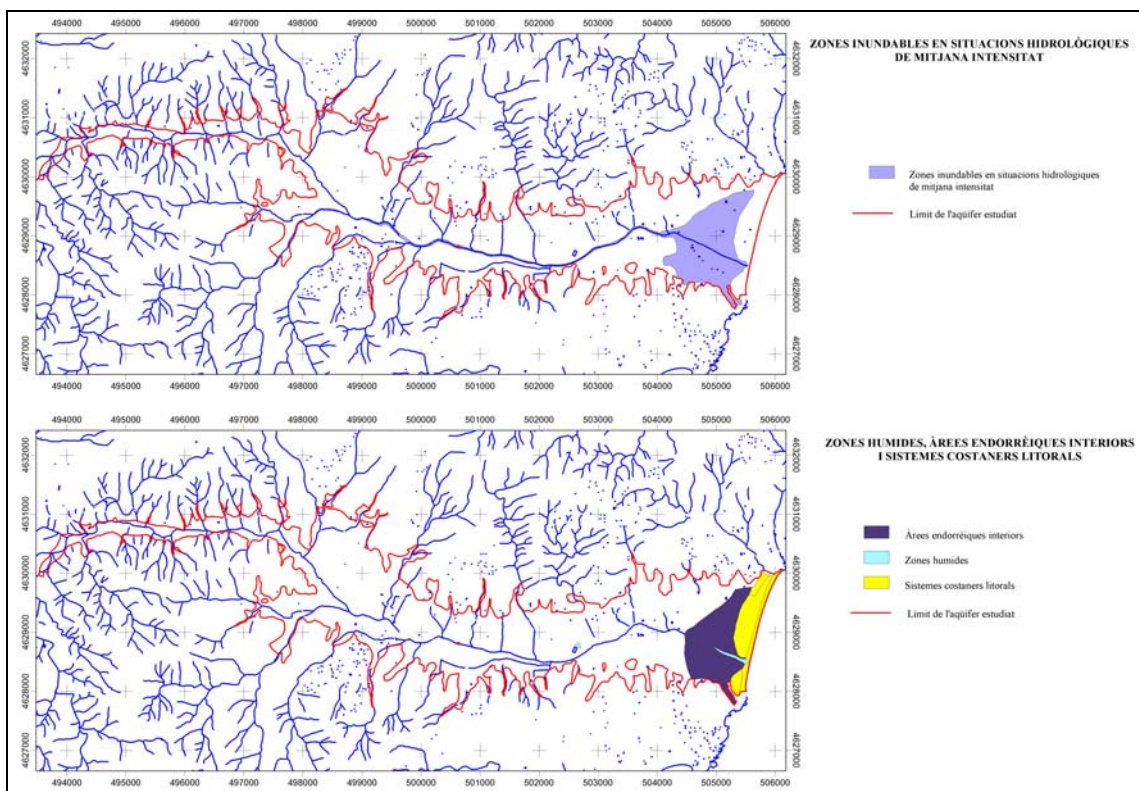


Figura 9.15.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca del Ridaura

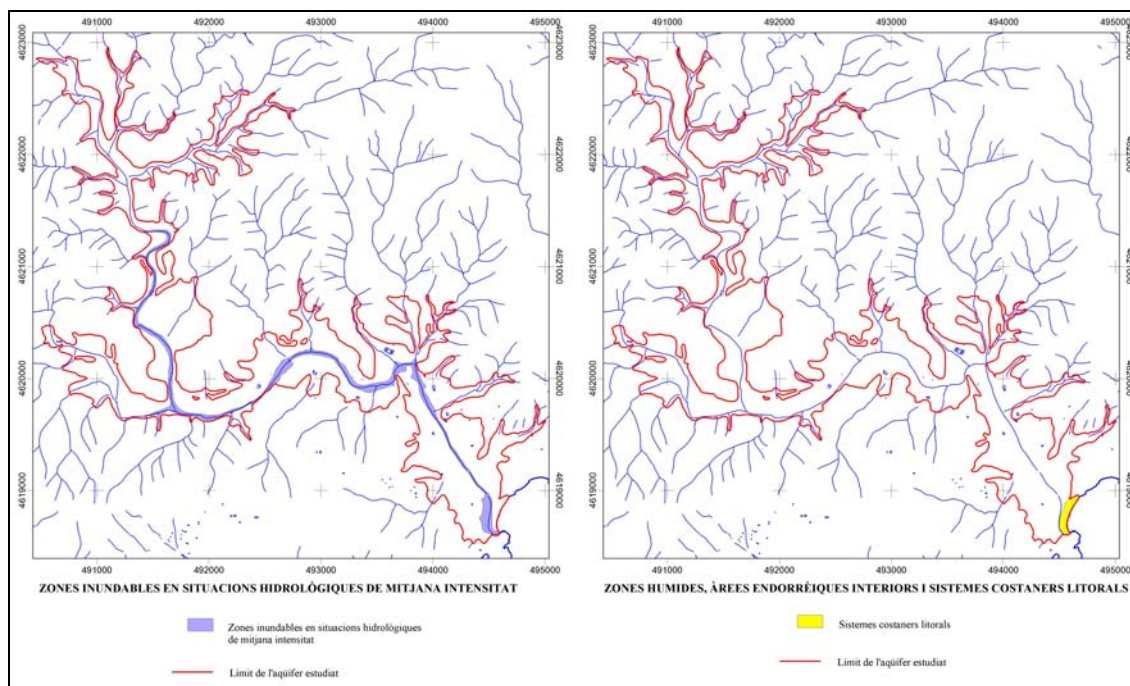


Figura 9.16.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca de la riera de Tossa

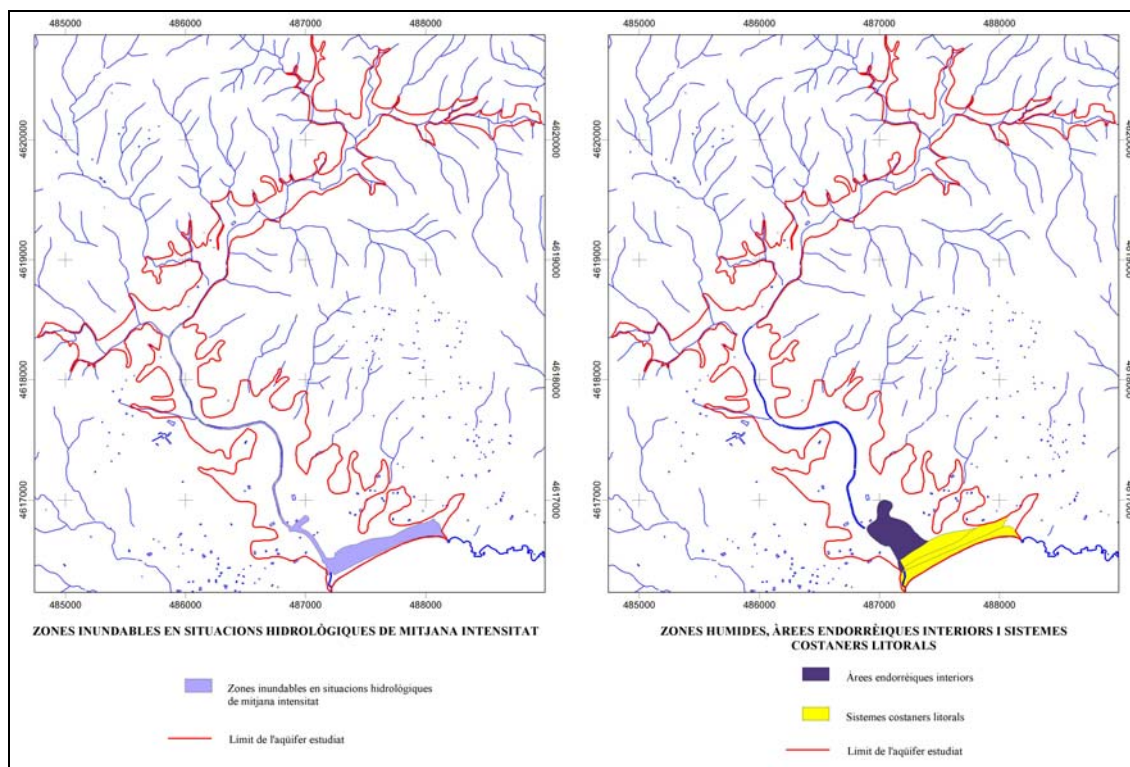


Figura 9.17.- Zones inundables, zones humides, àrees endorreiques interiors i sistemes costaners litorals de la conca de la riera de Lloret

A partir de les dades cartogràfiques realitzades s'han pogut sintetitzar a la taula 9.4 les superfícies ocupades per les àrees endorreiques litorals (antigues maresmes), les àrees endorreiques interiors i les zones inundables.

Sistema	Superfície ocupada per les àrees endorreiques litorals (antiga maresma) (km ²)	Superfície ocupada per les àrees endorreiques interiors (km ²)	Superfície ocupada per les Zones Inundables (km ²)
Aubi	0,29	0,30	1,53
Calonge	0,53	--	1,35
Ridaura	0,92	--	2,15
Tossa	--	--	0,46
Lloret	0,12	--	0,36

Taula 9.4.- Superfícies ocupades per les àrees endorreiques litorals, àrees endorreiques interiors i les zones inundables

A la taula 9.5 es mostren les superfícies del domini morfodinàmic 4 que ocupen en conjunt per a cadascuna de les conques principals:

Sistema	Superfície ocupada (km ²)	Percentatge del total de la conca (%)
Aubi	6,25	14,90%
Calonge	3,46	5,87%
Ridaura	7,13	9,62%
Tossa	1,19	3,07%
Lloret	1,38	5,30%

Taula 9.5.- Superfície i percentatge respecte la conca principal del domini morfodinàmic 4

Processos identificats

D'acord amb la seva gènesi aquestes àrees corresponen a aquelles zones que de manera natural es veuen afectades per inundacions. En les zones mitjanes-altes, els desbordaments provenen exclusivament del canal fluvial i, lògicament, en les parts baixes els temporals de mar també contribueixen a l'anegament (Figura 9.18).



Figura 9.18.- Temporal de llevat a la platja de Lloret. Inundació dels carrers. Taponament total de la desembocadura de la riera de Lloret. (11/11/2001) (fotos de l'Àrea de Seguretat Civil. Ajuntament de Lloret)

El comportament hidrològic i hidràulic dels nostres sistemes ja estat objecte d'estudi en un capítol anterior. Aquí volem introduir altres elements d'anàlisi que complementen els anteriors i amplien les visions sectorials dels estudis hidràulics. Ens referim a l'artificialització de les lleres actuals i al paper de les aigües subterrànies en la gènesi de les inundacions.

El primer aspecte és valorat, inicialment, a partir de dades de la conca del Ridaura (Figura 9.19), seguint metodologies observades per Arnaud-Fassetta et al. (2004).

Com es pot observar en les cartografies realitzades les àrees afectades per inundacions han experimentat un canvi significatiu, comparant el període predesenvolupament (anys 1960) amb la situació actual. La situació a l'any 1957 s'ha valorat a partir de l'estudi estereoscopi de fotogrames aeris d'aquell any, anàlisi de documents històrics i entrevistes *in-situ*. Les dades recopilades ens han permès diferenciar dues categories d'àrees. Unes corresponents a zones afectades per inundacions en situacions pluviomètriques de mitjana intensitat i les altres corresponents a màxims pluviomètrics enregistrats; equivalents a períodes de retorn de 100 i 500 anys respectivament.

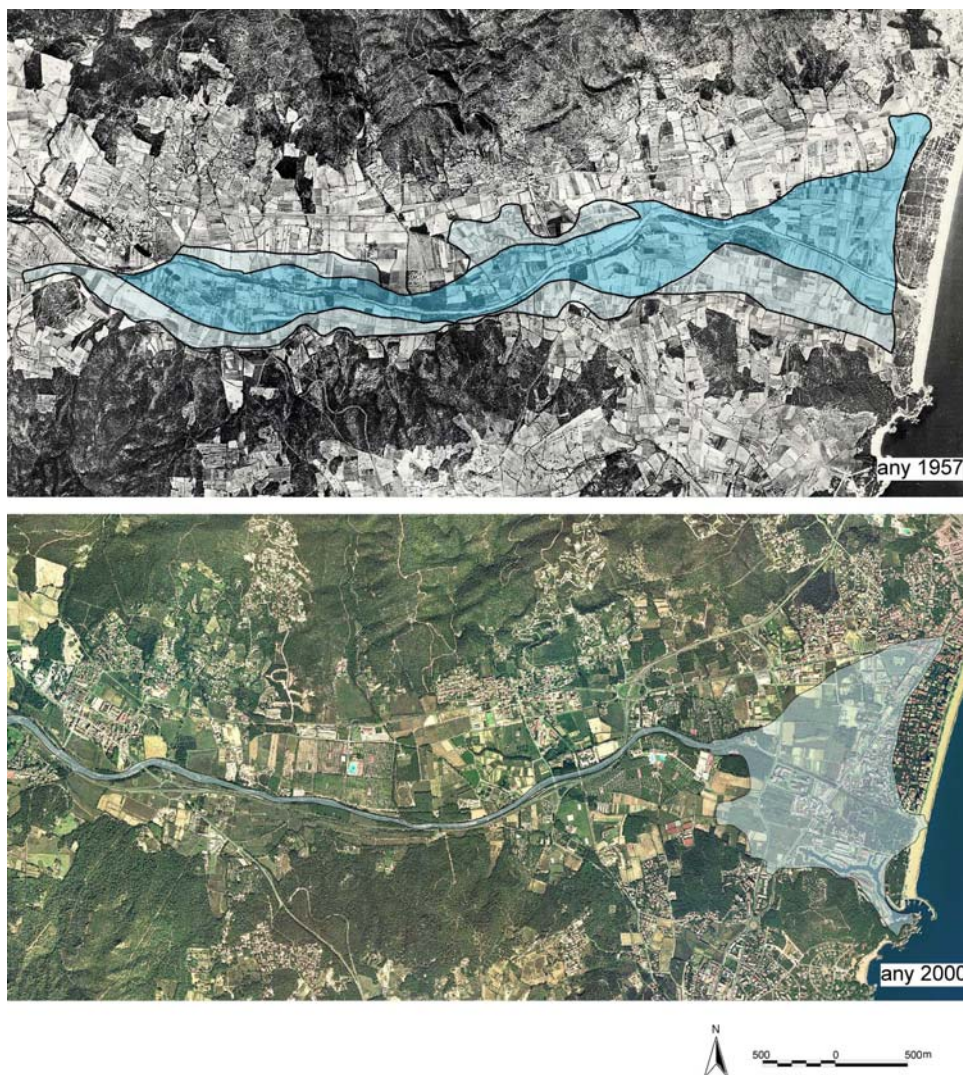


Figura 9.19.- Zones afectades per inundacions en el tram baix-mitjà de la conca del Ridaura els anys 1957 i 2000. Segons dades pròpies i de ACA (2002)

La situació actual, corresponent a l'any 2000, manifesta un canvi important d'àrees afectades. Com es dedueix comparant les dues cartografies, actualment els problemes es concentren i s'incrementen a la part baixa, final de la conca; mentre que pràcticament han desaparegut en els trams superiors i mitjans.

Aquests comportament està motivat perquè el sistema no pot desbordar aigües amunt, on de manera natural ho feia. Les actuacions antròpiques, especialment els abocaments de terres, eviten aquest desbordament natural concentrant el pic d'avinguda prop de la desembocadura, on a més, es concentra la major part de la població i activitat econòmica, augmentant per tant la situació de risc.

En valls estretes, com el cas de la riera de Tossa, el creixement de la secció de la llera mitjançant abocaments de terres incrementen les seccions i eviten els desbordaments a les

parts mitges de la riera. Com a exemplificació i estudi de detall d'aquesta pràctica s'han analitzat amb prospecció elèctrica en corrent altern (electromagnètica) dos abocaments de terres de grans dimensions a la llera de la riera de Tossa.

L'aparell emprat ha estat el EM-31 MK-2 de la casa Geonics Limited. Presenta un espaiat entre antenes fix de 3,7 m i una freqüència de 9,8 kHz, que permet arribar a profunditats d'investigació màximes de l'ordre de 3 a 6 m, depenent de l'orientació, horitzontal o vertical respectivament, dels dipols electromagnètics. Les lectures obtingudes són emmagatzemades al Policorder, microcomputador incorporat, les quals són fàcilment transmèses a un PC per al seu tractament.

Aquest estudi es basa en set talls electromagnètics a l'alçada de can Garriga i de sis talls a l'abocament anomenat Revolt (just el revolt següent de la carretera de can Garriga cap a la vila de Tossa de Mar). Els resultats d'aquestes mesures es mostren a les figures 9.20 i 9.21.

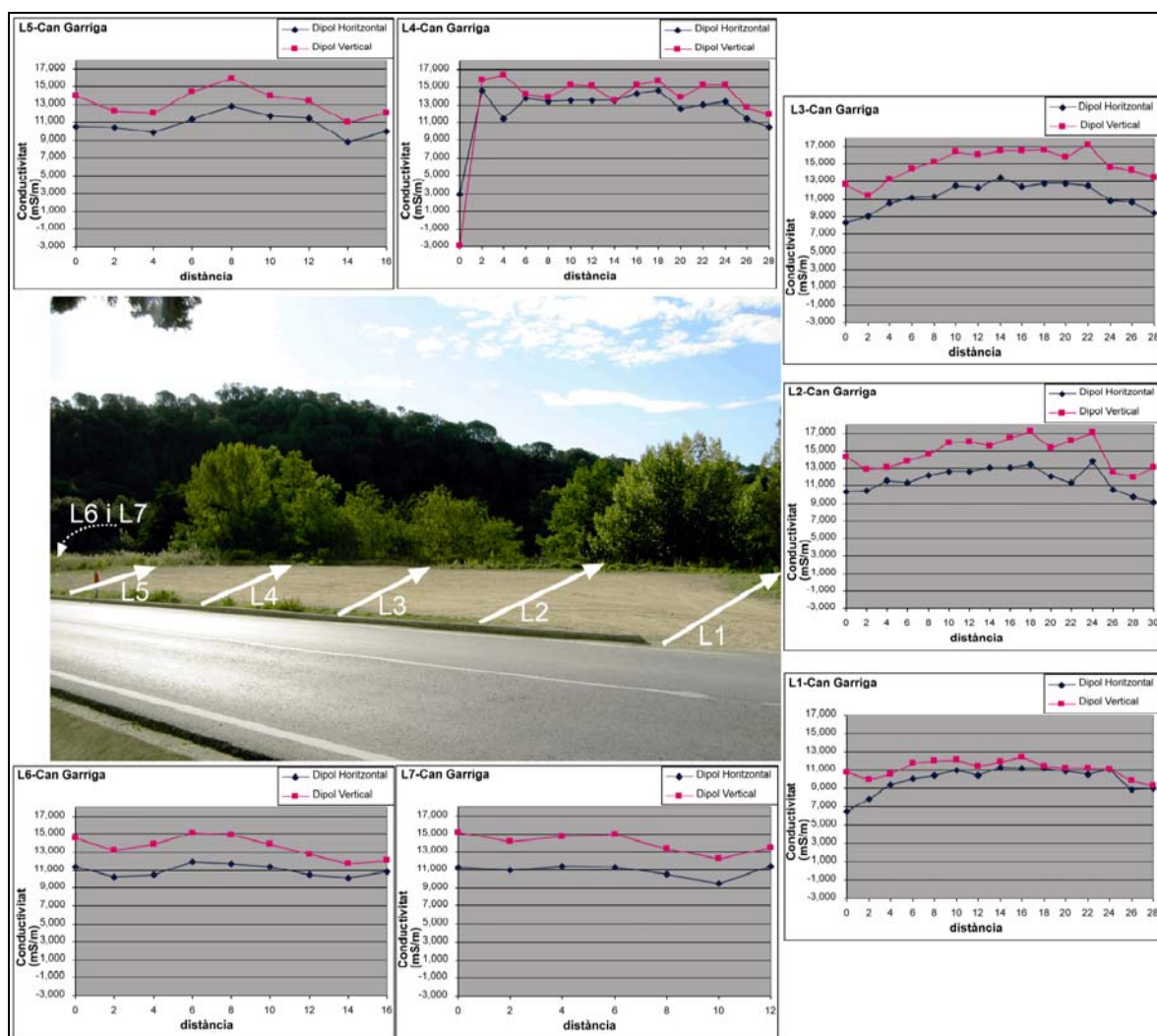


Figura 9.20.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre l'abocament de can Garriga (de L1-Can Garriga a L7-Can Garriga)

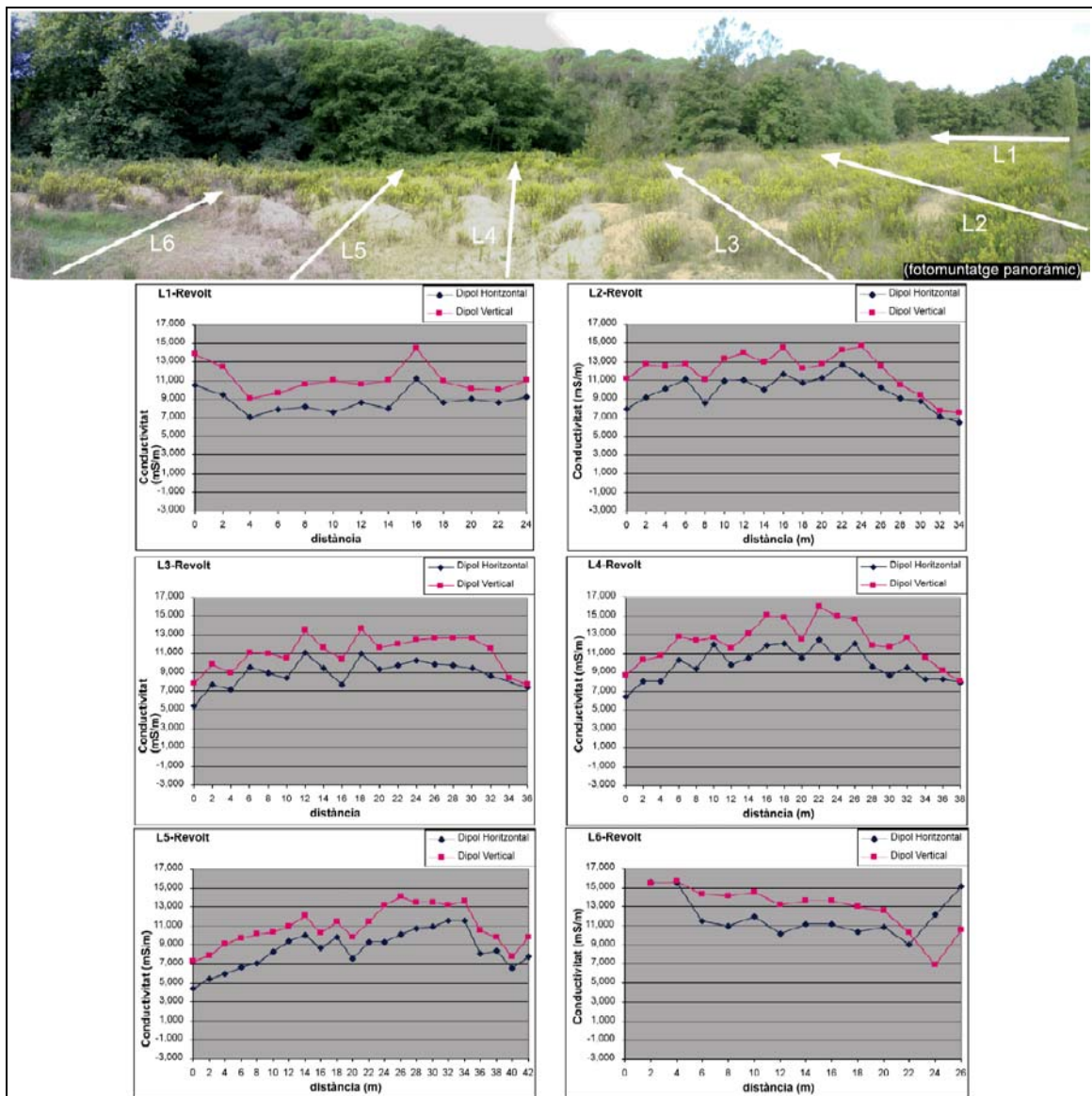


Figura 9.21.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre l'abocament del revolt posterior a can Garriga (de L1-Revolt a L6-Revolt)

En l'anàlisi dels abocaments de can Garriga i l'anomenat "Revolt", el fet d'haver fet una malla de punts, fou possible confeccionar mapes d'isoconductivitat aparent per tal de caracteritzar-los en planta. Aquests dos abocaments en concret han estat estudiats amb més detall pel fet modificar la secció natural de la riera. D'aquesta manera, a part de la caracterització del "dipòsit" i de la seva delimitació, s'ha realitzat un perfil transversal perpendicular al tàlveg de la riera per tal d'analitzar la modificació del comportament hidràulic en aquest punt. La metodologia dels càlculs hidràulics ha estat la mateixa que l'exposada en el capítol anterior. De forma resumida es presenten els mapes i les dades en les figures 9.22 i 9.23.

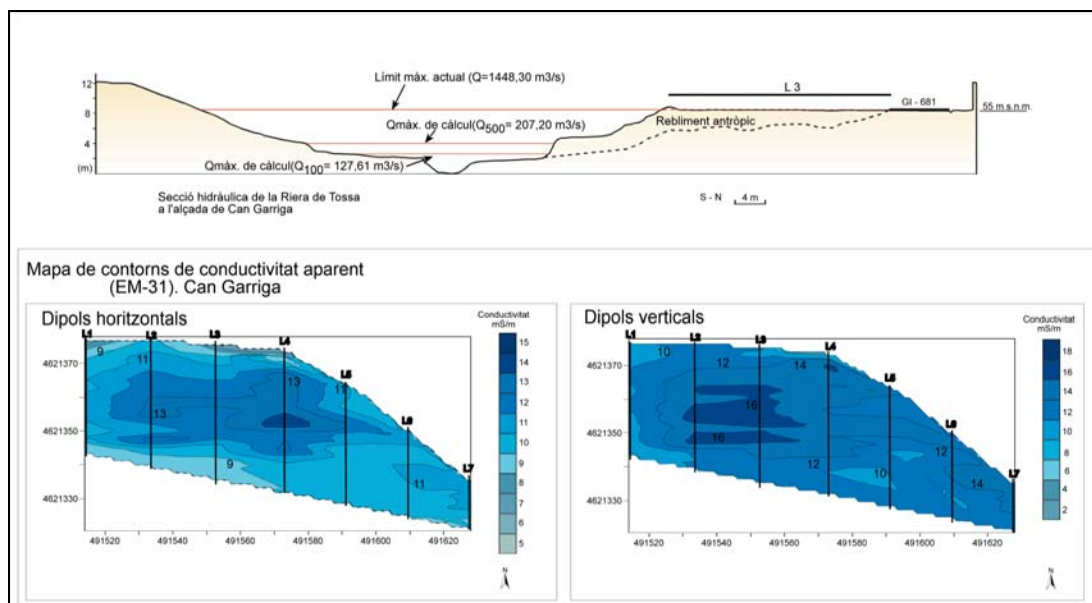


Figura 9.22.- Mapes d'isoconductivitat aparent mesurada amb l'EM31 (de L1-Can Garriga a L7-Can Garriga) i perfil hidràulic a l'abocament de terres a la riera de Tossa davant de can Garriga

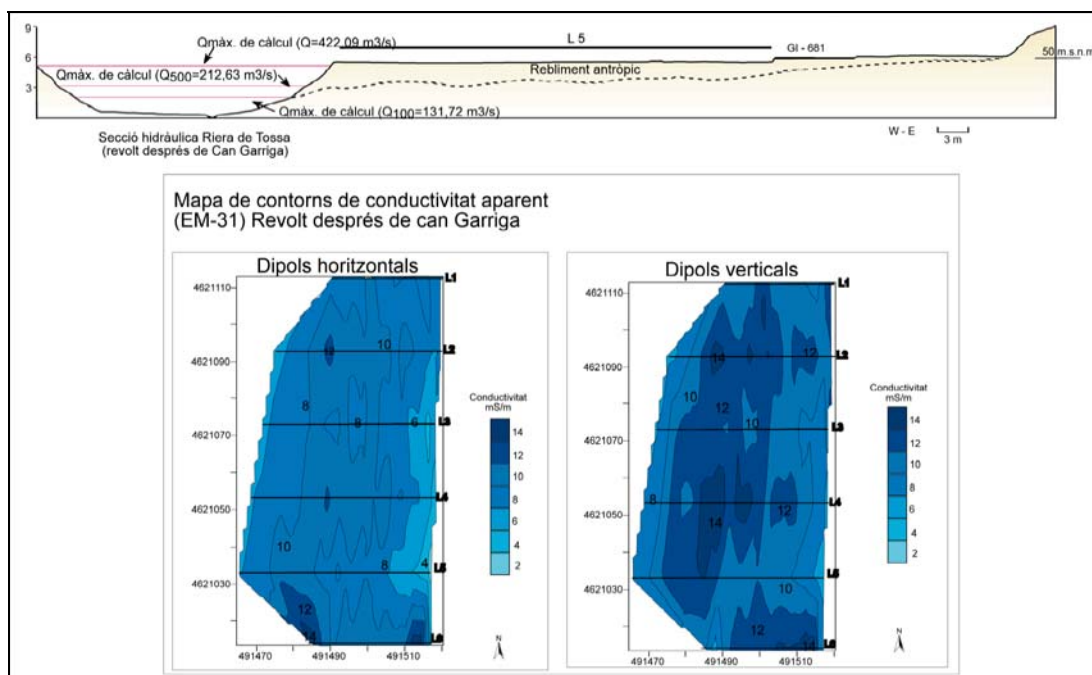


Figura 9.23.- Mapes d'isoconductivitat aparent mesurada amb l'EM31 (de L1-Revolt a L6-Revolt) i perfil hidràulic a l'abocament de terres a la riera de Tossa al revolt posterior de can Garriga

En aquests abocaments els valors de conductivitat aparent oscil·len entre 5 mS/m (a 3 metres de profunditat) i 16 mS/m (a 6 metres de profunditat). A més fondària s'incrementen els valors de conductivitat, que en aquest cas es relaciona directament amb la major quantitat d'aigua ja que el substrat a on es localitzen els abocaments atura la l'infiltració. Aquests valors contrasten amb els detectats en materials granítics alterats, compresos entre

2 i 11 mS/m. En els mapes d'isoconductivitats presentats s'observa una distribució dels valors més alts de conductivitat segons direccions més o menys paral·leles al traçat de la riera; aquests fet s'interpretaria com al rebliment d'antigues depressions o paleovals

En aquest treball la prospecció geofísica en ha permès detectar i descriure les característiques dels abocaments seleccionats però gairebé més important és el fet de poder descriure'n la geometria i d'aquí deduir la secció original de la llera abans de la seva modificació. Sovint, els organismes que tenen les competències de gestionar aquests residus han cregut que augmentar la secció d'una llera, elevant les parets d'aquesta, estan fent una mesura preventiva contra possibles inundacions alhora que "tracten" amb aquest subproducte. Tot i això, mesures aparentment beneficioses en un punt concret de la xarxa de drenatge del territori, augmenten la perillositat o el risc en els trams més baixos d'aquesta.

Concretament, el canvi de la geometria de la llera, augmentant la secció transversal d'aquesta, ha incrementat amb escreix la capacitat de desguàs d'aquestes seccions. En els dos casos estudiats per a un període de retorn de 500 anys hi havia desbordament, però amb el canvi de secció ha fet que acceptin cabals sensiblement superiors. Aquest augment de cabal concentrat a la llera fa que s'incrementi la velocitat de desguàs amb el consegüent augment de la força d'erosió i transport (Olson, 2000) a banda de la disminució de la laminació del pic d'avinguda i la disminució de la recàrrega natural de l'aquífer.

Aquest cas de la riera de Tossa exemplifica la problemàtica, pràcticament estesa en tot l'àmbit de la Costa Brava, sobre el canvi de la geometria de la llera natural associada a les inundacions.

A la taula 9.6 s'han valorat de forma aproximada les capacitats actuals d'emmagatzematge de les àrees endorreiques litorals (antigues maresmes), les àrees endorreiques interiors, les àrees de desbordament i finalment la capacitat total d'emmagatzematge de la plana d'inundació (suma de les tres anteriors), per a cadascuna de les principals conques estudiades.

Sistema	Capacitat d'emmagatzematge natural de les àrees endorreiques litorals (m ³)	Capacitat d'emmagatzematge natural de les àrees endorreiques interiors (m ³)	Capacitat d'emmagatzematge natural de les àrees de desbordament (m ³)	Capacitat total d'emmagatzematge de la plana d'inundació (m ³)
Lloret	--	--	98.026,73	98.026,73
Tossa	--	--	125.327,55	125.327,55
Ridaura	920.703,51	--	243.406,88	1.164.110,39
Calonge	265.782,06	--	523.285,25	789.067,31
Aubi	144.477,14	89.693,02	400.561,41	634.731,57

Taula 9.6.- Capacitat d'emmagatzematge de les àrees endorreiques litorals, àrees endorreiques interiors, àrees de desbordament i capacitat total d'aquestes

L'altre element que creiem que s'ha introduir en l'anàlisi de les inundacions actuals en aquest domini morfodinàmic fa referència al paper de l'aigua subterrània. Per il·lustrar la significació d'aquesta interrelació, a títol merament introductori, s'han recopilat les dades històriques d'inundacions a la conca de l'Aubi (taula 9.7) i s'han comparat amb els registres piezomètrics disponibles (Figura 9.24).

Dies >50 mm en 24 h	Precipitació (mm)	Danys ocasionats	Observacions
6 setembre 1984	122	--	
28 octubre de 1985	113,5	Carrers inundats de Palafrugell	
31 gener 1986	128	--	
2 octubre 1987	*62,7	Inundacions a Palamós	
5 agost 1989	63	Inundació poc important. Garatges inundats	
11 octubre 1990	50	Inundació a Palamós (zona 11 Setembre) i a Palafrugell però amb menys importància	
9 novembre 1990	61	--	
9 maig 1991	62	--	
9 octubre 1991	55	--	
26 octubre 1991	103	Palafrugell inundat sobretot zona c/Palamós. A Palamós inundacions a zona 11 Setembre. Carretera Palamós-Palafrugell tallada.	Precipitació caiguda en menys de 3 hores (El Punt)
22 juny 1992	86,5	Palafrugell inundat sobretot zona c/Palamós. A Palamós inundacions a zona 11 Setembre.	Precipitació caiguda en 2 hores (El Punt)
11 octubre 1994	128	Inundació important a Palamós i Palafrugell. Desbordament important a la depuradora (1,5m d'alçada dins l'edifici de l'EDAR)	Precipitació acumulada en 3 dies=265,5mm
19 octubre 1994	133	Inundació a Palafrugell i a Palamós a la zona 11 Setembre i mercat. Desbordament important.	
22 novembre 1995	60,5	--	
10 desembre 1995	51	--	
29 gener 1996	50,5	--	
9 desembre 1996	51	--	
3 febrer 1998	59,5	--	
24 setembre 1998	63,5	--	

Taula 9.7.- Dades històriques, del 1984 al 1998, d'inundacions a la conca de l'Aubi. Selecció de les dates amb una precipitació >50 mm en 24 hores. Dades de precipitació de l'estació de Palamós (* Palafrugell) (dades de l'arxiu d'El Punt, Arxiu Municipal de Palafrugell i Arxiu Municipal de Palamós)

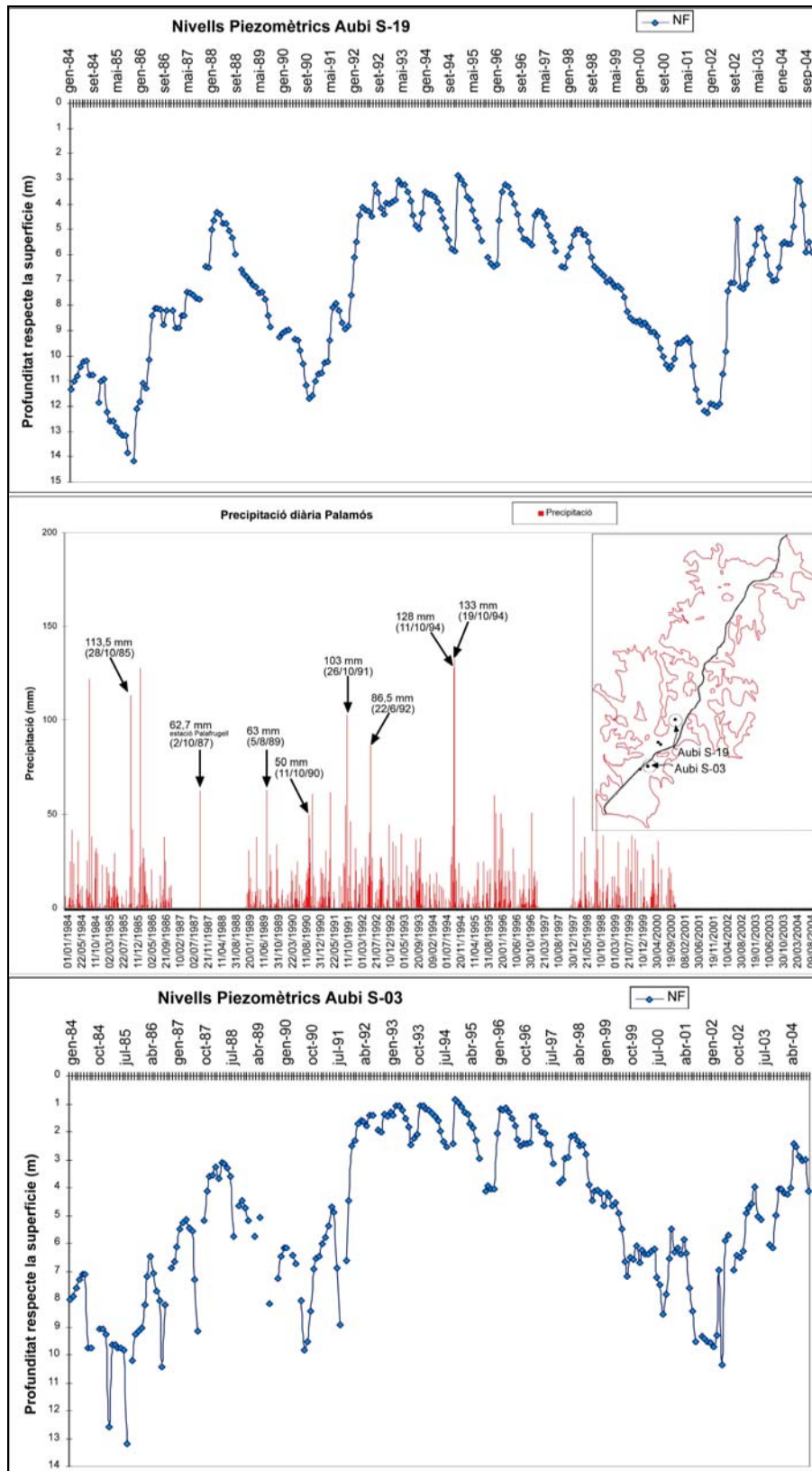


Figura 9.24.- Comparació dels registres piezomètrics S-19 (part mitja de la conca) i S-03 (part baixa de la conca i nivell aqüífer superficial) amb la precipitació (mm/24h) de l'estació meteorològica de Palamós. Les dates assenyalades corresponen a les inundacions històriques (dades piezomètriques extretes d'ACA, 2004 i dades històriques de l'arxiu d'El Punt, Arxiu Municipal de Palafrugell i Arxiu Municipal de Palamós)

D'aquestes dades el que caldria destacar és que precipitacions de similars característiques donen respostes hidrològiques diferents, avaluades aquí pels efectes ocasionats. Hi ha una coincidència notòria en el fet que en condicions de nivells piezomètrics baixos els efectes són menors que els ocasionats en èpoques on els nivells piezomètrics són elevats.

La tendència actual d'abandó de les extraccions d'aigua subterrània està provocant una recuperació històrica de nivells piezomètrics que en determinades conques pot suposar un increment del risc d'inundacions. Per tant, com hem manifestat, pot ser un element significatiu que caldria avaluar conjuntament amb la resta d'elements que condicionen la resposta hidrològica d'un sistema fluvial.

Per últim, en relació a la dinàmica natural de les zones endorreiques de les parts baixes de les rieres, els trams finals dels nostres sistemes fluvials, a l'entorn de les desembocadures, es caracteritzen per desenvolupar morfoambients caracteritzats per la interrelació de processos fluvials i litorals.

Aquests tipus morfodinàmic es comú a tot el litoral gironí i ha estat analitzat en diversos indrets (per exemple en Bach, 1990). Es tracta de sistemes de maresma (*lagoon*) que reben aports tant continentals com litorals. La seva dinàmica natural ha estat esquematitzada en la figura 9.25.

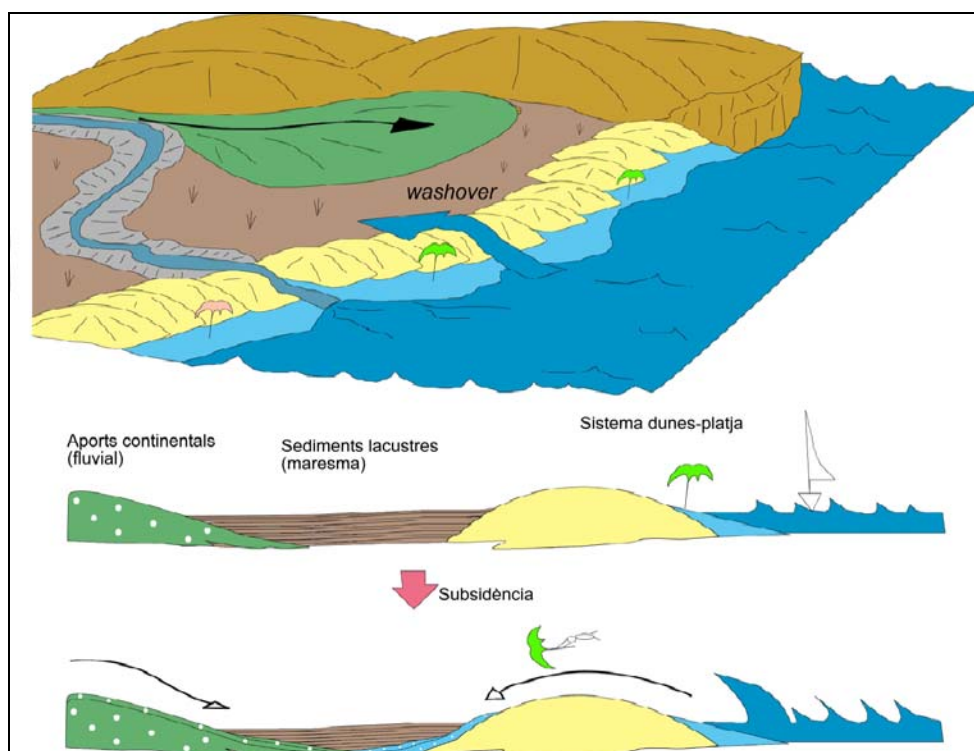


Figura 9.25.- Model en planta i seccions idealitzades dels processos que intervenen en el rebliment sedimentari de la maresma -lagoon-

A la nostra zona s'identifiquen els següents elements constituents:

- Àrea endorreica. Està constituïda per dipòsits de maresma; acumulacions de fangs i llims rics amb matèria orgànica. El drenatge deficient de la zona es manifesta, especialment, durant episodis pluviomètrics de certa intensitat; tot i les nombroses actuacions antròpiques per drenar aquestes zones.
- Aports continentals. S'hi identifiquen canals i lòbuls de desbordament. Aquests darrers, generats com a conseqüència del desbordament dels principals canals fluvials (*water flood*), són les formes que ocupen la major extensió.
- Aports litorals. La sedimentació que rep el *lagoon* provinent del domini litoral està formada per sorres fines, erosionades durant moments de tempesta de les platges i dunes i finalment, resedimentades en les maresmes (sedimentació tipus *washover*). Aquests tipus d'aports són reconeguts en el registre sedimentari (Figura 9.26). Avui en dia, les construccions de la façana litoral limiten el desenvolupament d'aquestes accions dinàmiques.

9.5.- Domini morfodinàmic 5 (superfícies d'aplanament)

Correspon a una antiga superfície d'aplanament modelada sobre sauló, lleugerament inclinada vers l'oest. Aquest domini només es present a la part alta de la conca del Ridaura, en la zona d'enllaç amb la depressió de la Selva. Forma part, de fet, del sistema de glacis de Llagostera i de Cassà de la Selva.

Característiques morfològiques i processos actius

Es tracta de superfícies essencialment planes, modelades sobre sauló, solcades de valls molt amples i de fons aplanat, en les que s'acumula un gruix escàs de sediments arrossegats per processos d'escolament superficial. Els interfluvis són arrodonits i gens prominents.

L'erosió remuntant dels cursos del Ridaura corresponents al domini 1 comporta la progressiva destrucció d'aquesta superfície d'aplanament. La seva extensió és de 1,35 km² representant un 1,83% del total de l'àrea de la conca.

Un cop s'han diferenciat els diferents dominis morfodinàmics de les principals conques queden paleses una sèrie de peculiaritats que caldria destacar. Primer es pot observar que la conca que conté els cinc dominis és la del Ridaura ja que és l'única que té superfícies d'aplanament. Aquesta juntament amb la de la riera de Calonge són les úniques on s'hi aprecia clarament el model d'evolució del paisatge (Figura 9.1), amb una lleugera simetria de dominis (cursos incisius, valls de fons pla i finalment rampes laterals) a costat i costat de les planes al·luvials i deltaïques (domini 4).

Pel que fa a la conca de l'Aubi aquesta gradació no és tant clara. A banda i banda de la plana al·luvial i deltaica s'hi desenvolupen les rampes laterals, tot i que amb major importància a la banda oest de la conca, provinent de les Gavarres. Aquesta asimetria de la conca, ja comentada en el capítol de morfologia, torna a veure's clarament. De forma general el pas del domini 1 al 3 és directe i en tan sols en algunes torrenteres hi ha valls de fons pla (domini 2).

Finalment caldria destacar la gran similitud entre la conca de la riera de Tossa i la de Lloret. En aquestes dues, la simetria a partir del curs principal, comentada anteriorment, es dona

tot i que es passa del domini 4 al 2 i després al 1 sense que hi hagi en cap cas rampes laterals. Aquest fet s'explicaria pel fet que són conques relativament poc desenvolupades amb valls estretes i encaixades, tal i com s'ha demostrat en el capítol de morfologia.

Les implicacions que es deriven d'aquesta classificació són importants, i han de tenir-se en compte en disseny d'estructures de control i en l'avaluació de riscos associats al sistema fluviotorrencial.

Per exemple a nivell de la investigació d'inundacions, sobretot en conques petites i amb pendents importants, una de les tasques més importants és la de definir correctament la tipologia de flux. La variació dels diferents processos d'un flux estan en relació principalment per el caràcter i quantitat de sediments en aquests. L'error en la identificació exacta del tipus de flux ha portat a importants malentesos científics i pràctiques de mitigació errònies contra inundacions. Aquestes pràctiques de mitigació per a inundacions "normals", com ara canalitzacions o rescloses, són inefectives per altres tipologies de fluxos. Per exemple, canalitzacions per a colades de fang (*debris flows*) són inefectives ja que el canal pot ser ràpidament bloquejat i colgat, causant subseqüentment fluxos d'inundació cap a altres direccions no previstes. Aquest és el cas, per exemple, de les correccions en el canal de Rio Reventado a Costa Rica, que van esdevenir del tot frustrats. La primera tempesta de l'època de pluges va colgar el canal ampliat amb sediments (Costa, 1988).

Quan es calculen els pics d'avinguda tenint en compte la constància de colades de fang a la zona d'estudi porta a fer estimacions excessives en conques petites. A més, com a conseqüència de les escasses dades meteorològiques en algunes zones, l'estimació indirecta de la precipitació a partir d'indicis de cabals també a comportat greus errors. Aquestes metodologies porten a estimacions de precipitació i cabals d'avinguda erronis per al disseny d'estructures de control d'inundacions (Costa, 1988).

D.- RECURSOS

10.- Aigües subterrànies

11.- Roques industrials

12.- Georecursos litorals

Com ja hem manifestat, des d'un perspectiva geoambiental els recursos geològics són considerats de manera amplia. S'analitzen sota aquest epígraf aspectes com els recursos minerals i roques industrials, els recursos hídrics, el sòl agrícola o forestal, el sòl amb finalitat constructiva, i els recursos geoculturals o patrimoni geològic (Bennet & Doyle, 1997; Cendrero; 1980; Craig et al., 2001; entre d'altres)

D'entre aquesta diversitat de temàtiques, i tenint en compte el desenvolupament actual i la situació ambiental del nostre territori, centrarem la nostra atenció en l'estudi de les aigües subterrànies, de les roques industrials i els georecursos litorals. A l'entorn d'aquesta tipologia de recursos s'han detectat diverses problemàtiques geoambientals que són considerades de gran importància, i fins i tot prioritàries, de cara a una gestió i planificació futura del nostre territori.

En els propers capítols s'incideix inicialment en els aspectes de qualitat i quantitat dels recursos valorats. Posteriorment, s'analitzen els diversos conflictes d'ús que determinen les problemàtiques geoambientals detectades a l'entorn d'aquests recursos.

10.- AIGÜES SUBTERRÀNIES

10.1.- Principals unitats aquíferes

10.1.1.- Emmarcament hidrogeològic

Els recursos hídrics subterranis del nostre territori queden englobats dins de la unitat hidrogeològica coneguda com Rieres Costa Brava (DPTOP & DMA, 1992). Aquesta unitat comprèn un conjunt d'aquífers al·luvials i fluviodeltaics que es desenvolupen en els canals de transport i àrees de sedimentació de les principals rieres i rius de la Costa Brava. En conseqüència es tracta dels aquífers de l'Aubi, riera de Calonge, Riudaura, i rieres de Tossa i Lloret.

El coneixement hidrogeològic regional d'aquests reservoris deriva, en gran mesura, dels estudis realitzats per l'antic Servicio Geológico de España, REPO (1969 i 1972), Catalán (1969), entre d'altres. Només en el cas de l'aquífer del Riudaura, el de major recursos

disponibles, es disposa de recerques posteriors com són les realitzades per Domenech et al. (1979), Trilla et al. (1980); SGDGOH (1983) o Vilanova (2004). La resta de dades recopilades fan referència a treballs d'actualització de dades hidrogeològiques, com Font & Muñoz (2003) en el cas de les rieres de Tossa i Lloret.

A part dels aquífers porosos no consolidats, que deriven principalment dels dipòsits al·luvials i planes costaneres actuals, també s'identifiquen a la zona aquífers mixtos amb permeabilitat intergranular i/o per fissuració. Aquest és el cas dels materials granítics i dels metasediments i tan sols han estat analitzats amb detall en el treball de Vilanova (2004).

10.1.2.- Cartografia hidrogeològica

Tenint en compte els coneixements hidrogeològics adquirits i les línies de treball que avui en dia es desenvolupen a la regió, hem centrat la nostra recerca en dur a terme una caracterització hidrogeològica amb expressió cartogràfica. L'objectiu final, com en la resta de mapes temàtics realitzats, ha estat el de definir unitats caracteritzades per un comportament similar, en aquest cas a la transmissió i emmagatzematge de l'aigua subterrània.

Com a pas preliminar a la realització d'aquest tipus de cartografia s'ha estudiat i caracteritzat el territori des d'un punt de vista geomecànic.

El conjunt de treballs desenvolupats es sintetitzen en el **Mapa 3.- Caracterització Geomecànica**, de l'apartat dels annexes.

La classificació establerta en aquest document deriva de la consideració inicial de l'existència de dues tipologies principals de materials a la zona d'estudi: roques -materials compactes- i formacions superficials -materials no consolidats-. El criteri diferenciador entre ambdós tipologies ha estat el geomecànic (Terzaghi & Peck, 1976).

10.1.2.1.- Roques

S'inclouen en aquesta categoria aquells materials assimilables a roques en sentit geomecànic del terme; és a dir, materials geològics constituïts per una matriu rocosa i per discontinuïtats, i que en conjunt formen un massís rocós.

Atès a la finalitat d'anàlisi s'ha prestat especial atenció a l'estudi de les superfícies o plans de discontinuïtat dels massissos rocosos, ja que aquestes condicionen de una forma definitiva les seves propietats i comportaments hidràulics.

La metodologia utilitzada es fonamenta en l'aplicació de tècniques d'abast regional i d'estudis puntuals o locals.

Els treballs a gran escala s'han centrat en l'estudi de les formes de relleu. L'anàlisi dels modelats en materials granítics és un procediment sovint utilitzat en estudis de fracturació a gran escala (Muñoz et al., 1989 i Le Pera & Sorriso-Valvo, 2000; entre d'altres). La recerca geomorfològica s'ha desenvolupat a partir dels treballs de Pallí, Trilla & Estalrich (1985), Pallí (1978, 1980 i 1985), Pallí & Roqué (1993, 1995 i 1996), Roqué (1993), Roqué & Pallí (1998) i Linares et al. (2003).

Per les observacions puntuals a camp s'han seguit les taules i gràfiques proposades a Day & Goudie (1977), González de Vallejo et al (2002) i Ericson (2004), les quals permeten una sistematització en les mesures de camp.

De manera complementària també ha estat utilitzada la informació geofísica recopilada en els treballs del REPO (1969); Trilla et al. (1980); Linares et al. (2003) i l'elaborada amb motiu d'aquesta recerca. Majoritàriament aquestes dades geofísiques aporten coneixement sobre el grau de fracturació del substrat existent en el subsòl corresponent a les planes al·luvials, i en conseqüència, ajuden a complementar les dades obtingudes en afloraments. A l'hora de definir zones segons grau de fracturació les dades sísmiques de compacitat i de resistivitat han estat especialment útils.

La valoració conjunta de totes les dades aconseguides ens ha permès establir tres unitats principals, descripció petrològica de la qual s'ha extret principalment de Roqué et al. (2001) i de les pròpies dades de camp:

- **Tipus 1:** Roques amb un grau de fracturació elevat. L'espaiat entre discontinuïtats és <0,2 m. Es dona en granitoides de gra fi, pòrfirs àcids i roques metamòrfiques.

- Roques metamòrfiques. És una unitat marcadament heterolítica, fins i tot a escala mètrica, que deriva dels metasediments silicis i de les metavulcanites paleozoiques. Constitueix la zona més interna de l'aurèola de metamorfisme de contacte desenvolupada al voltant de les masses de granitoides. En general són roques de color verd fosc, negroses, d'aspecte massiu, amb textura granoblàstica, que com a minerals essencials contenen quars i

biotita, més o menys clorititzada, així com andalusita i cordierita, en general reemplaçades per moscovita, sericita i fibrolita. Localment poden tenir una proporció gran de feldspat potàssic (microclina), especialment quan deriven de les metavulcanites àcides de l'Ordovicià superior. S'hi reconeixen estructures relictas, com bandats composicionals i plecs a petita escala. Solen presentar filonets de quars, d'aplitita i de leucogranits de pocs centímetres de gruix, així com masses de granitoides de dimensions variables. El grau de fissuració és intens, a escala decimètrica, amb espaiats de 0,02 a 0,2 m. S'hi reconeixen fonamentalment diàclasis subverticals, molt espesses. A les fàcies més externes de les aurèoles de metamorfisme de contacte, on dominen els esquists, les diàclasis subverticals coexisteixen amb plans d'esquistositat de tendència subhoritzontal. En conjunt aquests materials es presenten quelcom meteoritzades a nivell superficial, amb predomini de la fracció argilosa. El gruix del mantell d'alteració és <2m, llevat dels esquists quarsifeldspàtics, on pot assolir fins a 5 m de potència.

- Granits de gra fi. Es tracta de granits leucocràtics de mida de gra fina, a vegades de fina a mitjana. Són roques de color rosat o ataronjat, més o menys intens, holocristal·lines, generalment inequigranulars, que com a minerals essencials contenen quars, feldspat potàssic (microclina) i plagiòclasi (albita i oligòclasi). Presenten moscovita i biotita accessòries, aquesta darrera parcialment clorititzada, així com apatita. Localment s'observa una orientació preferent de les miques. El grau de fracturació és intens, a escala decimètrica. L'espaiat entre fissures és <0,2m. La disposició de les diàclasis és irregular, amb predomini de plans subverticals. Es presenten molt poc meteoritzats a nivell superficial, amb espessors inferiors a 2 m i, sovint, aflora la roca inalterada directament en superfície.
- Pòrfirs àcids. En aquesta categoria s'han inclòs les roques porfíriques de composició àcida. Són roques de color gris clar que poden arribar a tenir tonalitats rosades o vermelloses. Es tracta majoritàriament de pòrfirs granítics i granodiorítics, així com de microgranits, granòfirs i felsites. Presenten una textura porfírica molt marcada, en la qual, sobre una pasta de color gris clar o rosada, destaquen uns fenocristalls, que tendeixen a ser idiomòrfics, de quars, ortosa, plagiòclasi, biotita i, a vegades, hornblenda. La matriu és formada per un intercreixement isòtrop, al·lotriomòrfic de quars i feldspat potàssic, generalment a parts iguals. En alguns casos s'hi observen textures granofíriques o microgràfiques. Sol presentar quantitats variables de biotita, sovint transformada en clorita i diversos minerals accessoris, entre ells apatita, moscovita, epidot, esfèn i opacs. Cal assenyalar que

poden haver-hi variacions fortes de la textura dins un mateix dic, sobretot a les vores amb la roca encaixant on, a causa del ràpid refredament de la massa intrusiva, es formen faixes de pòfirs felsítics. El grau de fracturació d'aquestes roques és molt elevat, amb espaiats de 0,02 a 0,2 m. Les diàclasis són irregulars en quant a distribució, però sol predominar la component subvertical. En general es disposen en forma de dics subverticals d'entre 2,5 i 25 m de gruix, de traçat rectilini i amb una direcció preferent est-nord-est/oest-sud-oest. En general es troben inalterats a nivell superficial i donen relleus prominents.

- **Tipus 2:** Roques amb un grau de fracturació mitjà. L'espaiat entre discontinuïtats és de 0,2 a 1 m. Comprèn diferents tipus de granitoides de gra gros.

- Granits de gra gros. Es tracta de granits leucocràtics de mida de gra grossa. Són roques de color rosat, més o menys ocres per la presència d'òxids de ferro, holocristal·lines, generalment equigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, feldspat potàssic i plagiòclasi (albita i oligòclasi). Contenen biotita parcialment clorititzada, així com zircó i moscovita accessòries. El grau de fracturació és variable però en general l'espaiat entre fissures varia entre 0,5 i 0,2 m. La disposició dominant és la subvertical, tot i que localment presenten fractures subhorizontals ben desenvolupades (sheet fractures). Els afloraments considerats dins aquesta unitat es presenten poc meteoritzats a nivell superficial, amb gruixos de sauló inferiors a 2 m. Les zones més meteoritzades han estat incloses en la categoria de sauló.
- Granits de gra mitjà. Es tracta de granits leucocràtics de mida de gra mitjana. Són roques de color rosat vermellós o groguenc, més o menys ocres per la presència d'òxids de ferro, holocristal·lines, inequigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, feldspat potàssic i plagiòclasi (oligòclasi). Contenen biotita parcialment clorititzada, així com zircó, apatita, magnetita, granats i moscovita. El grau de fracturació és intens amb espaiats entre diàclasis compresos entre 0,2 i 0,5 m. Els afloraments considerats dins aquesta unitat es presenten poc meteoritzats a nivell superficial, constituint prominències rocalloses i zones de boles. Les zones més meteoritzades han estat incloses en la unitat de sauló.
- Granodiorites amb megacristalls. Es tracta de granodiorites de mida de gra gros a mitjà, porfíriques per la presència de cristalls de microclina de fins a 8 cm de llargada. Són roques de color gris fosc, holocristal·lines, generalment inequigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, plagiòclasi

(oligòclasi i andesina), feldspat potàssic (generalment microclina) i biotita. Contenen moscovita, turmalina, apatit, zircó i epidot com a minerals accessoris més habituals. Solen tenir clorita secundària derivada de l'alteració de la biotita, així com un xic d'hematites. Contenen molts enclavaments microquarsdiorítics de color fosc, de mida d'ordre centimètric i de formes arrodonides o el·lipsoïdals. El grau de fracturació és variable, generalment amb espaiats compresos entre 0,5 i 1 m. S'hi reconeix una combinació fissures subverticals i subhorizontals o lleugerament corbades (*sheet fractures*), aquestes darreres molt esteses en afloraments de relleus dòmics. Les àrees amb graus de fracturació més densos es troben fortament arenitzades i han estat incloses en la unitat de sauló.

- Granodiorites i granits biotítics. Es tracta de granodiorites i de granits de mida de gra gros a mitjà. Són de color gris fosc, holocristal·lins, generalment equigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, plagiòclasi (oligòclasi i andesina), feldspat potàssic (ortosa i/o microclina) i biotita. Contenen zircó, apatita, clorita, moscovita, epidot i opacs com a minerals secundaris i accessoris més freqüents. Solen contenir molts enclavaments microquarsdiorítics de color fosc, de mida d'ordre centimètric i de formes arrodonides o el·lipsoïdals. El grau de fracturació és variable, generalment amb espaiats compresos entre 0,5 i 1 m, que com la unitat precedent es disposen subverticals i subhorizontals o lleugerament corbades (*sheet fractures*). Les àrees amb graus de fracturació més densos es troben fortament arenitzades i han estat incloses en la unitat de sauló.

- Tipus 3: Roques intensament fracturades.

- S'inclouen aquí les grans estructures tectòniques que actuen com a eixos drenants del sistema. Es tracta de les principals fractures que es reconeixen a la zona d'estudi. Sovint, aprofitant el traçat d'aquestes estructures s'hi han injectat dics. A l'entorn d'aquestes estructures la roca es troba intensament fracturada. D'acord amb les observacions de camp, aquestes bandes tectonitzades ocupen una extensió d'uns 250 m a banda i banda del traçat de la gran fractura. Tenen orientacions NE-SW i ENE-WSW, força rectilínies, i en profunditat es pensa que són subverticals i normals, encara que no es descarta una certa component direccional.

D'acord amb dades proporcionades per sondatges de captació d'aigües subterrànies realitzats a la zona Montseny-Guilleries, aquestes grans fractures actuen com a eixos

drenants fins a fondàries constatades d'uns 400 m. A fondàries superiors es desconeixen les seves característiques hidrogeològiques.

10.1.2.2.- Formacions superficials

Aplicant el mateix criteri diferenciador que en el cas de les roques, el geomecànic, en aquest cas els materials assimilables a sòls són tots aquells agregats naturals de partícules minerals separables per medis mecànics de poca intensitat, com per exemple l'agitació en aigua (Terzaghi & Peck, 1976). En aquest cas, la circulació i emmagatzematge de l'aigua subterrània té lloc pels porus dels sediments; es tracta d'un mecanisme de permeabilitat per porositat primària.

Les formacions superficials així considerades han estat valorades, principalment, en base al seu contingut en fins (tamany de les partícules menor a 0,08 mm). Aquelles formacions que presenten una potència inferior a 0,5 m, no han estat cartografiades.

Els treballs efectuats es fonamenten en estudis de superfície i del subsòl. Els primers es basen en l'estudi d'afloraments, i el segon, en l'anàlisi de la recopilació de dades de sondatges i cales de reconeixement, complementats amb mesures geofísiques realitzades expressament per aquesta recerca.

Les mostres seleccionades que han estat assajades al laboratori provenen de mostratges de camp i sondatges de reconeixement realitzats a la zona (aquests darrers facilitats per l'empresa EGGA). Les analítiques han consistit en proves granulomètriques per tamisat, segons el mètode normatiu UNE 103 101:1995 (Geotecnia, 1999).

Han estat distingides les següents unitats:

- **Tipus 1:** Contingut en fins elevat. Es tracta d'aquelles formacions constituïdes, majoritàriament, per sediments lutífics. Aquest és el cas de les unitats següents:

- dipòsits col·luvials sobre roques plutòniques. Es caracteritzen bàsicament per estar formades per sorres i lutites amb algun còdol, potència de les quals es variable entre 0,5 i 5 metres.
- dipòsits col·luvials sobre roques metamòrfiques. Aquestes unitats estan formades bàsicament per lutites amb còdols, potència de les quals varia entre 0,5 i 5 metres.
- Dipòsits col·luvials-eòlics. Són llims i sorres molt fines amb nòduls i crostes de carbonat. Presenten potències entre 0,5 i 8 metres.

- Dipòsits de maresma. Aquests es caracteritzen per una composició de sorres molt riques en lutites negres.

- **Tipus 2:** Contingut en fins mitjà. Es tracta d'aquelles formacions constituïdes, majoritàriament, per sediments de graves i sorres barrejades amb llims i argiles a la matriu. Correspon a les unitats següents:

- Dipòsits al·luvials i col·luvials. Unitat formada per graves i sorres barrejades amb llims i argiles amb còdols. La potència d'aquests materials varia des dels pocs centímetres fins a la desena de metres.
- Dipòsits de ventalls al·luvials. Són dipòsits formats per graves i blocs amb abundant matriu pel·lítica de potències no superiors als 20 metres.
- Mantells de granitoides alterats (sauló). Adquireix un aspecte semblant al d'una sorra de gra gros lleugerament cimentada i una mica argilosa. Els gruixos poden ser molt variables segons la composició química i el grau de fracturació de la roca mare, on en alguns indrets assoleixen una potència de més de 40 metres.

- **Tipus 3:** Contingut en fins baix. Es tracta d'aquelles formacions constituïdes, majoritàriament, per nivells de graves i sorres, amb intercalacions esporàdiques de llims i argiles a la part superior. Aquest és el cas de les unitats següents:

- Lleres actuals de les principals rieres estudiades, formades bàsicament per graves i sorres.
- Dipòsits actuals i subactuals dels torrents, formats per graves, sorres amb menor quantitat per llims i argiles.
- Dipòsits al·luvials de la plana d'inundació i dipòsits al·luvials aterassats (terrasa 1 baixa). Aquests estan constituïts per graves, sorres i llims recoberts d'argiles a la part alta.
- Dipòsits eòlics litorals actuals i degradats. Formats per sorres mitjanes ben classificades.
- Dipòsits de platja actuals i subactuals. Constituïts per sorres i graves majoritàriament, amb algun llim de forma esporàdica.

10.1.3.- Característiques hidrogeològiques

A continuació es sintetitzen les dades recopilades i elaborades en relació a les principals característiques hidrogeològiques dels aqüífers derivats de les unitats geomecàniques

descrites anteriorment. S'han diferenciat tres formacions aquíferes principals: **unitat granítica, unitat sedimentària i unitat metamòrfica.**

A la taula 10.1 s'ofereixen les dades d'extensió que es deriven del **Mapa 4.- Formacions Aqüíferes**, de l'apartat dels annexes.

Sistema aqüífer	Unitat granítica		Unitat sedimentària		Unitat metamòrfica	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Aubi	9,03	22,77	14,57	36,75	13,81	34,83
Calonge	27,13	51,59	8,43	16,23	16,90	32,18
Ridaura	55,02	75,60	15,28	20,99	2,39	3,38
Tossa	31,33	81,21	5,67	14,86	1,44	3,83
Lloret	19,26	84,18	3,71	16,23	0	0

Taula 10.1.- Superfícies ocupades per les diferents unitats en el sistema aqüífer corresponent

10.1.3.1.- Unitat granítica

Es tracta de la unitat aqüífera més important en quan extensió de la zona d'estudi. La seva recerca hidrogeològica és molt escassa i, en conseqüència, també les extraccions.

Seguint els criteris metodològics desenvolupats per ACA-UB (2002), dins d'aquesta tipologia d'aqüífer es poden diferenciar tres subunitats principals:

- Subunitat de sauló
- Subunitat de granit fissurat
- Subunitat de grans fractures

Els criteris geomorfològics, litoestructurals i geofísics utilitzats per subdividir la unitat de granit han estat descrits anteriorment. A més d'aquests cal afegir les aportades per l'inventari i per la comprovació del comportament hidràulic de diverses obres de captació.

En aquest sentit, cal destacar que els rendiments per unitat d'obra de captació s'incrementen a mesura que es guanya profunditat.

En la subunitat constituïda pels mantells d'alteració, els pous acostumen a ser oberts, amb profunditats que no superen els 50 m, i proporcionen cabals molt variables, generalment inferiors als 2 m³/h. En general, els majors rendiments es donen en aquells pous que travessen nivells fissurats, i en conseqüència, l'alteració no ha estat molt intensa.

Aquests cabals s'incrementen en el cas del pous perforats que exploten en el medi fissurat; de l'ordre d'uns 5-7 m³/h. En aquest cas assoleixen fondàries d'uns 100 m.

Per últim, aquells pous que obtenen l'aigua de grans fractures d'àmbit regional els cabals poden arribar a aproximar-se als 100 m³/h. Les profunditats dels pous són notòriament superiors a les indicades en el cas anterior. A la zona del Montseny-Guilleries, les investigacions realitzades demostren que aquestes gran estructures de fractura tenen interès hidrogeològic fins a fondàries d'uns 400 m (ACA-UB, 2002).

Aquesta distribució dels rendiments de les obres de captació posa de manifest la importància que tenen les fractures en quan a l'augment de la transmissivitat.

La funció capacitiva de l'aquífer granític es concreta en el nivells alterats en superfície i el medi microfissurat dins del massís rocós, i la funció drenant té lloc en el trams fissurats i, sobretot, a través de les fractures majors.

Subunitat aquífera de sauló

Presenta un comportament de tipus lliure.

- *Geometria*

En general la geometria en profunditat d'aquests mantell d'alteració s'adapta força a la morfologia actual. En conseqüència es poden diferenciar diversos cossos associats a cadascuna de les principals conques hidrogràfiques de la nostra zona d'estudi. Les dades de superfície, gruixos màxims, percentatge que representa de la unitat granítica i de tota la conca es presenta a la taula 10.2.

Sistema aquífer	Superfície ocupada pels mantells d'alteració (km ²)	Gruixos màxims (m)	Percentatge de la unitat granítica (%)	Percentatge del total de la conca (%)
Aubi	8,49	30	94,04	21,41
Calonge	13,88	30	51,16	26,39
Ridaura	29,32	40	53,29	40,29
Tossa	10,41	20	33,23	26,98
Lloret	11,54	>15	59,92	50,44

Taula 10.2.- Superfície, gruixos màxims i percentatge que el sauló representa de la unitat granítica i de tota la conca.

Com es dedueix de la taula 10.2, la subunitat aquífera de sauló, dins de les principals conques hidrogràfiques estudiades, ocupa en superfície 73,64 km², tot i que per a tot l'àmbit d'estudi aquesta xifra ascendeix fins als 88,58 km².

Aquesta unitat queda integrada pels perfils d'arenització (sauló) desenvolupats per processos de meteorització química sobre qualsevol de les fàcies de granitoides paleozoics dels massissos estudiats. La capa de sauló assoleix gruixos variables, que en alguns indrets arriben a superar els 35 m. Segons les dades recopilades de sondatges, informació geofísica recopilada i efectuada expressament per aquesta recerca i dades de camp, permeten establir que el gruix és més gran en les granodiorites i granits biotífics que no pas en les fàcies granítiques leucocràtiques. Aquests gruixos màxims es presenten tot seguit i evidentment no tenen en compte les zones amb grans falles (corresponent a la tercera de les subunitats descrites).

Gruixos màxims del mantell de sauló

- granodiorites del cap de Planes (Palamós) de 25 a 30 m
- granodiorites de Salenys (SCA) de 30 a 40 m
- granodiorites de Tamariu (Palafrugell) > 25 m
- granodiorites de Mont-ras (marge esquerra plana Aubi) > 20 m
- granodiorites de Tossa (zona Llorell) > 15 m
- granodiorites Lloret (zona Fanals) > 15 m
- granits de gra gros (zona Solius) de 10 a 15 m
- la resta de perfils sobre granits de gra gros a mitjà de l'Ardenya no superen els 10-15 metres

Com a tall d'exemplificació presentem a la figura 10.1 les dades i situació corresponents a alguns dels talussos estudiats al sector de la conca de la riera de Tossa. En aquesta figura, a banda de les dades de potència i el percentatge en fins (llims i argiles) a diferents alçades, s'ha adjuntat les dades corresponents a les mesures de la resistència a la compressió simple mitjançant el martell d'Schmidt, utilitzades per a la caracterització d'aquests mantells com a recursos geomíniers. La metodologia d'aquesta última tècnica, doncs, ha estat descrita al capítol de Roques Industrials.

Totes aquestes anàlisis granulomètriques per tamisat estan estandarditzades per la norma UNE 103 101:1995 (Geotecnia, 1999) i l'equip emprat correspon a la Sèrie de garbells UNE 7050-2. Pel fet de voler determinar només la fracció fina tan sols s'ha treballat amb el tamís de 0,08 mm. En aquest cas s'ha seguit la norma UNE 7050 en que defineix com a fracció fina aquella que passa per el tamís de malla 0,08 mm.

Amb tota aquesta recerca de detall podem dir que en aquests perfils d'alteració la roca granítica originària adquireix un aspecte semblant al d'una sorra de gra gros lleugerament cimentada i quelcom argilosa. La proporció de fins és més gran en els mantells d'alteració desenvolupats sobre granodiorites i granits biotítics (12 a 21,5%) que no pas sobre fàcies granítiques leucocràtiques (13,8 a 2,5%). Aquest fet s'explica perquè la descomposició de les plagiòclasis és molt més efectiva que no pas la dels feldspats potàssics.

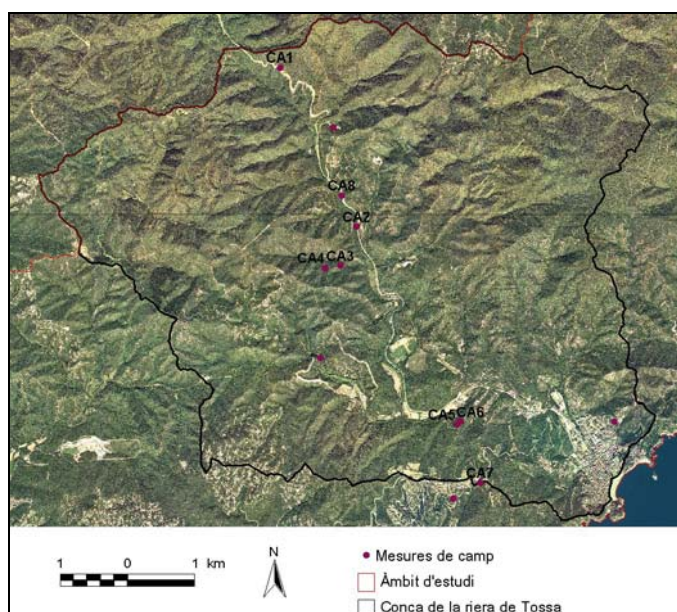
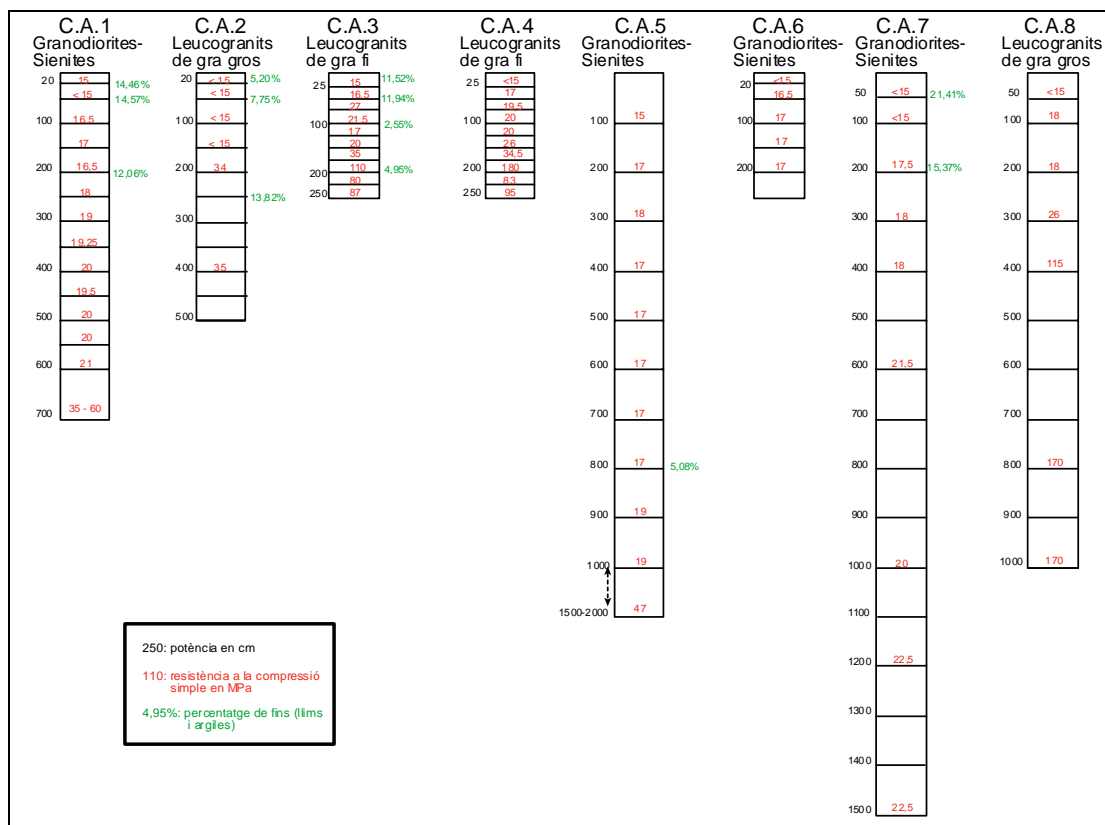


Figura 10.1.- Exemple de l'estudi detallat d'alguns dels talussos en mantells d'alteració de granitoides a la zona de la conca de la riera de Tossa.

Aquesta distribució dels dipòsits d'alteració condiciona el comportament hidrològic del conjunt de la unitat aquífera granítica, ja que la recàrrega d'aquesta unitat té lloc, en gran part, a través de la zona més externa alterada (Figura 10.2).

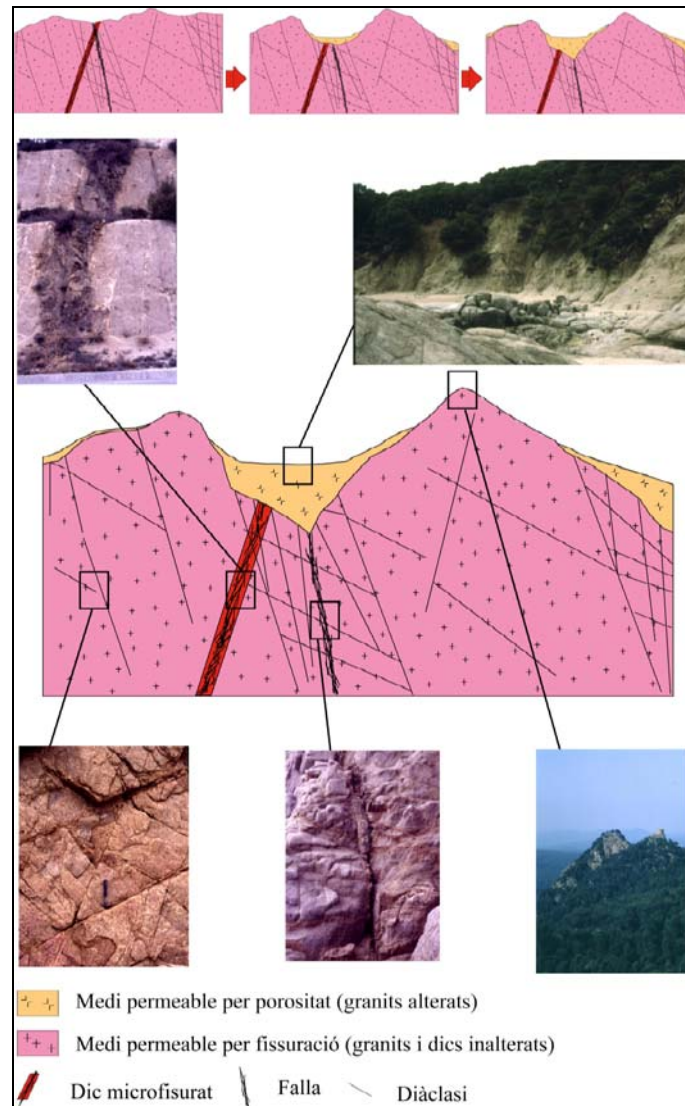


Figura 10.2.- Bloc diagrama de l'evolució geomorfològica dels granitoides (segons Linares et al., 2000b. Modificat)

Per valorar aquests comportaments, s'han realitzat diverses proves infiltromètriques segons el mètode de Müntz o de doble anella (ASTM, 1988), recomanable per aquest anàlisi comparatiu (Julander & Jackson, 1983). En total s'han realitzat 12 assaigs en sòls inicialment secs, amb la finalitat d'obtenir un ordre de magnitud del procés.

Els valors obtinguts són força variables; fluctuen entre 96 mm/h i 640 mm/h. A les parts més elevades s'assoleixen els valors més alts, on el sauló té una textura més sorrenca. En canvi,

en zones relativament baixes i planeres s'obtenen infiltrabilitats compreses entre 96 i 190 mm/h, qualificables com a mitjanes. Aquí les textures d'aquests materials acostumen a donar un contingut en llim major que el mesurat en cotes més altes, i és habitual que s'hi trobi un alt contingut en feldspats procedents de l'erosió del sauló topogràficament més elevat.

Els valors obtinguts són similars al descrits per Ros (1997) en dipòsits similars a la conca de l'Onyar, i per ACA-UB (2002) a la zona del Montseny-Guilleries, globalment qualificables com elevades.

Quan el terreny es troba inicialment humit, els valors infiltromètrics es veuen reduïts. Aquesta reducció només és significativa en el cas de sòls poc permeables, d'acord amb els estudis realitzats per Ros (1997).

- *Principals paràmetres hidràulics*

Es disposa de mesures realitzades en dipòsits similars de la zona Montseny-Guilleries (ACA-UB, 2002). Segons aquests autors, la porositat eficaç oscil·la entre el 15-10% i disminueix linealment en profunditat fins assolir valors del 1-2%. Les mesures de permeabilitat, a nivell de mostra, donen valors compresos entre 18 m/dia i 25 m/dia. En aquest cas, els nivells més profunds presenten els valors més elevats de permeabilitat.

Subunitat aquífera de granit fissurat

Generalment, aquesta subunitat hidrogeològica es troba connectada hidràulicament amb la subunitat superior. Per tant, tot i tractar-se d'una subunitat fissurada presenta un comportament de tipus lliure sempre i quant les fractures es trobin interconnectades amb la subunitat constituïda pels mantells d'alteració. Tot i això en alguns sectors on les fractures es troben aïllades la unitat es pot comportar com a confinada.

- *Geometria*

A l'igual que en el cas de la subunitat anterior, en aquest cas la geometria en profunditat d'aquests trams fissurats s'adapten força a la morfologia actual.

Majoritàriament es localitza sota la subunitat de sauló, ocupant per tant, les mateixes extensions. No obstant, en determinats sectors també aflora en superfície.

El límit inferior d'aquesta subunitat està controlat per les roques granítiques molt poc fissurades, les quals constitueixen el substrat impermeable dels principals sistemes aquífers de la unitat granítica.

El gruix és difícil de determinar amb certa exactitud. A les zones on aflora, especialment a la conca del Ridaura, s'observen potències màximes d'uns 50 m. Aquesta xifra, en ordre de magnitud, és coherent amb la informació facilitada per la prospecció geofísica.

- *Principals paràmetres hidràulics*

D'acord amb les característiques litoestructurals, presenta una porositat secundària per fissuració que es troba controlada per les característiques de la fractura, com són l'obertura, el grau de rebliment amb materials procedents de l'alteració del propi granit i/o per la precipitació de minerals en el seu interior. Per tant la permeabilitat varia en funció del grau de fissuració i del rebliment de les fractures.

En tots dos casos no es disposa de dades numèriques. En qualsevol cas, en fondària el tancament de les obertures determinarà una reducció progressiva tant de la porositat com de la permeabilitat.

Subunitat aquífera de grans fractures

Com ja hem indicat, no es té constància que a la zona d'estudi existeixin pous que captin l'aigua subterrània a través de grans fractures. No obstant, en àrees properes, com la veïna conca de l'Onyar (Albert & Corominas, 1980) i el massís del Montseny-Guilleries (ACA-UB, 2002) són objecte d'explotació. Les dades hidràuliques que tot seguit s'exposen deriven dels estudis citats.

D'acord amb les dades facilitades per les principals empreses envasadores de la zona del Montseny-Guilleries, el comportament d'aquesta subunitat és confinat en les zones de captació, corresponent a les zones de major profunditat.

- *Geometria*

És difícil establir la geometria d'aquesta subunitat ja que es tracta de grans fractures de direccions NE-SW i ENE-WSW que tenen un àmbit d'influència d'aproximadament 250 m a banda i banda de la fractura. Es pensa que en profunditat les fractures són, tot i que es desconeix la seva morfologia en profunditat, subverticals i normals, encara que no es descarta una certa component direccional.

L'interès hidrogeològic d'aquestes grans fractures arriba a fondàries constatades d'uns 400 m, al veí massís del Montseny.

Per similitud amb les característiques que presenten les que es desenvolupen en àrees properes, s'opina que les principals fractures que constitueix aquesta subunitat són les grans fractures de direcció NW-SE que travessen el massís de forma diagonal. Es tracta de fractures més importants pel que fa a la seva longitud i profunditat. S'observa que aquestes coincideixen amb els principals cursos fluvials, i en conseqüència, sovint, cartogràficament, queden emmascarades pels dipòsits fluvials (vegeu la figura anterior com solen coincidir les grans fractures amb les valls).

- *Principals paràmetres hidràulics*

Des del punt de vista dels paràmetres hidràulics aquesta unitat es destaca per presentar una porositat secundària per fracturació. No s'han pogut determinar els principals paràmetres hidràulics de les principals fractures que formen part d'aquesta subunitat, però en qualsevol cas, donaran lloc a aqüífers d'elevada transmissivitat.

10.1.3.2.- Unitat sedimentària

Constitueix la unitat aqüífera coneguda com Rieres Costa Brava (DPTOP & DMA, 1992). Queden aquí englobats el conjunt de sediments de gènesi fluviotorrencial, deltaica i litoral, fruit de l'evolució morfodinàmica recent dels principals cursos fluvials de la regió: Aubi, riera de Calonge, Ridaura i rieres de Tossa i Lloret. Cadascuna d'elles amb entitat hidrogeològica pròpia.

Ha estat fins fa pocs anys la principal font de subministrament d'aigua a la regió. Quasi exclusivament les extraccions d'aigües subterrànies derivaven d'aquest unitat, tot i que en l'actualitat el subministrament d'aigua potable prové del transvassament de l'aigua de la Tordera i del Ter. Per aquest motiu és considerada la unitat aqüífera més important. De fet, a nivell administratiu, de gestió de l'aigua subterrània, és l'única unitat que es objecte de treballs de recerca i de controls sistemàtics.

Atenent a criteris geomorfològics i litoestructurals, s'han diferenciat dues subunitats principals dins d'aquestes formacions superficials: les cubetes o vall fluvials i les planes deltaiques.

- Subunitat de valls fluvials
- Subunitat de planes deltaïques

Si bé en superfície el límit entre ambdues subunitats és en ocasions difícil de precisar, en profunditat el pas d'una a l'altra implica, sovint, un canvi brusc en la morfologia de la paleovall. En estudis recents, mitjançant tècniques de prospecció geofísica, hem pogut constatar aquest fet en el cas de la riera de Tossa (Linares et al., 2003), i també l'hem pogut confirmar en el cas de la vall del Ridaura, per la qual cosa creiem que es tracta de morfologies comunes al conjunt de les valls pleistocenes de la regió.

Els aqüífers més productius corresponen als dipòsits al·luvials del Quaternari, sempre que la proporció de sediment de gra fi (l·lims i argiles) sigui baixa. A la plana de l'Aubi, especialment cap a la part més meridional, els nivells de graves i sorres abasteixen nombrosos pous que majoritàriament s'empren per regar camps i horts, i arriben a donar rendiments de 80 a 100 litres/segon.

La menor potència de les acumulacions detrítiques en les àrees ocupades per les valls fluvials, fa que en aquesta subunitat els rendiments de les obres de captació sigui més baix.

Com a informació cartogràfica complementària a la presentada en el **Mapa 4.- Formacions Aqüíferes**, de l'apartat dels annexes, a les figures que es presenten a continuació (Figures 10.3 a 10.7) es mostren les dades hidrogeològiques elaborades per a cadascuna de les principals unitats sedimentàries. Aquestes finalment s'han il·lustrat en aquesta memòria, tot i que, insistim, la informació també és consultable interactivament en format digital a través del SIG.

Aquestes dades piezomètriques i de localització de pous particulars i municipals s'han aconseguit en gran part a les mesures pròpies de camp. També s'ha pogut disposar, tot i que només representen un 5,6% dels punts d'aigua tractats, de les dades de l'Agència Catalana de l'Aigua, dades dels diferents ajuntaments implicats, en algun cas dades de les empreses que exploten i distribueixen l'aigua d'aquests pous, i estudis recents com Font & Muñoz (2003) o de més antics com REPO (1972). A banda dels pous inventariats en el moment de fer el mostreig també es van incorporar tots aquells punts d'aigua que es localitzaven in-situ ja que el major nombre possible de dades, i sobretot ben distribuïdes arealment, permet després una millor interpolació per fer el mapa piezomètric corresponent (Arthur, 1998). Aquesta tasca es va efectuar en l'època corresponent al juny-juliol de 2002, mitjançant una sonda manual de 30 metres amb sensor electrònic.

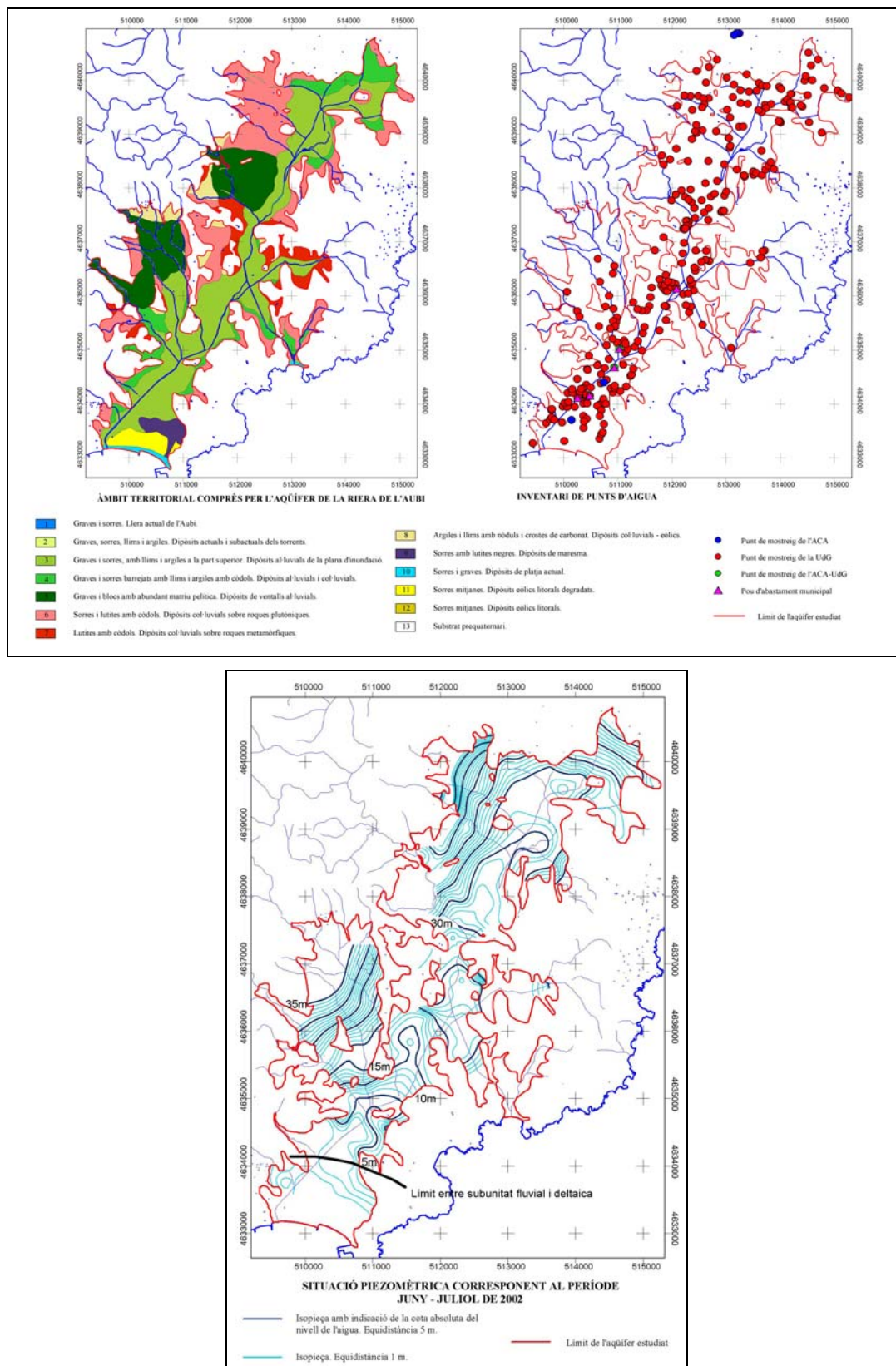


Figura 10.3.- Sistema hidrogeològic de l'Aubi. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002

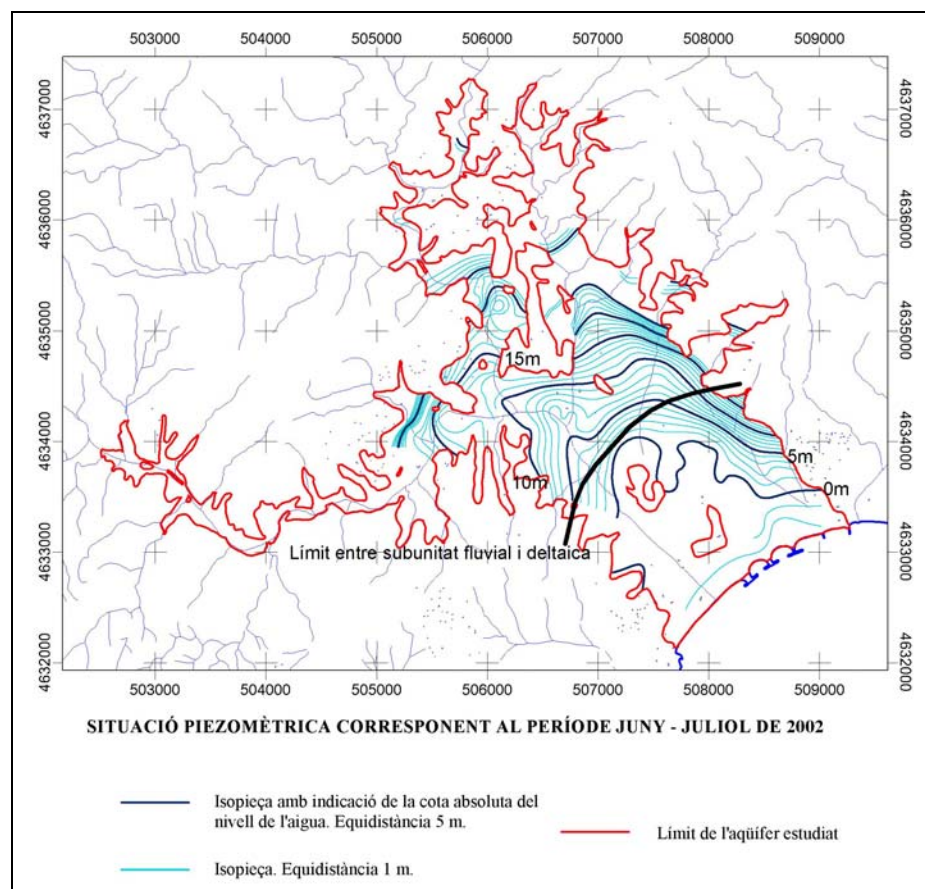
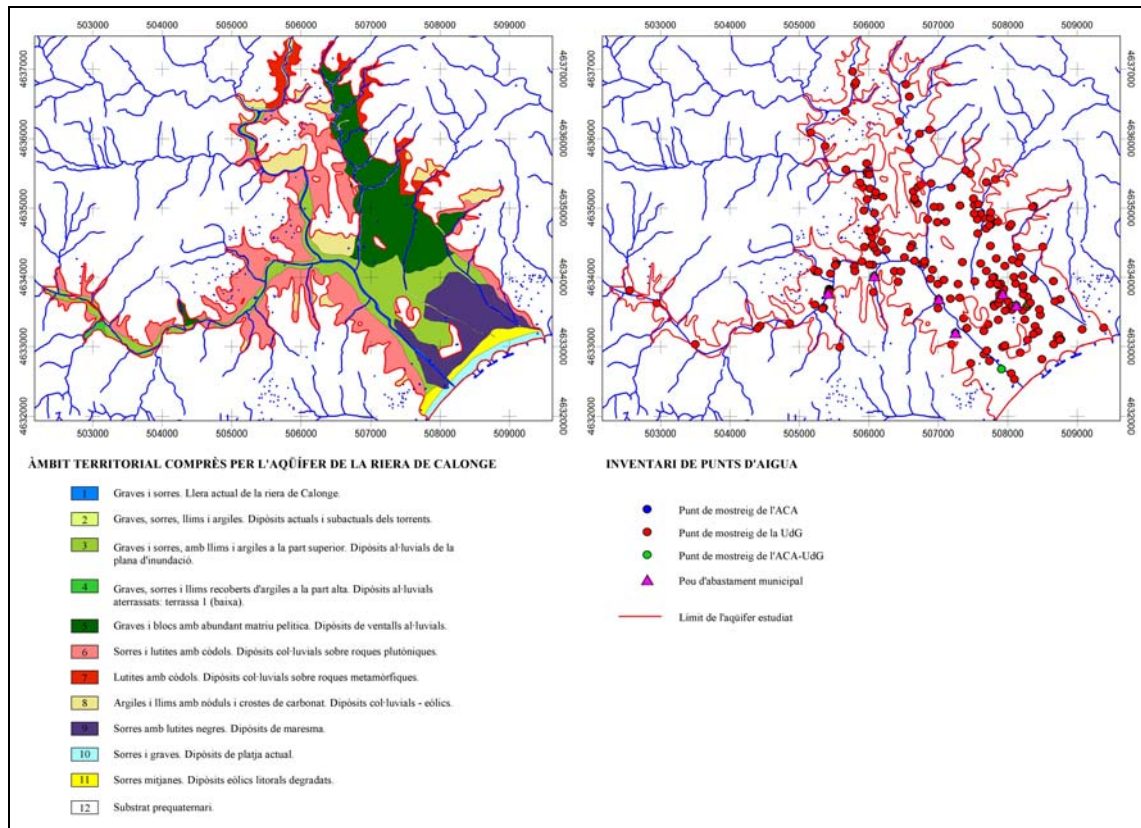


Figura 10.4.- Sistema hidrogeològic de la riera de Calonge. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002

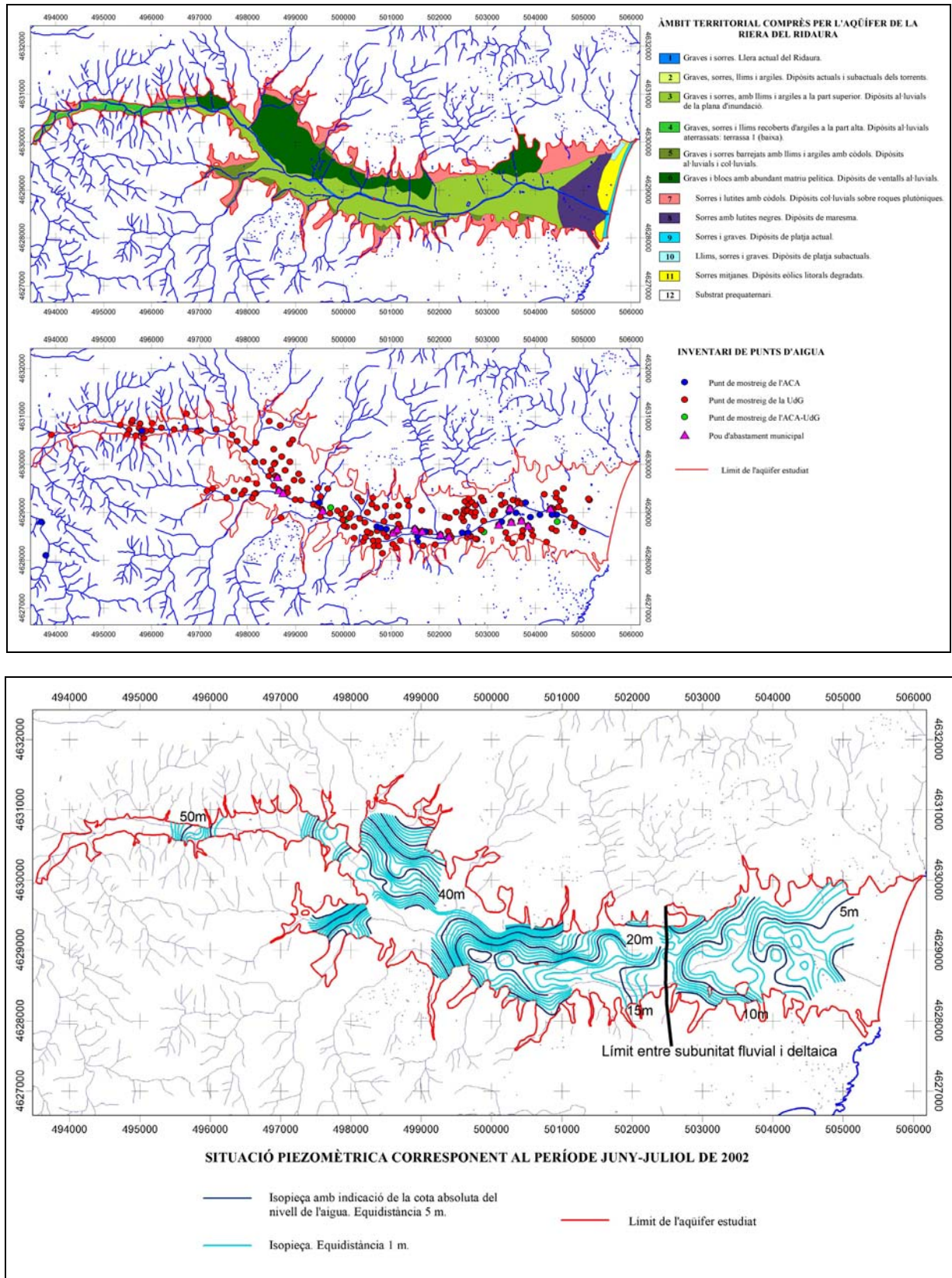


Figura 10.5.- Sistema hidrogeològic del Ridaura. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002

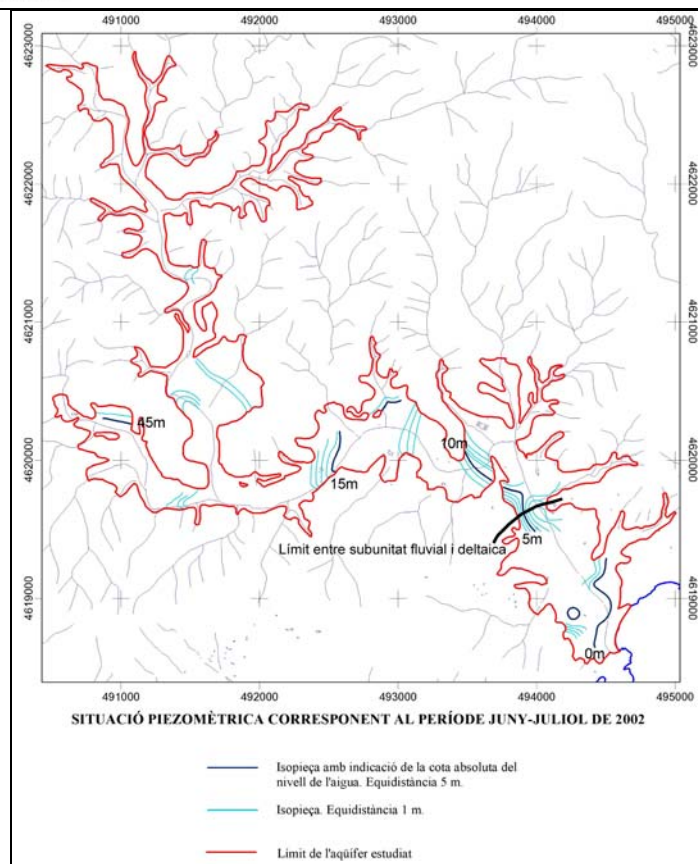
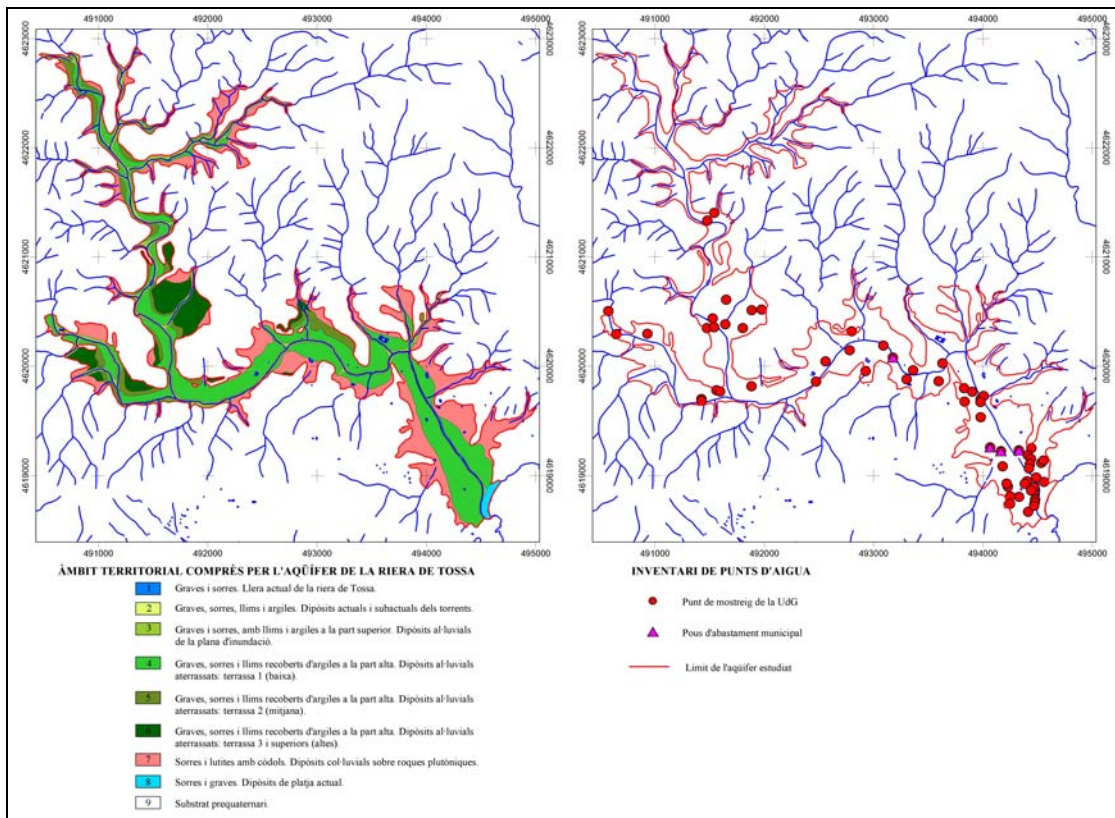


Figura 10.6.- Sistema hidrogeològic de la riera de Tossa. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002

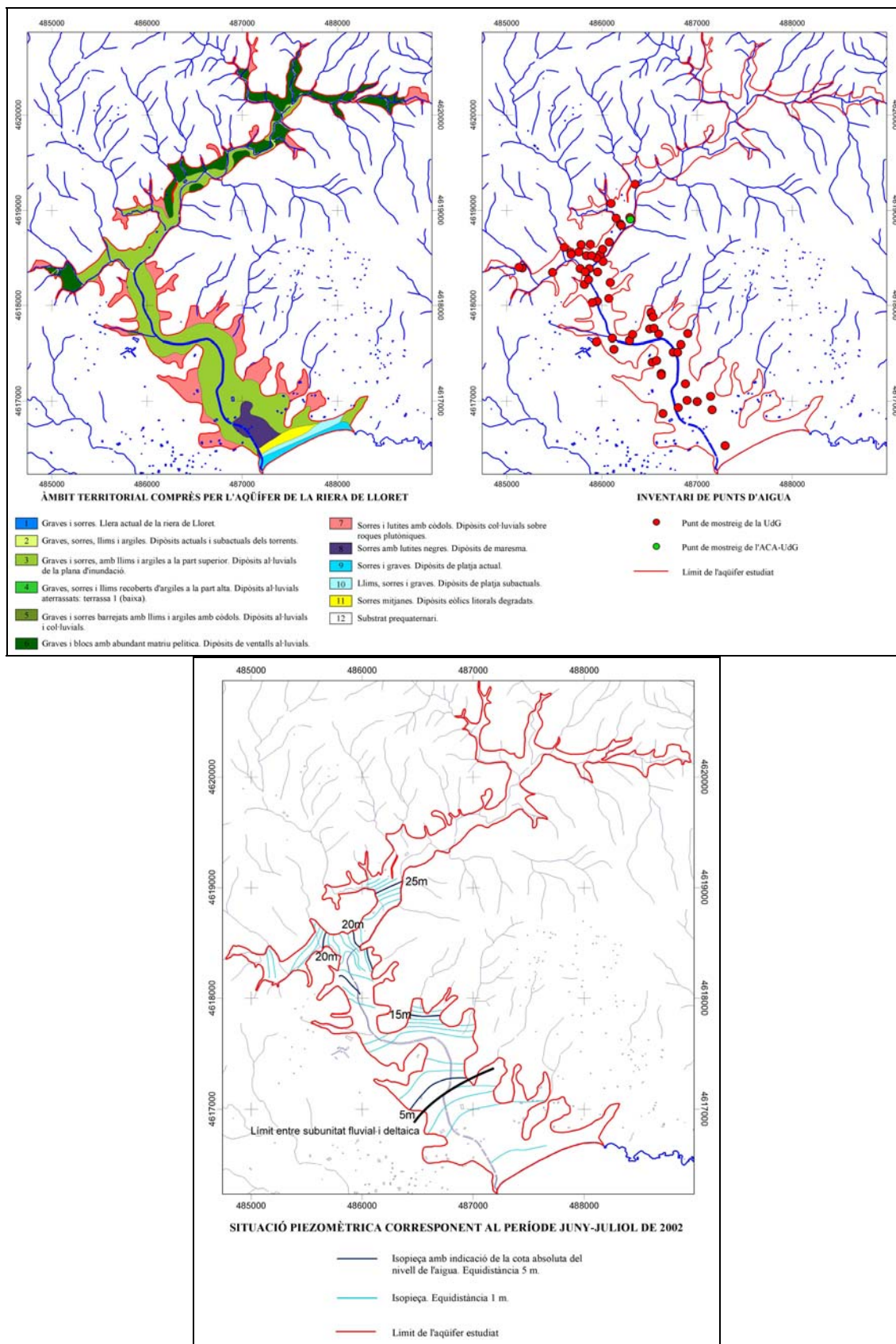


Figura 10.7.- Sistema hidrogeològic de la riera de Lloret. Principals dominis litològics, inventari de punts d'aigua i mapa piezomètric corresponent al període juny-juliol de 2002

Subunitat aquífera de valls fluvials

El sediments que constitueixen aquesta subunitat corresponen bàsicament a sorres lleugerament argiloses de gra fi i gravetes lleugerament argiloses amb algunes intercalacions de llims i argiles. Aquesta composició és deguda principalment a què l'àrea font d'aquests sediments són els mantells d'alteració dels granitoides. Més a prop del torrents tributaris hi ha abundància d'elements grollers, arenes quarsoses de gra groller amb algunes graves a la base, de diversa litologia i en general molt netes, ja que el relleu circumdant és molt acusat.

El comportament hidrogeològic d'aquesta subunitat és força constant com a conseqüència de homogeneïtat litològica. El comportament aquífer de tipus lliure és el dominant.

- *Geometria*

Amb la finalitat d'aprofundir en el seu coneixement s'ha dut a terme un estudi detallat de la riera de Tossa. La informació disponible del subsòl del conjunt de les rieres Costa Brava (REPO, 1969) posa de manifest una considerable uniformitat en la geometria d'aquestes unitats, i en conseqüència, la informació de detall que se'n deriva de la investigació efectuada a la riera de Tossa, creiem que es pot extrapolar al conjunt de la zona.

Han estat seguits els procediments metodològics habituals en prospecció geofísica. Inicialment, ha estat analitzada el conjunt d'informació disponible de la zona, tant a nivell de dades del subsòl com de dades geològiques i geomorfològiques de superfície. Posteriorment, en base a aquesta informació preliminar i als objectius marcats, s'han seleccionat els mètodes i tècniques geofísiques més adequades.

El substrat prequaternari es detecta amb facilitat mitjançant el mètode sísmic. Aquest es caracteritza per presentar velocitats de propagació de les ones compressives entre 3.136 i 3.636 m/s. Aquestes velocitats elevades contrasten amb les que es caracteritzen les formacions quaternàries, que com a màxim arriben a valors de 1.867 m/s. El tret més notori de la geometria en profunditat de la paleovall en aquest sector és la suavitat i uniformitat que presenta tant longitudinalment com transversalment. Així, el perfil longitudinal presenta una arracada suau i constant de 0,5°. En tot el traçat de l'eix de la paleovall els sediments quaternaris arriben a una potència màxima que varia entre els 8 m i 10 m. Pel que fa les seccions transversals s'identifiquen 3 superfícies planes limitades per canvis suaus de pendent. La incisió dels canals fluvials en aquestes superfícies és molt poc acusada (Figura 10.8).

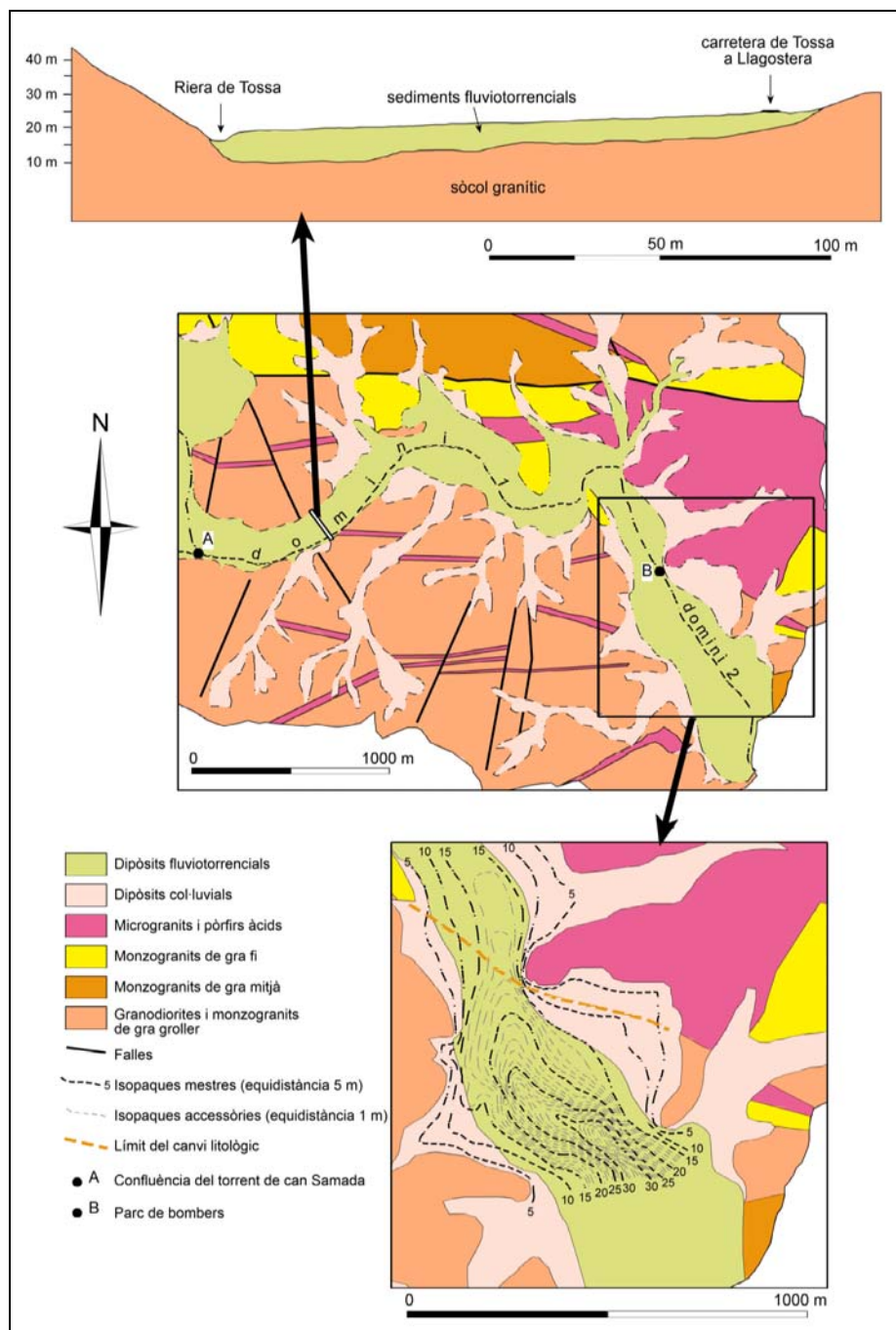


Figura 10.8.- Geometria de la paleovall de la Riera de Tossa

En els nivells sobrelevats, però connectats hidràulicament, la sedimentació en forma de ventalls al·luvials és la dominant. De tots els que han estat cartografiats en l'àmbit d'estudi, els del pla de Sant Benet i del pla de can Samada (tots dos en la conca de la riera de Tossa) han estat investigats mitjançant tècniques de prospecció geofísica basades en el mètode de la sísmica per refracció. Per criteris d'idoneïtat i localització de les dades de prospecció geofísica, les característiques de l'aparellatge i la seva interpretació es presenten al capítol de Dominis Morfodinàmics.

Com hem manifestat en un capítol anterior, a la conca del Ridaura es fa patent l'important paper que exerceix la neotectònica en la distribució i geometria d'aquest tipus d'acumulacions sedimentàries.

- *Principals paràmetres hidràulics*

Pel que fa a les característiques hidràuliques es poden considerar equivalents per les diferents subunitats aquíferes de valls fluvials de les principals rieres de l'àmbit d'estudi (REPO, 1969). Segons dades dels assajos efectuats de REPO (1969) i Trilla et al. (1980), per al cas del Ridaura la transmissivitat varia entre 40 i 600 m²/dia i el de la seva permeabilitat varia entre 10 i 60 m/dia. La seva porositat eficaç és de l'ordre de 11%. Dades molt similars es presenten per als aquífers de Lloret i Tossa, presentant transmissivitats de l'ordre de 100 a 250 m²/dia, permeabilitats de 40 a 45 m/dia i porositats eficaces del 15% (Niñerola & Doménech, 1969 i REPO, 1969).

L'homogeneïtat hidrogeològica de la unitat determina que els rendiments de les obres de captació sigui major en les zones de major potència d'aquífer saturat.

Subunitat aquífera de planes deltaïques

El sediments que constitueixen aquesta subunitat són molt similars a la subunitat anteriorment descrita tot i que en aquesta hi ha una part substancial d'intercalacions de llims i argiles negres amb abundant matèria orgànica. Es tracta dels sediments que reemplenen les antigues valls pleistocenes i de les acumulacions de materials fins associades als deltes holocenes.

La variabilitat litològica en els sediments determina canvis freqüents en la tipologia d'unitats aquíferes i en el seu comportament hidràulic.

- *Geometria*

Com hem manifestat anteriorment, hem detectat en el perfil longitudinal del fons de les valls estudiades ruptures brusques de pendent. Segons les dades de què es disposa la causa no és única.

En el cas de riera de Tossa, el perfil longitudinal de la paleovall (Figura 10.9) presenta una pendent propera als 1,5°. Prop de la desembocadura la potència dels sediments quaternaris

supera els 30 m en l'eix del canal. La seva secció transversal té forma de V i mostra un fort encaixament en el substrat granític, amb una inclinació en els vessants de fins a 10°.

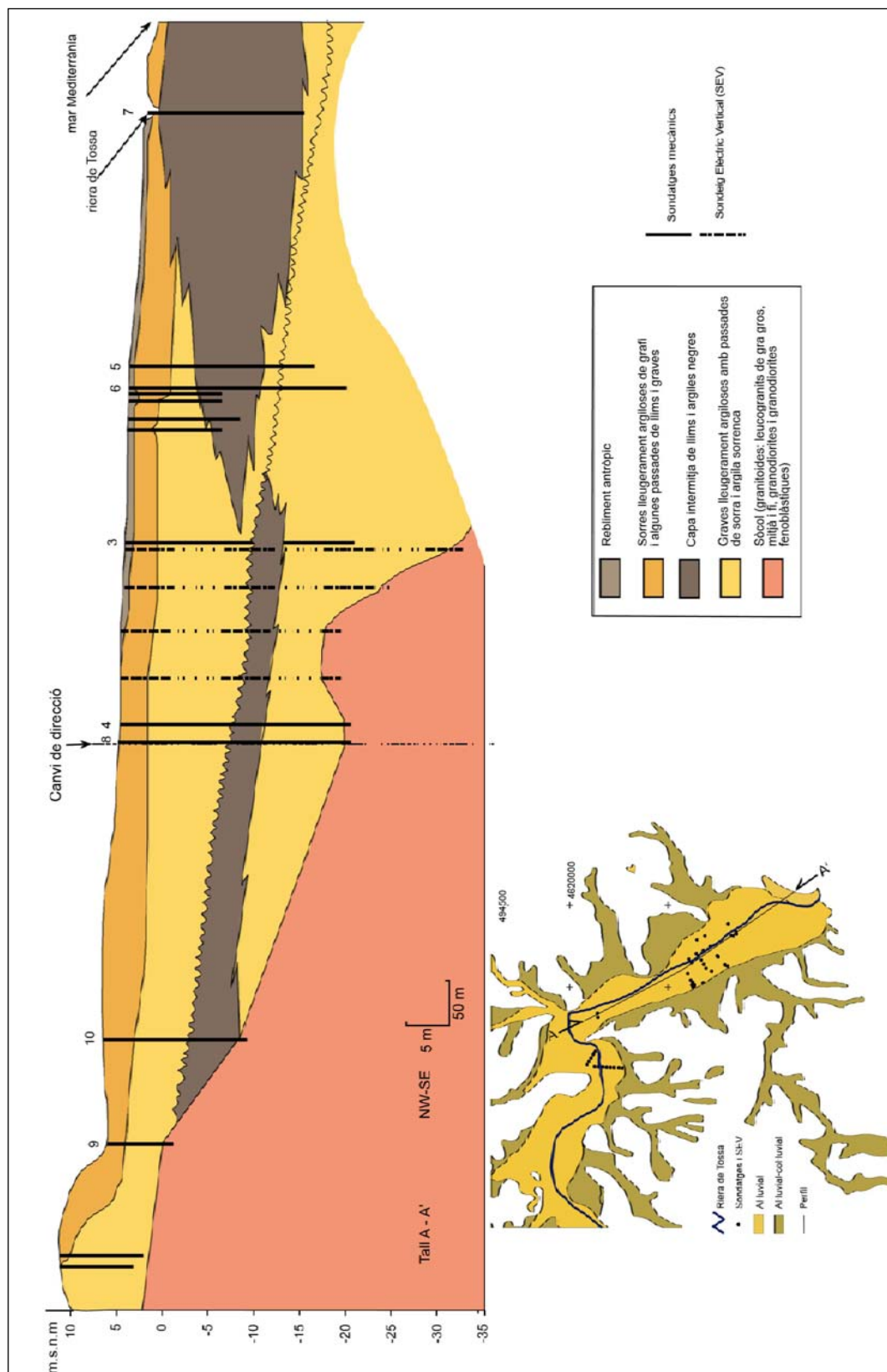


Figura 10.9.- Secció longitudinal del subsòl en les immediacions de la desembocadura de la riera de Tossa

Les dades de superfície revelen l'existència d'un canvi brusc en la litologia coincidint amb el canvi de pendent de la paleovall. L'existència de granodiorites arenitzades, fins a profunditats superiors a 20 m, fa del sòcol més fàcilment erosionable i explicaria l'encaixament del canal. La ruptura d'arracada coincideix amb una alineació de roques escassament alterades i molt resistents, concretament una massa de microgranits associada a leucogranits de gra fi.

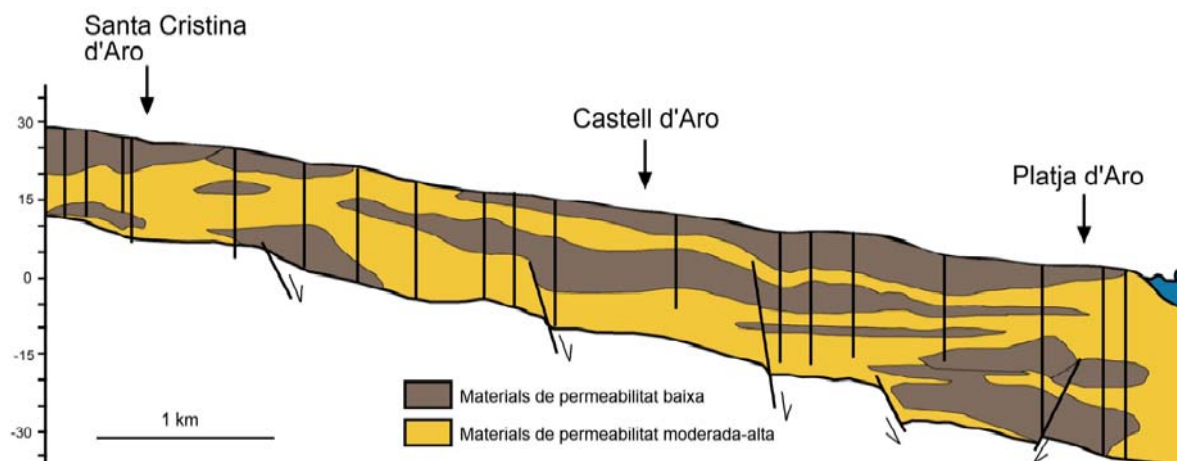
La presència d'aquests materials més resistents va impedir la progressió de l'erosió remuntant del curs fluviotorrencial motivada per la caiguda del seu nivell de base com a mínim durant l'últim nivell del mar baix.

En el cas del Ridaura, la neotectònica sembla ser la causa desencadenant de les anomalies en el perfil longitudinal (Figura 10.10).

En aquest cas s'ha partit de la informació de sondatges de reconeixement recopilats en el treball de Trilla et al. (1980), dels quals es disposa de columnes estratigràfiques detallades i mesures geofísiques mitjançant prospecció elèctrica. S'ha aplicat la metodologia utilitzada per Alcalá-García et al. (2003) i desenvolupada en investigacions en el delta del Llobregat, alhora que s'han adoptat els criteris d'interpretació geofísica de l'Àrea de Geodinàmica Externa de la UdG aplicats en estudis recents a la conca del riu Ter (Geodinàmica-UdG, 2004).

A més de les irregularitats morfològiques del substrat prequaternari, les discontinuïtats entre columnes litològiques properes, especialment pel que fa a correlacions de línies de màxima inundació, són elements estratigràfics que han permès identificar fractures que afecten a part del registre sedimentari.

Finalment, volem ressaltar que independentment dels factors condicionants en origen, en direcció a la costa es produeix un progressiu augment en el contingut de nivells de fins. Aquesta gran quantitat d'argiles i llims actuen a mode de barrera o presa subterrània, constituint un factor natural que ajuda a regular els recursos del sistema (Trilla et al., 1980).



- *Principals paràmetres hidràulics*

Com hem manifestat anteriorment, la variabilitat litològica en els sediments determina canvis freqüents en la tipologia d'unitats aquíferes i en el seu comportament hidràulic.

La complexitat de la falca sedimentària ha estat de manera tradicional simplificada en l'agrupació de tres tipologies d'aquífers: un de lliure superficial, un d'intermedi del tipus aquítard, i un aquífer profund confinat (REPO, 1969).

Als nivells superficials de graves i sorres se'ls atribueixen valors de permeabilitats iguals que els expressats per a la subunitat aquífera de valls fluvials, mentre que en les capes llimoses argiloses intermèdies aquesta descendeix a valors de 4 a 5 m/dia aproximadament (REPO, 1969 i Trilla et al., 1980).

10.1.3.3.- Unitat metamòrfica

Es tracta de la unitat aquífera menys important, en quan extensió i extraccions d'aigua subterrània, de la zona d'estudi.

No s'han dut a terme recerques hidrogeològiques centrades en aquesta unitat aquífera, i en conseqüència les dades existents són molt escasses.

En base a les nostres observacions de camp, i idèntics criteris metodològics aplicats en la unitat aquífera granítica, ha estat possible identificar dues subunitats dins d'aquesta tipologia de materials: una externa, alterada, i una altra on el massís rocós es troba fissurat.

Tanmateix l'escàs gruix de la unitat alterada (generalment <2m) ens mena a no prendre'l en consideració com a unitat aquífera independent. Tanmateix, la penetració dins el sistema de fissures d'aquestes roques es veu disminuïda pel predomini de la fracció argilosa d'aquesta capa alterada superficial: en el sector de Calonge (cornianes de l'entorn de la pedrera d'en Servià Cantó) les argiles producte de l'alteració penetren dins els plans de diaclassat subverticals fins a fondàries de 2 m (característica visible a la pedrera), de manera que queden pràcticament segellades.

Les característiques hidràuliques i els rendiments de les poques obres de captació situades en aquesta unitat aquífera són força similars als descrits en el cas de la unitat granítica.

Les pissarres, esquists i cornianes són materials quasi impermeables. Els pous oberts en aquestes roques són pràcticament improductius; és el cas de l'antic pou de les Torretes (Palafrugell), de 25 m de profunditat, que es va fer per ampliar el proveïment municipal a principis de la dècada dels 50 i que no va arribar a subministrar ni 0,5 litres/segon.

10.2.- Hidrodinàmica

Les diverses formacions descrites anteriorment s'interrelacionen entre elles, constituint sistemes aquífers en els quals les unitats i subunitats hidrogeològiques que els formen es troben connectades hidràulicament entre sí. S'accepta, en l'àmbit de fluxos locals, que els límits d'aquests sistemes són força coincidents amb els de les diferents conques hidrogràfiques.

El model de funcionament hidrodinàmic que es proposa es fonamenta en les nostres dades hidrogeològiques, en els models proposats en estudis de la zona (REPO, 1969; Trilla et al., 1980; Vilanova, 2004) i en treballs realitzats en un context hidrogeològic similar al nostre (Grup d'Hidrogeologia.UPC (2000) i ACA-UB, 2002). Les aportacions realitzades en aquest darrer han estat seguides i utilitzades com a base del model conceptual per la nostre territori.

A la figura 10.11 es presenta un bloc diagrama esquemàtic que representa el model de circulació subterrània proposada per la zona d'estudi.

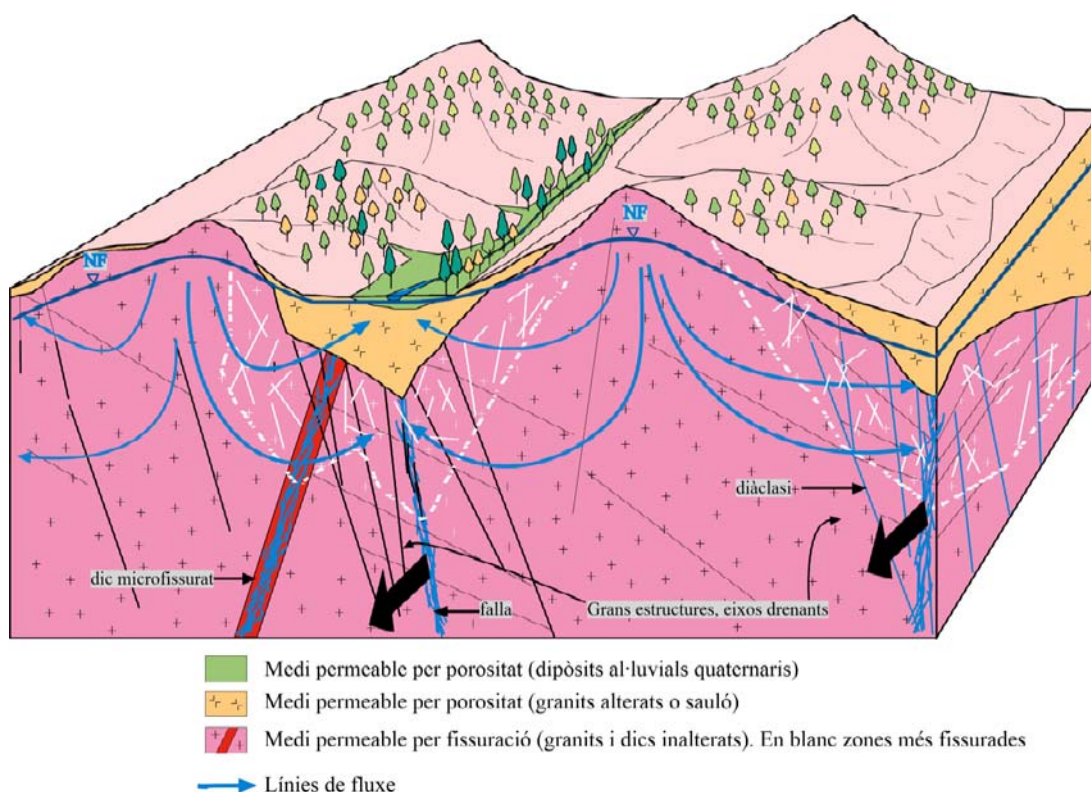


Figura 10.11.- Model de circulació subterrània global proposat per la zona d'estudi

Les diferents unitats de relleu constitueixen la zona de recàrrega del sistema. En aquestes, l'entrada d'aigua al sistema té lloc, principalment, a través de les subunitats de sauló i de granit fissurat.

La subunitat granítica més superficial, la del sauló, forma un aquífer de tipus lliure la morfologia de la base del qual segueix en certa mesura el relleu de la zona. L'esmentada base està formada per la segona subunitat granítica, el granit fissurat. Aquesta presenta una porositat i permeabilitat menors que les del sauló, i la seva base, que està formada per la subunitat inferior (el granit de grans fractures, travessat per falles importants i d'altres secundàries associades, el conjunt de les quals fa que aquest granit no sigui totalment impermeable), encara replica en certa mesura del relleu superficial.

Tant el granit impermeable com les subunitats granítica fissurada i de sauló, estan travessats per les falles de la subunitat anomenada granit de grans fractures.

L'aigua recarregada a la subunitat de sauló circula al llarg d'ella, a favor del gradient piezomètric i topogràfic, cap a les zones més deprimides situades al fons de les valls. En aquestes zones l'aigua pot recarregar lateralment i a través d'un flux vertical ascendent les unitats al·luvials quaternàries associades a les rieres i torrents poden arribar a ser de caràcter efluent. Ocasionalment, si l'aigua en el seu flux troba algun obstacle menys

permeable, pot formar-se una font de contacte. En aquest cas es tractarà normalment d'un flux de caràcter més aviat local.

Tot i que les característiques hidràuliques de la subunitat de granit fissurat són menys favorables al flux que les de la subunitat de sauló, part de l'aigua recarregada a través d'aquesta última, penetra en la subunitat de granit fissurat on, també a favor del gradient piezomètric i topogràfic es dirigeix a través de la xarxa de fissures cap a les zones més deprimides. En aquestes zones el flux de l'aigua pot adoptar components verticals ascendents de manera que recarreguen, per sota, la subunitat de sauló i a través d'ell també a les unitats al·luvials quaternàries associades als principals cursos fluvials. Ocasionalment, si l'aigua en el seu flux troba algun obstacle menys permeable, pot formar-se també una font de contacte. En aquest cas el flux no és en general de caràcter tant local com en el cas anterior.

Per altra banda, part de l'aigua recarregada al sauló pot recarregar les grans fractures. Dins d'aquestes l'aigua entra en moviment a favor del gradient piezomètric cap a les zones més deprimides. En les fractures han de coexistir aigües de circulació molt local, aigües de circulació menys locals i aigües de circulació més aviat regional. A les parts més deprimides el flux pot adoptar components verticals ascendents de manera que es recarreguen les dues subunitats granítiques de sobre o bé directament les unitats al·luvials quaternàries associades a les rieres.

Al model de circulació esmentat dintre de les grans fractures caldria afegir les aigües de circulació profunda o molt profunda que finalment anirien a parar a l'aqüífer geotermal.

En general, les roques granítiques sense alterar presenten una matriu porosa (fractures menors), molt poc permeable però amb una capacitat d'emmagatzematge notable, i zones fracturades, que representen els camins preferents de circulació de l'aigua però no d'emmagatzemat. Un altre aspecte important és l'heterogeneïtat de les pròpies fractures. Aquesta es manifesta mitjançant canals de flux preferent que poden arribar a connectar millor punts més distants que altres més propers (Grup d'Hidrogeologia.UPC, 2000).

Aquesta dinàmica de funcionament posa de manifest el paper de receptor del flux subterrani que tenen les unitats fluviodeltaiques. Les aportacions subterrànies procedents de les formacions hidrogeològiques profundes contribueixen notablement a les aportacions i als recursos disponibles.

La idea de la recàrrega dels aqüífers quaternaris a través de la seva base mitjançant fluxos profunds desenvolupats en el medi granític, ja va ser apuntada per Llopis (1953). Posteriorment a REPO (1969) i Trilla et al. (1980) també apunten aquesta possibilitat, però

sense donar-li gaire importància. Estudis més recents, com Vilanova (2004) li atorguen un gran paper; en concordància amb les dades facilitades a ACA-UB (2002) en l'estudi desenvolupat en el massís del Montseny-Guilleries.

En detall, en els principals cossos fluviodeltaics es reconeixen diversos comportaments hidràulics, els quals, tradicionalment han estat simplificats en dos aqüífers principals: lliures per les unitats superiors i confinats per les unitats profundes.

En resum tenim doncs, i en règim natural, una circulació continental que té lloc en diferents medis, però totalment intercomunicats hidràulicament, on l'aigua roman més o menys temps depenent de la permeabilitat d'aquest. El final d'aquest sistema de circulació acaba al mar, amb el qual es troba també unit hidràulicament, ja que si el nivell saturat davalla per sota del mar la circulació es donarà en sentit invers provocant el que es coneix com a intrusió de la falca salina.

Les explotacions d'aigües subterrànies, en relació a la dinàmica del sistema, signifiquen un arrabassament de part del seu cabal, alterant així la dinàmica natural. A partir de les sèries d'observacions pluviomètriques, d'aforaments piezomètrics i d'extraccions d'aigües subterrànies podem extreure'n un patró general del funcionament d'un aqüífer al·luvial explotat.

A finals d'estiu, després que aquest sistema hagi suportat una forta extracció sense pràcticament cap recàrrega, els nivells subterranis estan anormalment baixos i pel curs superficial no hi passa aigua.

A principis de tardor de forma generalitzada plou amb certa abundància; comença doncs la recàrrega hídrica del sistema (descrita anteriorment). El gruix que presenta l'acumulació al·luvial ja hem vist que és molt diferent a la part alta de la part baixa de la conca. Els pocs metres de la part alta es saturen relativament aviat, de forma que el nivell d'aigües subterrànies, generalment durant el mes d'octubre, assoleix la cota topogràfica i per tant es pot veure circular l'aigua superficial dels torrents fins a un cert punt aigües avall. De totes maneres cal una certa pluviometria i durada perquè aquesta manifestació es propagui aigües avall. En el punt on l'aigua superficial desapareix és bàsicament degut a que el nivell saturat està per sota el topogràfic i per tant el riu recarrega l'aqüífer perdent el seu cabal.

Conforme va augmentant la recàrrega de la conca, hivern i primavera, els nivells saturats a l'aqüífer deltaic van pujant de cota fins que aquest realimenta el curs d'aigües superficials. A començaments d'estiu els nivells descendeixen com a conseqüència de la manca de precipitació. Comença llavors l'explotació màxima d'aigües subterrànies i s'inicia un altre cop aquest cicle anual.

10.3.- Aprofitament de les aigües subterrànies

L'aprofitament dels recursos hídrics derivats de les aigües subterrànies ha estat un element clau en el desenvolupament econòmic de la regió. Avui en dia, però, ens trobem en una situació de canvi. De manera paulatina l'aigua transvassada que prové del sistema Ter i el sistema Tordera, substitueix les aportacions autòctones derivades de les aigües subterrànies.

Alguns dels efectes que es poden derivar d'aquesta nova situació creada ja han estat valorats en un capítol anterior.

A continuació, volem sintetitzar la situació actual de les masses d'aigua subterrània explotades en les planes fluviodeltaiques; aspectes de qualitat i quantitat del recurs i problemàtiques derivades de la seva explotació.

10.3.1.- Quantitat i qualitat del recurs

Per tractar aquests aspectes es consideren els sistemes aquífers fluviodeltaics com a unitats hidrogeològiques; sense entrar en detall segons tipologies hidràuliques d'aquífers. Per tant les dades que s'ofereixen són genèriques.

Quantitat

Acotar el volum d'aigua que, de manera sostenible, pot subministrar un aquífer és un tema força controvertit. En sistemes hidrogeològics com els nostres, que superficialment i subterrània aboquen al mar, els estudis realitzats han considerat per recursos hídrics aquelles quantitats d'aigua que tenen un cert temps de residència i que per tant són susceptibles de ser explotades, en el sentit de separar-les del conjunt dinàmic i extreure-les del sistema, sense provocar cap inversió de flux suficient com per provocar l'entrada d'aigua de mar en aquests sistemes. En conseqüència són valors màxims explotables els considerats en la idea utilitzada de recursos hídrics.

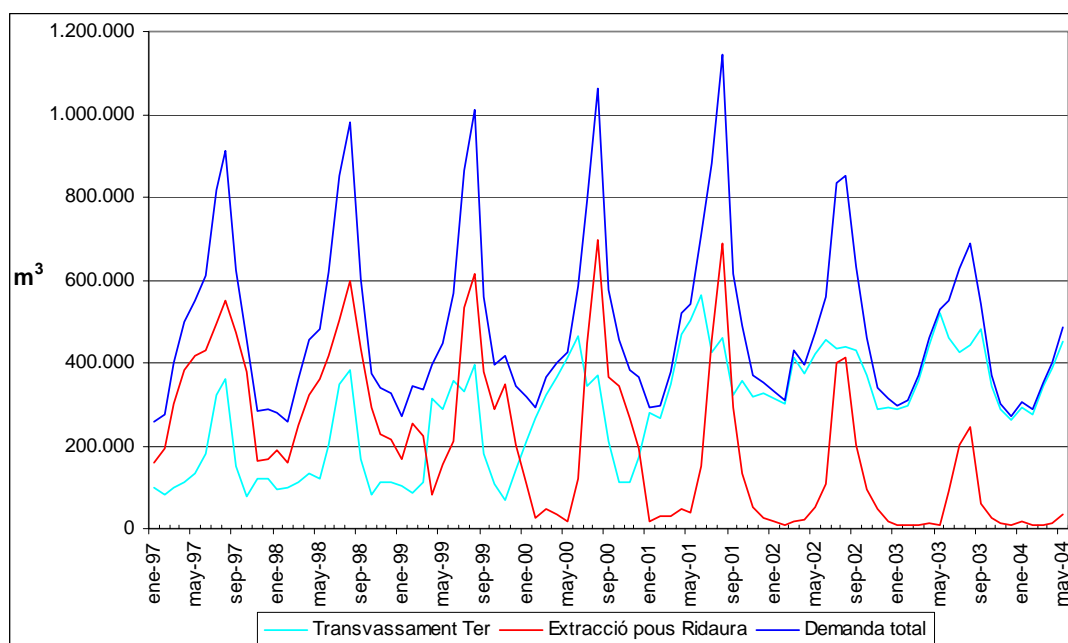
L'estimació dels recursos disponibles segons els estudis realitzats (Trilla et al., 1980; REPO, 1969; ACA, 2002b; SGDOH, 1983 i Font & Muñoz, 2003) ha estat sintetitzat en la taula 10.3.

Sistema aquífer	Volum de l'aquífer (hm ³)	Volum d'aigua emmagatzemada (hm ³)	Volum màxim explotable (hm ³ /any)
Aubi	50	5	2,5
Calonge	34	3,7	0,45
Ridaura	80-117	8-10	3-6
Tossa	12	1,3	0,4
Lloret	20	2	0,5

Taula 10.3.- Estimació dels recursos (Dades extretes de Trilla et al., 1980; REPO, 1969; ACA, 2002 b; SGDGOH, 1983 i Font & Muñoz, 2003)

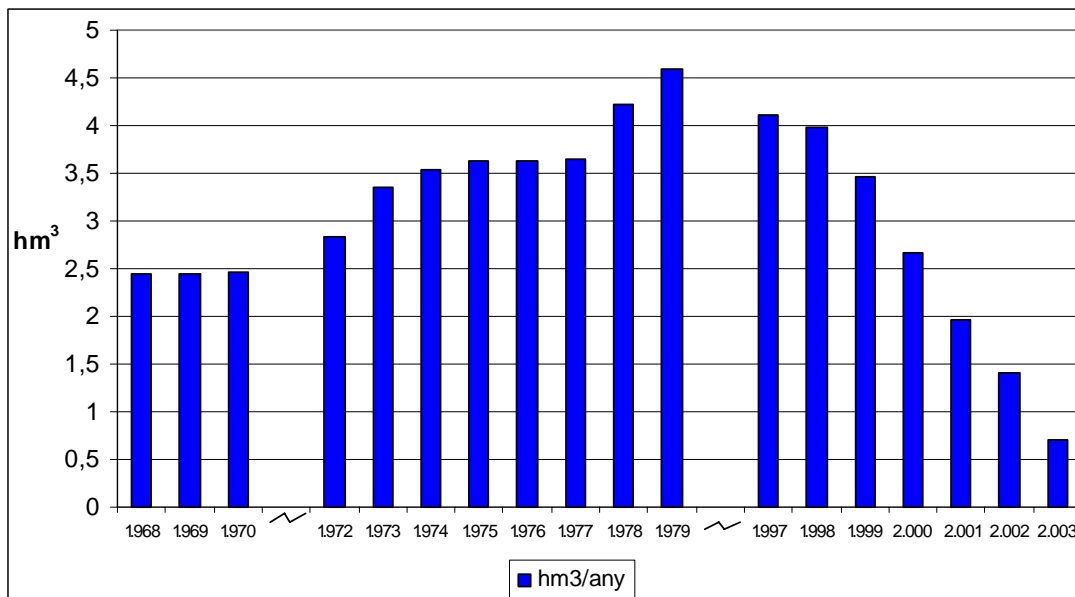
Aquests recursos han estat utilitzats de manera desigual segons sistemes aquífers i en concordança amb l'evolució de les demandes.

En aquests sentit, el cas del sistema Ridaura és representatiu. Com s'observa a la gràfica següent (Gràfica 10.1) de les dades facilitades pel Consorci de la Costa Brava (Sala & Sala, 2003) podem veure clarament els pics de demanda i d'extracció corresponents als mesos d'estiu (juny, juliol i agost), arribant a suposar un 42% de la demanda anual.



Gràfica 10.1.- Evolució mensual de la demanda total d'aigua potable consumida en el sistema aquífer del Ridaura juntament amb el volum transvasat del Ter i l'extret del mateix aquífer (Sala & Sala, 2003)

A banda de l'evolució mensual, si representem el volum total anual extret de l'aquífer del Ridaura s'intueix que aquest disminueix sobretot des del moment en què s'inicia el transvasament d'aigües del Ter (1993). En la gràfica 10.2 s'ha representat el període de 1968 fins a 1979, amb les dades de demanda total, i en el període de 1997 a 2003, en què ja ha entrat el funcionament del transvasament, amb les dades de volum d'aigua extret pels pous del Ridaura.



Gràfica 10.2.- Volum total anual d'aigua extreta de l'aquífer del Ridaura per al període 1968-1979 i 1997-2003. (Trilla et al., 1980 i dades del Consorci de la Costa Brava)

Com es pot observar a les gràfiques anteriors (Gràfiques 10.1 i 10.2), ens trobem en un període de canvi. S'ha passat d'una situació dominada per les extraccions d'aigua subterrània, a una altra en la qual els transvasaments comencen a ser importants; a l'any 2003 l'aigua dels embassaments del riu Ter representen de l'ordre del 41% del total consumit.

Aquest descens de les extraccions d'aigua subterrània, acompanyat de la recàrrega de l'aquífer amb aigua regenerada (aigües residuals depurades amb un tractament addicional de desinfecció o de filtració i desinfecció), està provocant un augment dels nivells piezomètrics. Durant el 2002 només per al rec de càmpings i golfs a la conca del Ridaura es van utilitzar 540.000 m³/anuals d'aigua regenerada (<http://www.ddgi.es/ccb>).

Al sistema Ridaura aquest canvi s'evidencia en la majoria de registres piezomètrics de la conca. En la figura 10.12 es presenta aquest registre de dos d'ells, un situat a la part alta i un a la part baixa, ja que es consideren representatius del comportament del conjunt del sistema. Des de l'any 1984, inici de les observacions, fins als anys 2002-2003, s'observa

una estabilització i/o progressiu descens dels valors màxims del nivell piezomètric; tant en l'aqüífer superficial com en el profund. Aquestes tendències s'han vist canviades en el període actual, des dels anys 2002-2003 fins a l'actualitat; igualant-se o superant-se els valors màxims enregistrats.

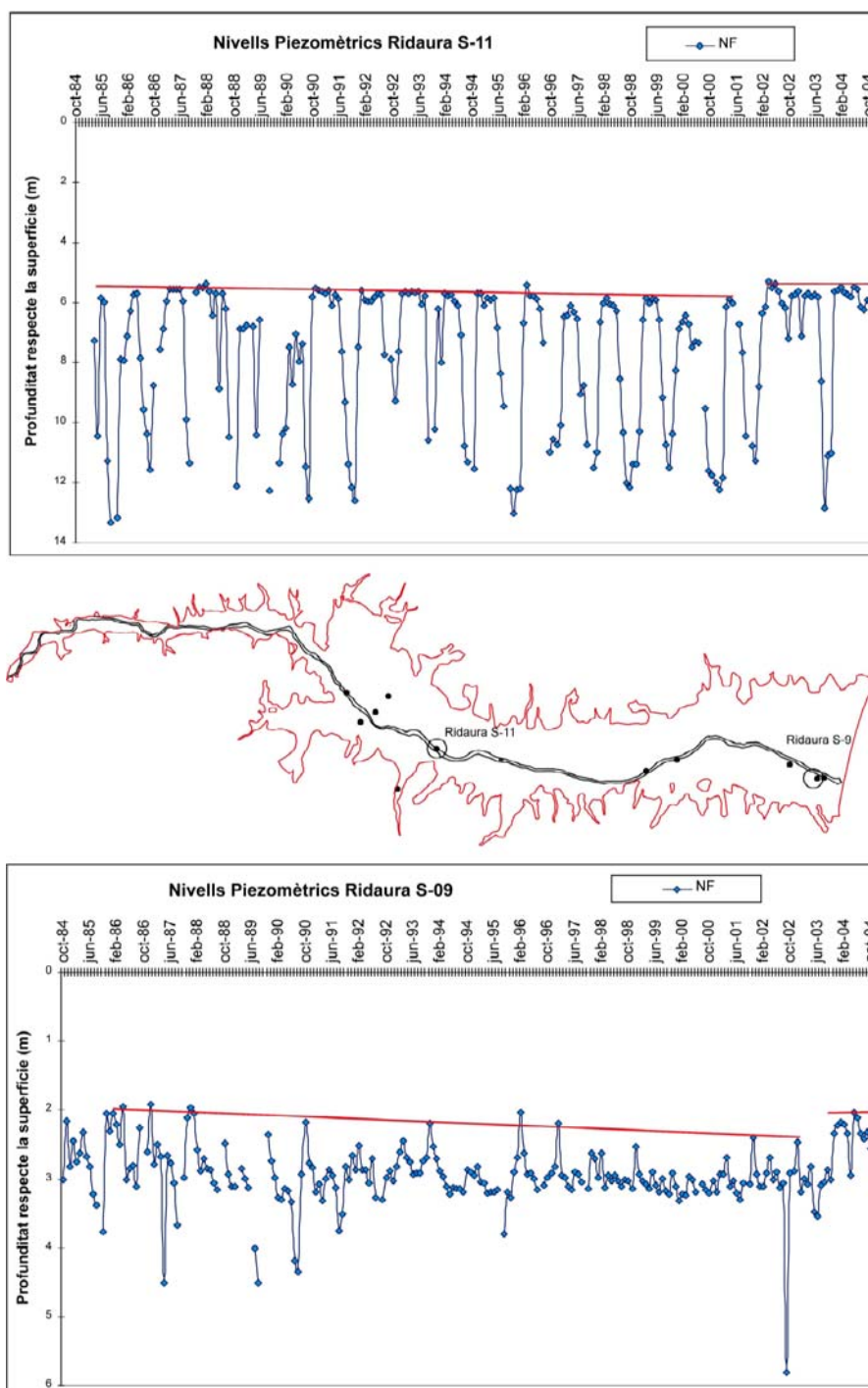


Figura 10.12.- Evolució del nivells piezomètrics en el sistema Ridaura i situació dels piezòmetres utilitzats (Elaborada a partir de dades facilitades per ACA, 2004)

Pel que fa als usos de l'aigua aquest han estat, majoritàriament, destinats a consum domèstic, inclosos recs de jardins (Trilla et al., 1980). No s'han observat canvis en el usos del sòl que puguin comportar canvis significatius en els usos de l'aigua

Quimisme de les aigües

Les dades disponibles ens permeten diferenciar dins dels diferents sistemes fluviodeltaics diverses parts, cadascuna d'elles amb característiques diferents: zones altes, zones mitjanes-baixes i zones litorals. Com a factors naturals condicionants d'aquesta zonació cal destacar el grau de desenvolupament de l'aqüífer; és a dir, el seus gruixos i característiques litològiques dominants; i com a factor antròpic, l'ús que fa l'home d'aquests territoris.

a) Zones altes. Comprenen els punts d'aigua existents en les zones on la sedimentació al·luvial és l'única existent.

Del quimisme d'aquestes aigües cal destacar una poca concentració general en sals (de l'ordre de 65 mg/l). Localment es detecten concentracions elevades de ferro, sulfats i nitrats.

La presència de ferro, generalment inferior a 5 mg/l, és molt localitzada i és deguda a causes naturals. No obstant, els sulfats i els nitrats tenen un origen antròpic.

Es freqüent trobar, en aquestes parts altes de les conques, abocaments, controlats i incontrolats, de residus inerts procedents de l'enderroc d'edificacions i d'excavacions. Associats a aquests dipòsits antròpics es detecten les anomalies en sulfats de les aigües subterrànies. Els valors observats varien entre els 33 i els 70 mg/l tot i que s'ha arribat a detectar valors de fins a 454 mg/l a la zona alta NW de la riera de Lloret, possiblement influenciada per l'abocador de RSU (Font & Muñoz, 2003).

El nitrats són atribuïts a aigües residuals i a dejeccions ramaderes, valors dels quals estan compresos entre 1 i 16 mg/l.

b) Zones mitjanes-baixes. Comprenen els punts d'aigua existents en les zones on la sedimentació al·luvial coexisteix amb una d'origen deltaic.

El contingut en sals continua essent baix (de l'ordre d'uns 250 a 600 mg/l). Amb tot, comparant el quimisme d'aquesta zona amb l'anterior, s'observa una tendència a presentar generalment un major contingut de tots els ions.

Destaquen les elevades concentracions que s'arriben a assolir en el cas del ferro; fins a 35 mg/l.

c) Zones litorals. Es tracta de la zona més propera a la línia de costa, amb una marcada influència de sedimentació marina.

En general, s'observa un increment en el contingut en sals respecte a les zones anteriors (entre 300 i 1400 mg/l). Els increments majors corresponen als ions: clorurs, sodi, potasi i en menor quantia a bicarbonat i calci.

En conjunt, el quimisme de les aigües dels sistemes fluviodeltaics concorda amb la litologia granítica de les conques, i les concentracions dels ions analitzats es mantenen inferiors als límits de tolerància exigits pel consum humà.

Només en el cas de les analítiques de nitrats consultades s'aprecia un lleuger augment de la seva concentració en zones de conreu. En general aquests valors oscil·len entre els 10 i els 46 mg/l, tot i que en Font & Muñoz (2003) detecten aquell mateix any una concentració de fins a 242 mg/l degut a l'existència de camps intensament adobats.

10.3.2.- Problemàtiques derivades de l'explotació

El concepte de sobreexplotació associat a l'ús intensiu de les aigües subterrànies es objecte de controvèrsia, doncs als afectes indesitjables es contraposen beneficis econòmics i socials molt importants. És innegable que alguns aqüífers intensament explotats han estat el motor del desenvolupament econòmic i social en diversos territoris. No obstant, en ocasions s'originen forts impactes ambientals que difícilment es poden quantificar de la mateixa manera.

Entre els efectes desfavorables produïts per una inadequada explotació de l'aigua subterrània, cal destacar:

- a) *Descens dels nivells piezomètrics:* l'aprofitament d'un aqüífer comporta el descens del nivell piezomètric que es manté transitòriament fins assolir un nou equilibri. Si els descensos són progressius i continuats es poden produir una disminució del cabal i fins

i tot l'assecat dels pous, la qual cosa pot originar un augment dels costos energètics deguts a l'extracció de l'aigua a major profunditat.

b) *Degradació de la qualitat de l'aigua subterrània*: quan els descensos són elevats es pot originar un deteriorament important de la qualitat de l'aigua subterrània. Aquest és el cas, per exemple, de les zones costaneres, en les quals el canvi de gradient hidràulic degut als bombeigs pot originar l'avanç de la interfície amb l'aigua de mar.

c) *Problemes de subsidència del terreny*: l'extracció d'aigua subterrània pot produir canvis en l'estat tensional del terreny que ocasionalment originen o contribueixen a crear problemes de subsidència del terreny.

En l'àmbit del litoral gironí, a l'igual que succeeix en la resta del país, les problemàtiques derivades de les pèrdues significatives tant de la qualitat com de la quantitat del recurs han centrat els treballs i estudis. Aquests és el cas del fenomen de la intrusió marina (Corominas & López, 1988; Batlle et al., 1994; Montaner et al., 1996; Mas et al., 1999 o Arranz et al., 2004; entre d'altres).

No obstant, altres efectes desfavorables com la subsidència del terreny, que si be poden arribar a provocar pèrdues significatives de la capacitat d'emmagatzematge de l'aquífer, generalment concentren els seus efectes en la superfície del terreny i no han estat fins fa pocs anys objecte d'estudi.

10.3.2.1.- Variacions del quimisme

Sembla que hi ha una lleugera tendència general a augmentar el contingut total de sals en funció de la davallada de nivells freàtics, pròpia de l'explotació estiuenca. Amb tot, és de poca quantia; de l'ordre d'un 10 % en la conca del Ridaura, segons Trilla et al. (1980).

Els casos particulars dels clorurs i del ferro són especialment significatius de les variacions del quimisme provocades per extraccions continuades d'aigües subterrànies.

El cas dels clorurs

En zones litorals, la variació del contingut en clorurs de les aigües subterrànies sol ser conseqüència de l'entrada d'aigua mar a l'aquífer (intrusió marina) i/o del rentat de sals congènites presents en els sediments des del moment de la seva deposició i mobilitzades

com a conseqüència dels gradients piezomètrics imposats pels bombeigs. No obstant, cal precisar que valors de fins a 100 mg/l han estat també detectats en zones litorals degut a activitat agrícola (Baradad, 2004).

a) Aqüífer de Aubi

A finals dels anys 1970 la intrusió marina es situa a una franja molt limitada, situada a distàncies compreses entre els 150 i 200 m del mar (REPO, 1969).

A partir de l'any 1996 i fins al 1999, pous situats fins a 550 m del mar, presenten concentracions entre 400 i 600 mg/l, i l'any 2002 un pic de fins a 888 mg/l (ACA, 2004).

b) Aqüífer de Calonge

A finals dels anys 1970 no existien indicis clars de fenòmens d'intrusió marina (REPO, 1969). Els valors màxims, de 270 mg/l, s'assoleixen en pous situats a tan sols 280 m del mar.

Les dades facilitades per l'ACA a través del seu web (ACA, 2004) posen de manifest que la situació durant el període 1995-1999 es manté pràcticament estabilitzada, tot i que a partir d'aquest darrer any les concentracions tornen a augmentar considerablement fins a pics de 2011 mg/l l'any 2002 a un pou situat a 1 km de la costa (ACA, 2004).

Tant per la unitat aqüífera de l'Aubi com de Calonge es presenten a la figura 10.13 les dades de contingut en clorurs, en mg/l, per al període 1968-2003, on també s'hi ha il·lustrat de forma aproximada els límits dels 100 mg/l. D'aquest límit en direcció al mar els valors són superiors a aquests límits i en direcció terra endins els valors són inferiors.

c) Aqüífer del Ridaura

En aquests cas, els valors absoluts de les concentracions són molt baixes. Durant els períodes 1965-69 i 1976-1980 no es detecten valors superiors a 100 mg/l més enllà de la zona d'influència marina (platja i dunes subactuals, vegeu mapa litològic de l'apartat d'annexes). Els estudis realitzats en aquelles dates manifesten que no hi ha constància d'intrusió marina (REPO, 1969 i Trilla et al., 1980)

El seguiment realitzat per l'Agència Catalana de l'Aigua des de l'any 1995 fins a l'actualitat del tram mitjà (ACA, 2004) indica un augment gradual fins a assolir valors màxims de 283 mg/l. Aquest augment és més acusat, tot i que no preocupant, prop de l'estació depuradora on aboquen aigua regenerada al Ridaura. Amb tot es tracta de valors força baixos comparant amb els assolits en el sistema veïns. A la figura 10.14 es mostra el recull de dades de continguts en clorurs en mg/l per al període 1968-2003, on també s'hi ha il·lustrat de forma aproximada el límit dels 100 mg/l. D'aquest límit en direcció al mar els valors són superiors a aquests límits i en direcció terra endins els valors són inferiors.

d) Aqüífer de Tossa

Durant els anys 1965 a 1969, els bombeigs estivals van arribar a proporcionar aigua per la distribució a Tossa amb continguts en clorurs superiors als 3.000 i 15.000 mg/l (REPO, 1969). A l'hivern, la situació es recupera ja que els continguts són notòriament més baixos, inferior als 500 mg/l.

Avui en dia, al igual que el cas de Lloret, el fet d'haver una escassa explotació de l'aqüífer es podria afirmar que no hi ha intrusió marina. Els valors estan compresos per sota dels 100 mg/l i només en alguns llocs puntuals s'arriba a superar aquest límit (110 mg/l) (Font & Muñoz, 2003). Aquesta anomalia es relacionaria amb la ruptura d'una fossa sèptica, segons fonts de l'ajuntament de Tossa de Mar.

e) Aqüífer Lloret

Abans del 1964, extraccions intensives durant mesos estivals van provocar la salinització per intrusió d'aigua mar. Va arribar a detectar-se a distàncies superiors a 700 m del litoral (REPO, 1969).

Com a conseqüència de la pèrdua de qualitat provocada per l'excessiu bombeig es va buscar un subministrament d'aigua des de la conca veïna de la Tordera.

Avui en dia no queden ressenyats signes d'una possible intrusió marina, en gran part a l'escassa extracció d'aigua que es duu a terme a l'aqüífer. Només caldria destacar una concentració anòmla (213 mg/l) just per sota de la zona de l'abocador (Font & Muñoz, 2003).

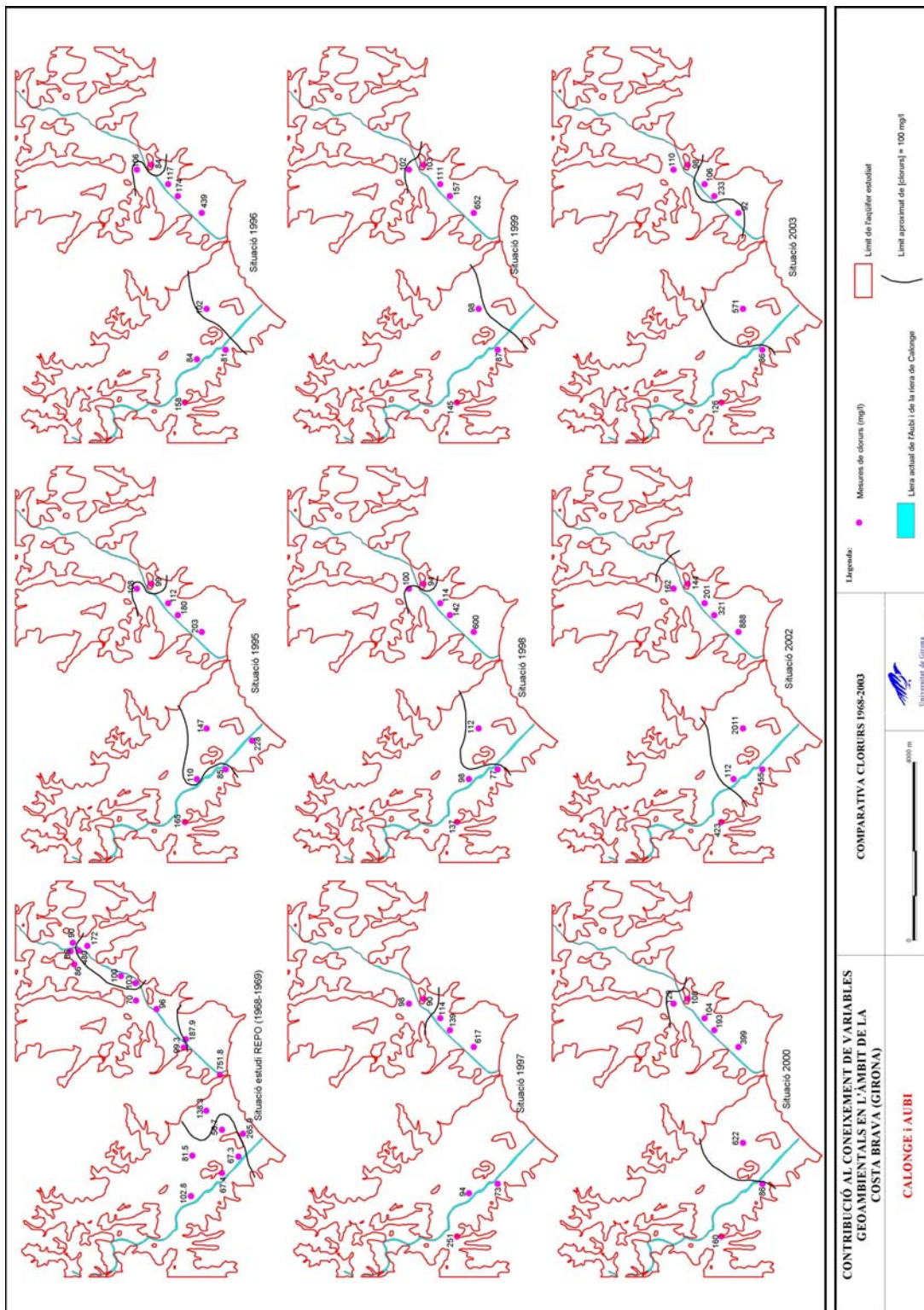


Figura 10.13.- Evolució del contingut en clorurs als aqüífers de l'Aubi i de Calonge per al període 1968-2003. Dades de REPO (1969) i ACA (2004).

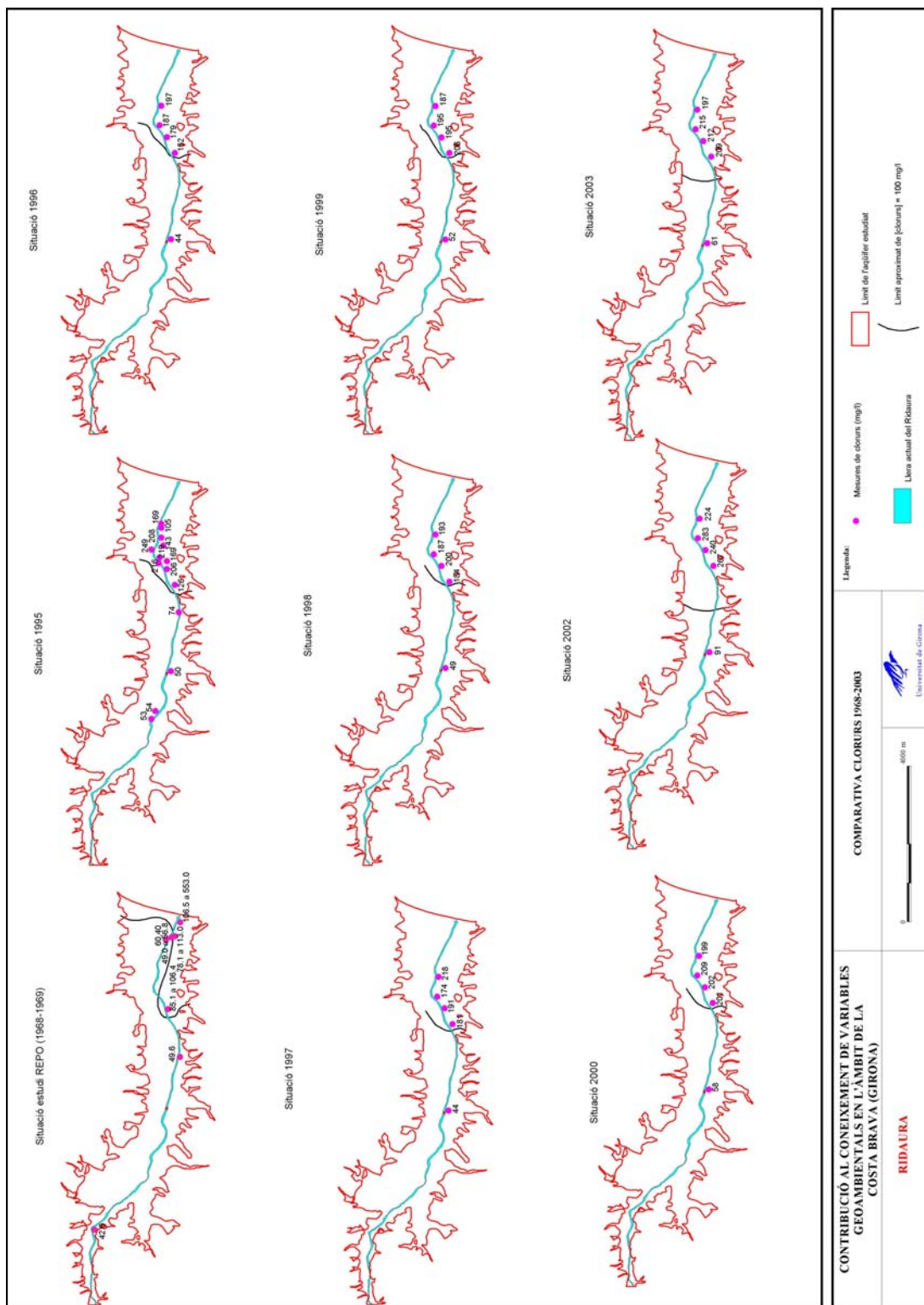


Figura 10.14.- Evolució del contingut en clorurs a l'aquífer del Ridaura per al període 1968-2003. Dades de REPO (1969) i ACA (2004).

Com es dedueix de les particularitats descrites de cada sistema aquífer, en general, el contingut en clorurs s'ha mantingut força uniforme des de l'inici de les extraccions, a l'entorn dels anys 1960, fins avui en dia.

Després d'un primer període d'extraccions d'aigües subterrànies, que van provocar problemes de salinització en algunes zones, es van prendre mesures preventives per tal de garantir el subministrament futur. Les principals zones d'extracció es van allunyar de les poblacions turístiques litorals per tal de localitzar-se a distàncies suficientment allunyades de la línia de costa. Amb aquests emplaçaments es pretenia evitar que els bombeigs provoquessin fluxos locals que facilitessin l'entrada d'aigua de mar, alhora que també es pretenia evitar la influència de formacions hidrogeològiques, tipus aquífer, que contenen sals congènites i que podrien ser mobilitzades amb fluxos locals induïts per aquests bombeigs.

Avui en dia, aquestes àrees que concentren les extraccions principals ja no es troben aïllades del nuclis urbans; gens al contrari. Aquesta nova situació genera una altra problemàtica: els efectes que les deformacions del terreny que es desencadenen com a conseqüència de canvis en les condicions piezomètriques poden provocar en edificacions de la zona.

El clorur és l'anió més abundant a l'aigua de mar i és menys important en les aigües continentals de la nostra àrea d'estudi (<100 mg/l). A les zones litorals el seu increment va associat a un origen marí provocat bàsicament per l'intrusió marina. Per tant, podríem concloure que el cas dels clorurs podria ser un dels paràmetres indicadors de la salinitat de les aigües subterrànies en zones litorals.

El cas del ferro

En el nostre context hidrogeològic, la presència de ferro a les aigües subterrànies es un altre factor limitant d'ús. Aquest element és present en continguts més o menys alts gairebé a totes les conques estudiades.

El seu origen s'atribueix a fluxos termals i a nivells de fins rics amb matèria orgànica, propis de una sedimentació lacustre.

A la conca del Ridaura es van detectar zones amb continguts compresos entre 10 i 35 ppm situades, preferentment, cap a l'interior de la conca; fora de l'àmbit d'influència de la sedimentació lacustre (Trilla et al., 1980). Així mateix, les captacions més profundes

subministraven els valors més elevats, i aquests augmentaven a mesura que s'incrementava l'extracció d'aigua; és a dir, a mesura que es sol·liciten aigües que provenen de fluxos més profunds.

La localització d'aquests màxims és marcadament coincident amb el traçat de les fractures principals que actuen com a vies de descarrega d'un flux termal profund existent en tota la regió. Aquest circuit hidrogeològic ha estat descrit en el model de funcionament hidrogeològic apuntat anteriorment.

Avui en dia, segons les dades de ACA (2004), possiblement per la disminució de les extraccions d'aigua subterrània, el contingut en ferro total a les aigües no sobrepassa en gairebé tots els punts mostrejats els 5 mg/l i en un percentatge elevat ni els 0,1 mg/l. Només en casos puntuals, com l'any 1999, a un punt de control del Ridaura s'arribà als 28 mg/l. (Figures 10.15 i 10.16).

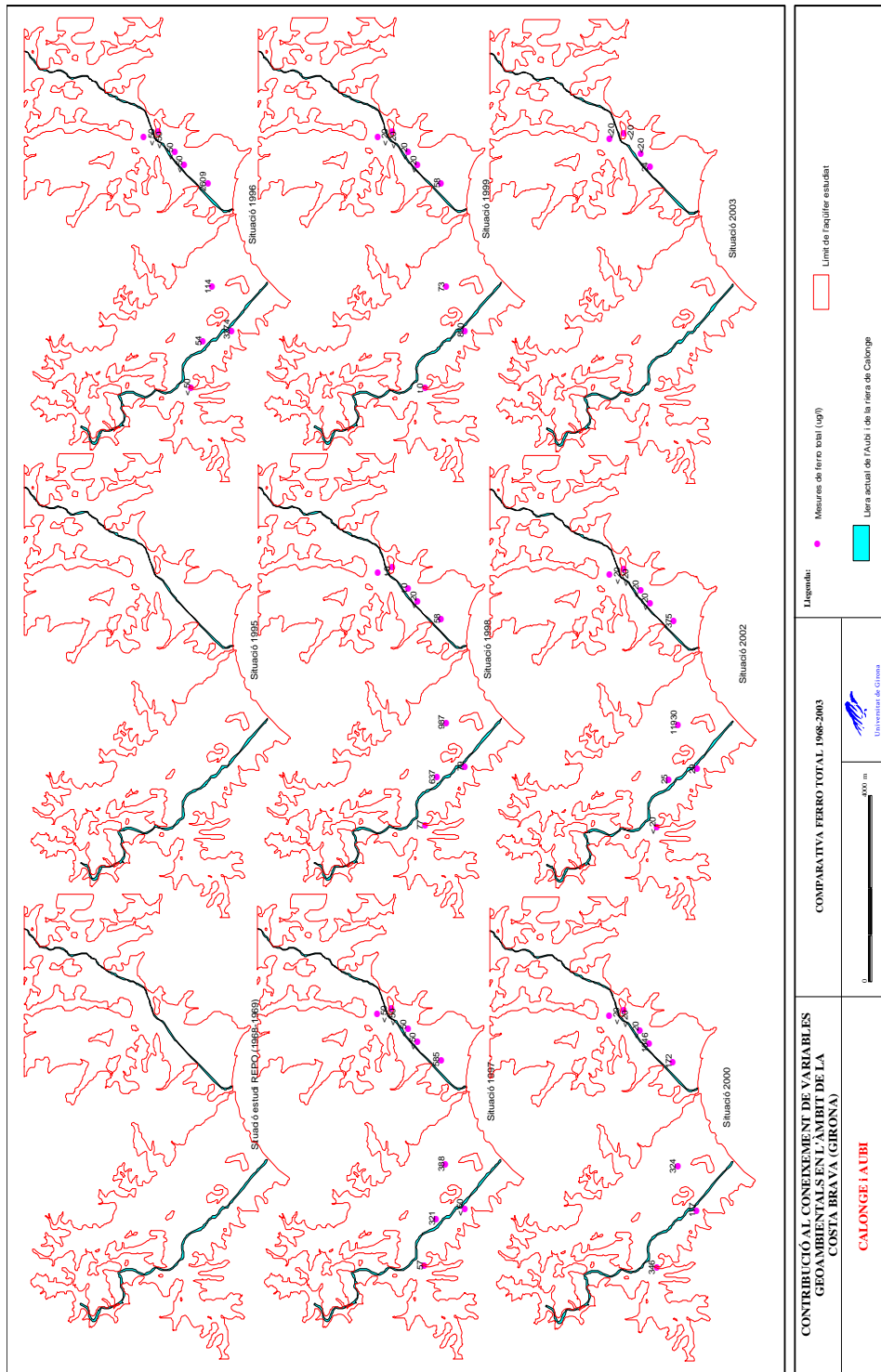


Figura 10.15.- Evolució del contingut en ferro total als aqüífers de l'Aubi i de Calonge per al període 1995-2003. Dades de ACA (2004)

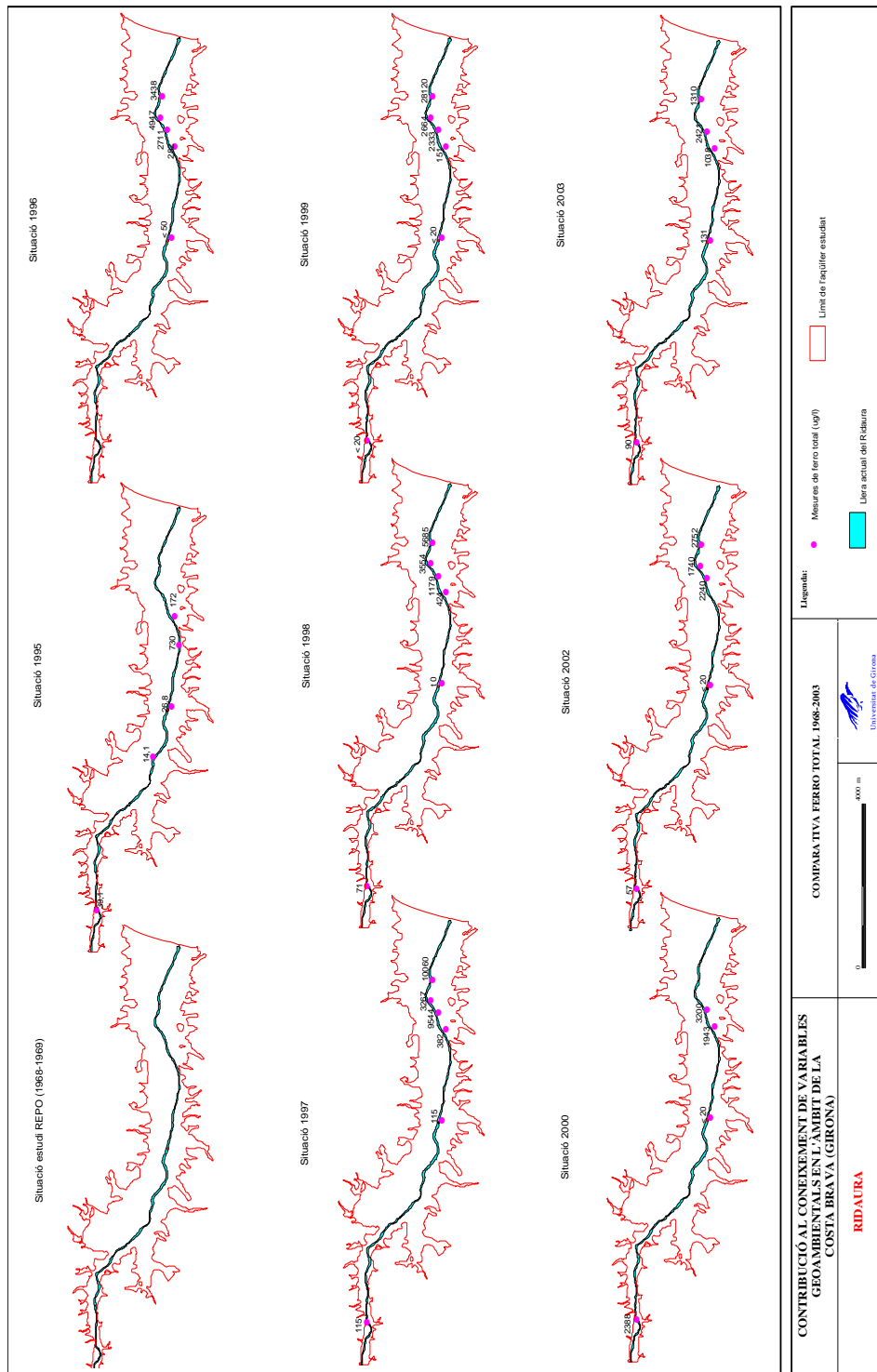


Figura 10.16.- Evolució del contingut en ferro total a l'aquífer del Ridaura per al període 1995-2003. Dades de ACA (2004)

10.3.2.2.- Subsidiència del terreny

La subsidiència és un fenomen que inclou des d'un gradual assentament de la superfície del terreny fins a un ràpid esfondrament (Galloway et al., 1999 i Rodríguez et al., 2000). Des d'un punt de vista geotècnic, es distingeixen dos tipus de comportaments: subsidiència associada a descensos lents i graduals i esfondraments associats a moviments verticals ràpids i sobtats (González de Vallejo et al. 2002).

Una tipologia concreta, fa referència a les deformacions que experimenta la superfície del terreny com a conseqüència de canvis tensionals provocats per extraccions d'aigües subterrànies. En concret, aquí ens limitem a valorar el fenomen quan es desenvolupa en sòls, en sentit geotècnic del terme, quan la causa desencadenant és el descens del nivell piezomètric.

La importància del fenomen sol estar més relacionada amb la situació de l'aqüífer que no pas amb el valor quantitatiu de la subsidiència. Així, les subsidiències en zones costaneres o en nuclis urbans tenen major importància que les produïdes en zones interiors poc habitades. En Galloway et al. (1999) i en Vázquez (2002) es presenten diversos exemples il·lustratius:

Degut al bombeig des de pous molt profunds s'han produït descensos del nivell piezomètric que arriben als 153 m (vall de Sant Joaquin, Califòrnia) i taxes de 5,4 m/any (aquífer Evangelina, àrea de Houston-Galveston, Texas). S'han mesurat assentaments de més de 850 cm a la Vall de San Joaquín i a la pròpia Ciutat de Mèxic, i taxes properes als 50 cm/any a la Vall de San Joaquín, Ciutat de Mèxic o Niigata (Japó).

Alguns d'aquests moviments s'estenen a grans profunditats, fins i tot per sota dels 200 m, com a Arizona Central, la vall de San Joaquín, l'àrea de Houston-Galveston, Bangkok, la Plana de Nobi, Niigata o Tokio. L'àrea afectada arriba a ser molt extensa. En el 1973, a la vall de San Joaquín, una superfície de 13.500 km² va arribar a un assentament mínim de 30 cm.

La subsidiència també dona lloc a moviments horitzontals, que han fet que sorgeixin fissures terrestres de gran longitud a la vall de San Joaquín i Arizona Central, on un assentament superior a 300 cm va originar esquerdes de fins a 5 - 10 m d'amplada i profunditat i 13,8 km de llarg.

L'heterogeneïtat i la diversitat dels factors que afecten a la subsidiència fa que l'efecte dels moviments sigui distint segons les zones i provoca assentaments diferencials, que han donat lloc a nombrosos desperfectes en edificis, instal·lacions i comunicacions. El descens

del terreny ha originat inundacions a la ciutat de Houston, Bangkok o la Badia de San Francisco. Els danys han causat la despesa de milions de dòlars en reparacions i mesures preventives.

Les administracions han adquirit consciència de la importància del problema i han promogut l'estudi i control del fenomen. S'han creat lleis que prohibeixen l'obertura de pous i limiten les extraccions. S'han pres altres mesures, com importar aigua superficial d'altres latituds, recarregar aquífers des de rius o estanys, o canalitzar els excedents de regadius i inundacions. A Niigata, l'aigua bombada es tornava a injectar en els aquífers una vegada extret el gas natural.

Amb això s'ha aconseguit elevar els nivells piezomètrics i disminuir la taxa de subsidència fins a arribar, fins i tot, a eliminar-la. El nivell de l'aigua de la vall de San Joaquín va pujar 82 m entre el 1968 i el 1976. La taxa d'ascens piezomètric ha arribat als 30 m/any a Tokio i als 20 m/any a Niigata. En alguns llocs s'han arribat a produir aixecaments de la superfície del sòl de gairebé 3 cm, com a Niigata, Tokio o a la Plana de Nobi, fet que ha originat nous problemes.

A Espanya el cas Múrcia ha estat fins ara el més important en nuclis urbans. En el període 1994-96 es van manifestar a la ciutat els efectes d'una subsidència generalitzada a causa d'un descens del nivell freàtic de fins a 8 m, resultant assentaments i esquerdes en uns 150 immobles, essent els edificis antics amb cimentació superficial els més danyats. La reducció de les pressions intersticials en el subsòl va donar lloc a la consolidació del terreny en els trams tous superficials. L'assentament mitjà es va estimar en 2-3 cm, i els màxims teòrics de 8 cm (González de Vallejo et al., 2002).

A Catalunya es disposen d'algunes dades preliminars als deltes de l'Ebre i del Llobregat, on en aquest últim s'estima una subsidència de fins a alguns decímetres (IGME, 2005). Alguns dels problemes d'assentaments detectats en algunes zones de la ciutat de Barcelona, podrien estar relacionats amb els bombeigs intensius i continuats d'aigües subterrànies per evitar inundacions al metro.

A la zona d'estudi i zones pròximes no ha estat descrit aquest tipus de problemàtica. Tot i això, les condicions hidrogeològiques i geotècniques són similars a les que s'han quantificat en altres zones i que han acabat desencadenat assentaments no tolerables per estructures.

És a dir, com valorarem més endavant, els factors naturals i antròpics determinen un risc potencial. Com a dada preliminar, atès que els reconeixements de camp efectuats han estat parcials, creiem que els assentaments identificats i les afeccions en algunes construccions

properes a pous de bombeig podrien estar motivats per la subsidència del terreny (Figura 10.17).



Figura 10.17.- Exemples de deformacions del terreny i edificacions que podrien tenir l'origen en canvis tensionals ocasionats per l'explotació d'aigües subterrànies

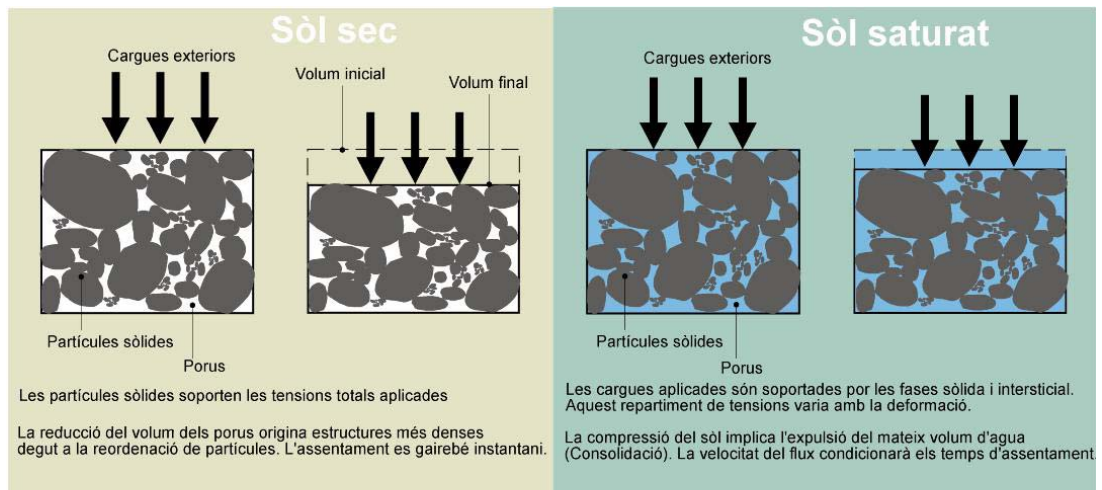
10.3.2.2.1.- Subsidència unidimensional deguda als descens del nivell piezomètric

Al tractar-se d'un fenomen poc conegut s'ha considerat oportú introduir els principis bàsics que el regulen.

La relació entre els canvis piezomètrics i les deformacions que experimenta un aquífer es fonamenten en el principi de les tensions efectives (Figura 10.18), postulat per Karl Terzaghi l'any 1925 (Galloway et al., 1999) i considerat el principi fonamental de la Mecànica de Sòls. A continuació es reproduïx la traducció de les dues parts fonamentals del seu enunciat:

”Les tensions en qualsevol punt d'un pla que travessa una massa de sòl poden ser calculades a partir de les tensions principals totals σ_1 , σ_2 i σ_3 que actuen en aquest punt. Si els porus del sòl es troben plens d'aigua sota una pressió u , les tensions principals totals es componen de dues parts. Una

part, u , denominada pressió neutra o pressió intersticial, actua sobre l'aigua i sobre les partícules sòlides en totes direccions i amb igual intensitat. Les diferències $\sigma'_1 = \sigma_1 - u$, $\sigma'_2 = \sigma_2 - u$ i $\sigma'_3 = \sigma_3 - u$, representen un exés de pressió sobre la pressió neutra u , i actuen exclusivament en la fase sòlida del sòl. Aquestes fraccions de les tensions principals totals es denominen tensions efectives.”



Principi de les tensions efectives: $\sigma' = \sigma - u$

Les tensions que actuen a la fase sòlida del sòl, denominades efectives, corresponen a la diferència entre les tensions totals i la pressió intersticial. Les càrregues absorbides pel fluid originen una variació de pressió intersticial que obliga a l'aigua a moure's a través del sòl, i per tant les propietats del sòl variaran amb el temps.

Figura 10.18.- Comportament geomecànic dels agregats de partícules. Principi de les tensions efectives. Elaboració pròpia a partir d'esquemes extrets de Lambe & Whitman (1984) y Waltham (1994)

“Qualsevol efecte mesurable a causa d'un canvi de tensions, tal com la compressió, la distorsió o la modificació de la resistència al tall d'un sòl, és degut exclusivament a canvis en les tensions efectives.”

Com a corol·lari principal, si en un sòl saturat no es produeix canvi de volum o distorsió, és perquè les seves tensions efectives no han variat. Així, es podrien modificar les tensions totals i intersticials del sòl en la mateixa magnitud, i l'esquelet sòlid del sòl no percebrà cap canvi.

D'acord amb els esquemes desenvolupats per Lambe & Whitman (1984) centrarem la nostra atenció en dos aspectes bàsics en el comportament de la fase intersticial, directament relacionats amb les extraccions d'aigües subterrànies, relatius a processos d'interacció física i contribució al repartiment de càrregues.

Interacció física

Per valorar la interacció física que es produeix entre les fases mineral i intersticial utilitzarem l'esquema de la figura següent (Figura 10.19).

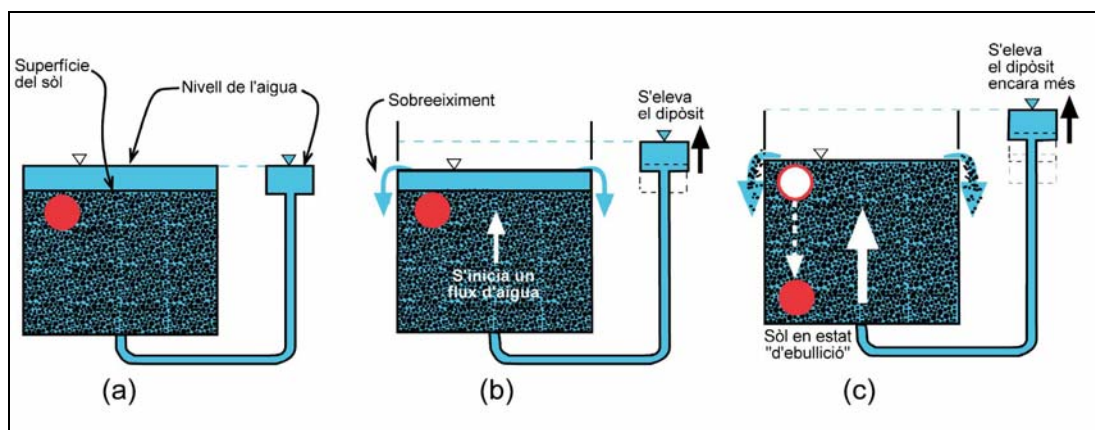


Figura 10.19.- Interacció física entre les fases mineral i intersticial. a) Estat hidrostàtic: l'aigua no circula. b) Petit flux d'aigua. c) sifonament o ebullició. Extret de Lambe & Whitman (1984).

Inicialment (Figura 10.19a) suposem que el recipient està ocupat per un sòl de sorra saturat on les condicions de pressió d'aigua són hidrostàtiques. És a dir, la pressió en els porus, en qualsevol punt, és igual al pes específic de l'aigua per la profunditat del punt considerat sota la superfície de l'aigua. En aquest cas no hi haurà circulació o flux d'aigua.

Suposem ara que s'augmenta la pressió d'aigua en la base del recipient, mentre que el nivell de la superfície d'aigua es manté constant per mitjà d'un sobreeixidor (Figura 10.19b). En aquest cas, existirà un flux ascendent d'aigua. El cabal d'aigua que flueixi estarà en relació amb la sobrepressió aplicada al fons del recipient i amb la permeabilitat del sòl.

Si la sobrepressió d'aigua a la base del recipient augmenta, s'arribarà a una pressió per a la qual la sorra "bull" degut al flux ascendent d'aigua (Figura 10.19c). Es diu que s'ha arribat a l'estat "d'ebullició" o sifonament. Evidentment ha existit una interacció física entre l'esquelet mineral i l'aigua intersticial.

En aquest estat de sifonament, la resistència al tall del sòl és clarament inferior i ha incrementat el seu volum. Aquests canvis han tingut lloc sense que es modifiquin els pesos totals de sorra i aigua en el recipient. En conseqüència, el canvi que han experimentat les forces de contacte entre les partícules han hagut de produir-se degut als canvis de pressió en la fase intersticial, o sigui, que aquestes forces de contacte han d'estar relacionades amb la diferència de pressió que actua en sentit de la gravetat (pressió total) i la pressió

intersticial. Aquestes observacions formen la base de l'important concepte de pressió o esforç efectiu.

Així doncs, l'aigua pot circular a través del sòl exercint un efecte sobre l'esquelet mineral que modifica la magnitud de les forces en els punts de contacte entre partícules i influeix sobre la resistència del sòl a la compressió i a l'esforç de tall.

Contribució al repartiment de càrregues

Finalment, pel fet que el sòl és un sistema de diverses fases, pot esperar-se que la càrrega aplicada a una massa de sòl la resisteixin l'esquelet mineral i, en part, el fluid intersticial. L'analogia hidromecànica que presentem a la figura 10.20 ens ajuda a entendre aquest repartiment de càrregues.

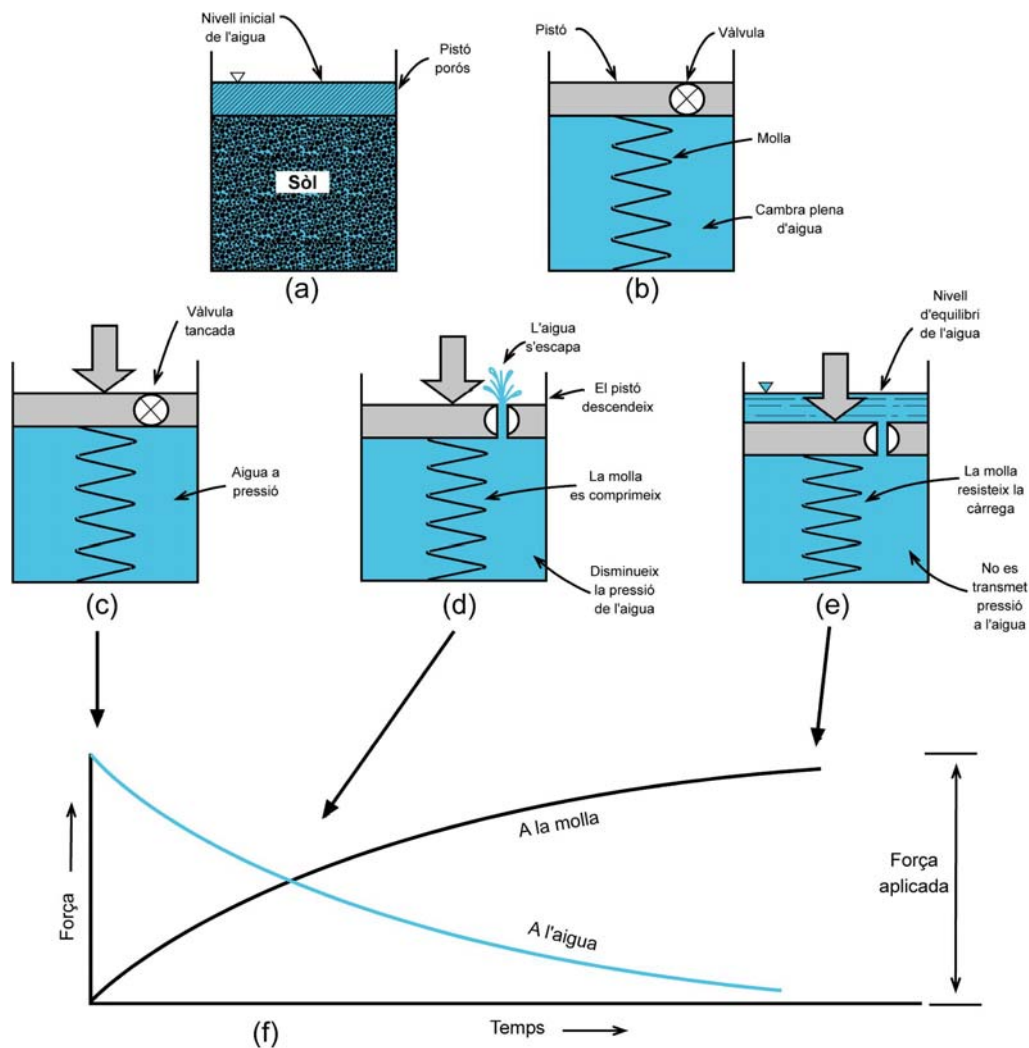


Figura 10.20.- Analogia hidromecànica per il·lustrar la distribució de càrregues en la consolidació. a) Exemple físic. b) Analogia hidromecànica; estat inicial. c) Càrrega aplicada amb la vàlvula tancada. d) El pistó descendeix al anar escapant l'aigua. e) Equilibri sense més escapament d'aigua. f) Transferència gradual de càrrega. Extret de Lambe & Whitman (1984).

Com es mostra en la figura 10.20, les propietats del sòl s'han idealitzat: la resistència de l'esquelet mineral a la compressió està representada per una molla o ressort; la resistència al flux d'aigua a través del sòl representa una vàlvula en un pistó impermeable.

Inicialment suposem que l'aplicació d'una càrrega al pistó es porta a terme amb la vàlvula tancada. En la nostra analogia hidromecànica el pistó es mourà molt poc en aplicar la càrrega ja que l'aigua és relativament incompressible. La molla s'escurça lleugerament, tota la càrrega aplicada la resisteix un increment de la pressió de l'aigua a la cambra. Les condicions en aquesta fase es representa a la figura (Figura 10.20c).

A continuació en obrir la vàlvula la pressió de l'aigua dintre de la cambra obligarà que l'aigua escapi a través de la vàlvula (Figura 10.20d). En escapar l'aigua, la molla s'escurça i comença a suportar una part cada vegada més important de la càrrega aplicada, produint-se una disminució de la pressió del fluid que omple la cambra. Finalment, s'arriba a un estat (Figura 10.20e) en el qual la molla resisteix tota la càrrega aplicada i la pressió de l'aigua torna al seu valor hidrostàtic inicial. Una vegada que s'arriba a aquest estat, l'aigua cessa de fluir per la vàlvula.

El procés de transmissió de càrregues de l'aigua a la molla es produeix de manera gradual (Figura 10.20f). Això és degut al fet que durant qualsevol interval de temps solament pot escapar per la vàlvula una cabal limitat d'aigua.

Aquesta analogia hidromecànica il·lustra amb gran encert el comportament real del sòl. El procés d'expulsió gradual de l'aigua es denomina **consolidació**, i el període de temps emprat és el desfasament hidrodinàmic. El grau de compressió o consolidació produït fins a un determinat instant depèn no només de la càrrega aplicada, sinó també de la intensitat dels esforços transmesos en els contactes de les partícules, és a dir, de la diferència entre els esforços aplicats i la pressió intersticial. Aquesta diferència es denomina **esforç efectiu**.

Com a síntesi final cal destacar que quan la càrrega aplicada a un sòl es fa variar sobtadament, aquesta variació és absorbida conjuntament pel fluid intersticial i per l'esquelet mineral. La variació de pressió intersticial obliga a l'aigua a moure's a través del sòl, amb la qual cosa les propietats del sòl varien amb temps.

D'altra banda, dels mecanismes de consolidació descrits anteriorment en deriven dos conceptes fonamentals de la pràctica habitual de la Geotecnia: les condicions de **càrrega "sense drenatge"** (a vegades denominada càrrega "a curt termini"), i les condicions de **càrrega "amb drenatge"** (també denominada de forma confusa "a llarg termini") (González de Vallejo et al., 2002).

Si la relació que s'estableixi entre la velocitat d'aplicació de la càrrega i la velocitat del flux de l'aigua, és tal que permet dissipar els excessos de pressió intersticial generats, les condicions resultants es denominen drenades. Aquesta situació és la més favorable per a l'estabilitat. Quan això no succeeix, les condicions resultants són no drenades. En aquest cas, l'excés de pressió intersticial actuarà sobre les partícules reduint la seva resistència, i en conseqüència seran les condicions més desfavorables per a l'estabilitat.

Així doncs, de la mateixa manera que un increment d'esforços totals o pressions externes aplicades pot modificar l'estat tensional del sòl, la caiguda del nivell piezomètric en el sòl redueix la pressió intersticial de l'aigua en els porus i augmenta la pressió efectiva, que es produeix sobre l'esquelet sòlid del sòl. Aquesta pressió efectiva en un sòl saturat és igual a la pressió total menys la de l'aigua, com hem vist. En la zona per sobre del nivell piezomètric l'aigua es troba a una pressió inferior a la atmosfèrica i la pressió efectiva no obeeix a la llei anterior. Ara bé, la disminució de la pressió de l'aigua també provoca una compressió, la qual cosa origina un procés de consolidació que pot desembocar en assentaments considerables i en un descens generalitzat d'extenses superfícies.

Òbviament el fenomen és desenvolupa quan els materials afectats són susceptibles a desenvolupar canvis volumètrics com a conseqüència de canvis tensionals. Aquest és el cas dels materials de granulometria més fina, bàsicament llims i argiles, amb un comportament d'aqüítard (Figura 10.21).

En aquest sentit, durant les últimes dècades s'ha anat augmentant el reconeixement del paper crític que tenen els aqüítards en resposta a mitjà i a llarg termini dels sistemes aqüífers al·luvials a l'extracció intensiva d'aigua subterrània. Això és en virtut a la seva porositat i compressibilitat substancialment més gran i, en molts casos, per la seva major potència comparada amb les capes més transmissives, tipus sorra i grava (Galloway et al., 1999).

Com que els aqüítards per definició són molt menys permeables que els aqüífers, el drenatge vertical d'aquests primers cap als segons bombats adjacents pot avançar molt lentament, retardant així el canvi de nivell en aquests aqüífers adjacents. Per una temporada típica d'intens bombament, només una fracció modesta del rendiment potencial d'emmagatzematge de l'aqüítard entrarà dins el sistema aqüífer abans que aquest pic d'extracció cessi i l'aigua subterrània recuperi els nivells normals. Generalment, per aqüítards gruixuts, el pròxim cicle de bombament comença abans que les pressions intersticials s'hagin equilibrat del cicle anterior. La resposta retardada dintre de les porcions interiors d'un aqüítard gruixut es pot aïllar en gran part de la freqüència més alta de les fluctuacions estacionals i estan més influïdes per la freqüència més baixa, és a dir, de les

tendències a més llarg termini dels nivells freàtics. Com que la pressió interna es desplaça en sentit del drenatge, com més pressió es necessiti per extreure l'aigua de l'aqüítard, més grans seran les pressions internes que es propaguin dins l'aqüítard.

Aquitard Drainage and Aquifer-System Compaction

The Principle of Effective Stress

This principle describes the relation between changes in water levels and deformation of the aquifer system.

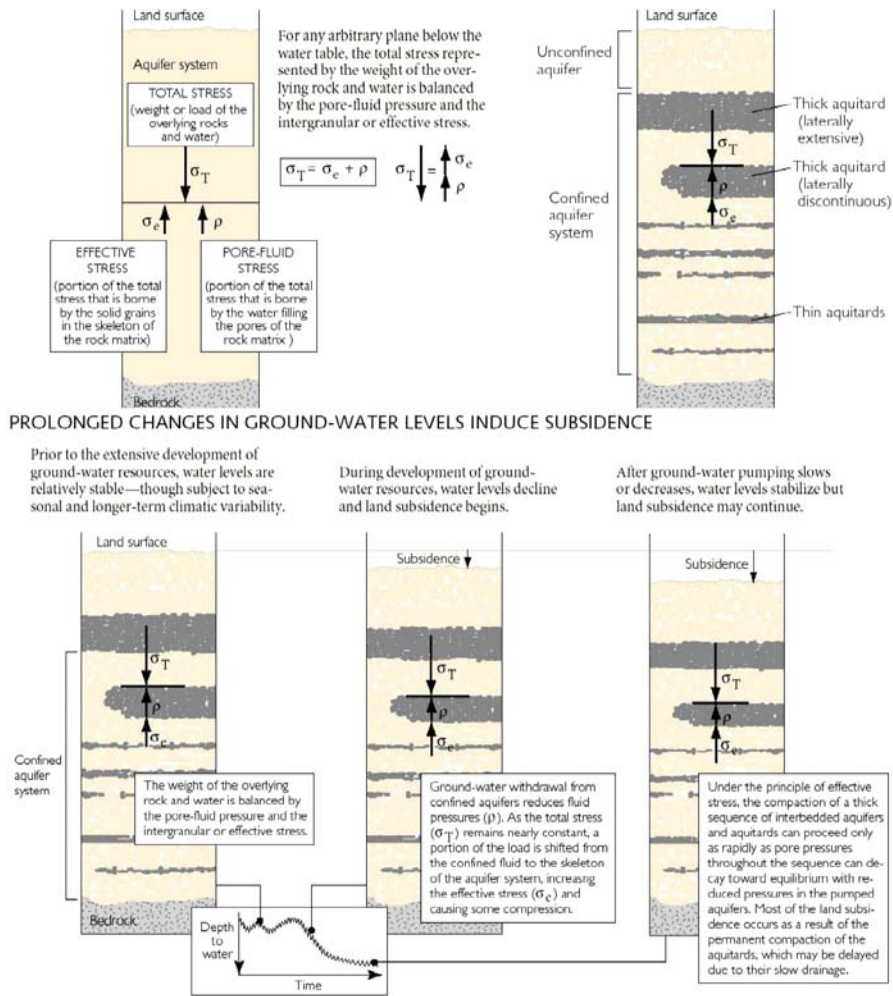


Figura 10.21.- Drenatge d'un aquítard i procés de compactació (reproducció de Galloway et al., 1999)

Quan les pressions internes excedeixen la pressió de preconsolidació, la compressibilitat incrementa dramàticament, generalment per un factor de 20 a 100 vegades, i la compactació resultant és en gran part irreversible. A pressions més grans que la pressió de preconsolidació, el desfasament de desguàs de l'aqüítard augmenta amb factors comparables als anteriors, i la compactació final resultant pot requerir dècades o segles. La teoria de la consolidació hidrodinàmica (Terzaghi, 1925) — un element essencial del “model de desguàs de l'aqüítard”— descriu la demora implicada a desguassar aquítards quan els nivells freàtics disminueixen en aquífers adjacents, així com la compactació residual que pot

continuar molt temps després que aquests aquífers s'hagin estabilitzat altra vegada. Models numèrics basats en la teoria de Terzaghi han simulat satisfactòriament casos complexes de consolidació observats com a resposta de fluctuacions mesurades del nivell freàtic (Helm, 1975).

L'estudi d'aquest procés de deformació del sòl es pot abordar des de la teoria de Consolidació Unidimensional de Sòls i avaluar mitjançant proves edomètriques (Figura 10.22); exemples recents dels quals els trobem en IGME-COPOT (2001), Vázquez (2002) i Mulas et al (2003).

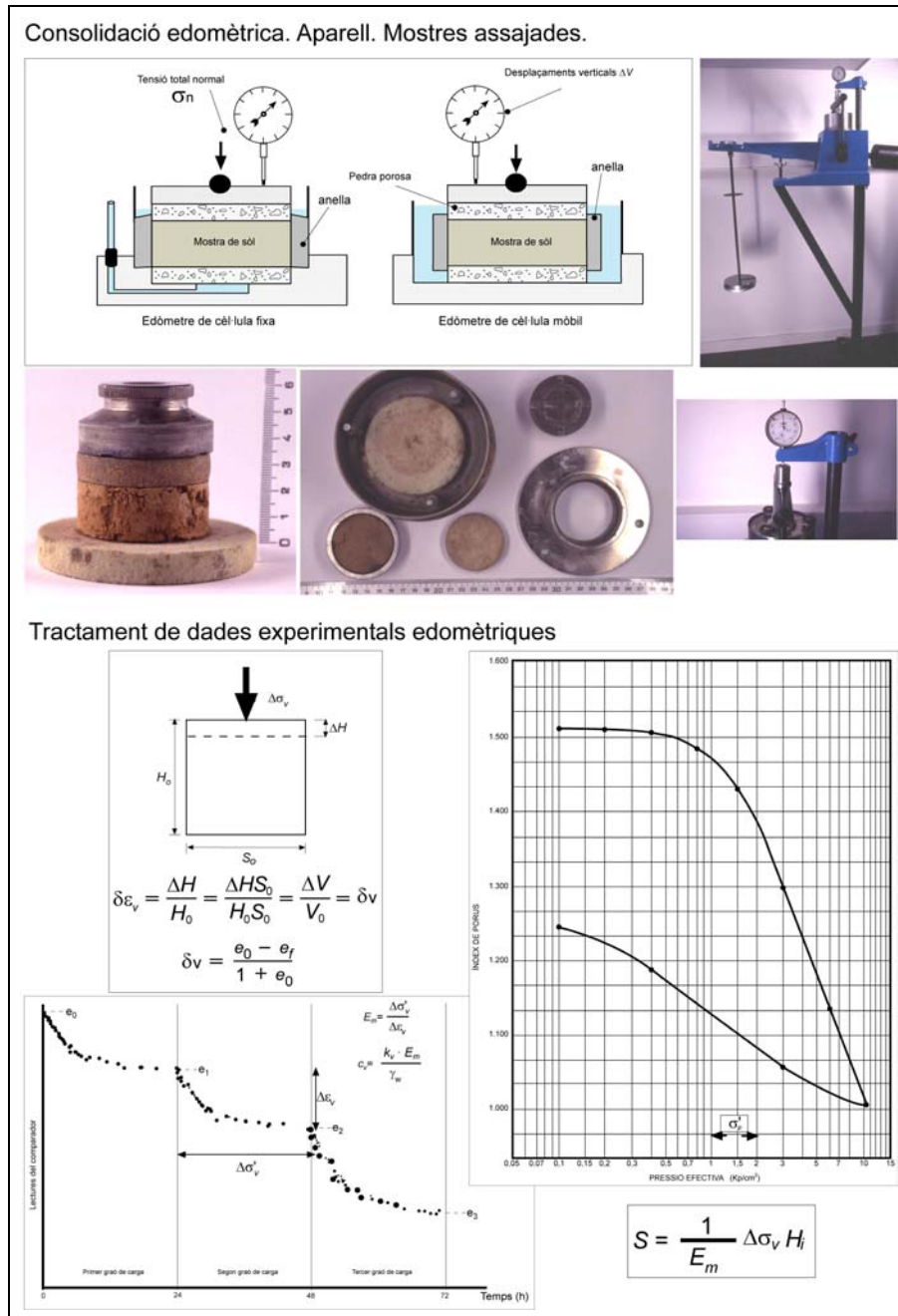


Figura 10.22.- Consolidació edomètrica. Esquema de cèl·lules edomètriques basats en Bowles (1992). Dades experimentals i fotografies de l'Àrea de Geodinàmica Externa de la UdG

Com es dedueix de la corba edomètrica representada en aquesta figura, en el procés de consolidació d'un sòl hi ha dos trams o comportaments clarament diferenciats. Fins a un determinat valor de tensió efectiva, denominat pressió de sobreconsolidació σ'_p (també anomenat de preconsolidació), els assentaments provocats pels canvis d'esforços són relativament baixos i recuperables en gran mesura (comportament elàstic). Un cop superat aquest llindar la deformació vertical unitària és molt més elevada, d'acord amb el coeficient de compressibilitat - pendent de la recta -, i a partir de llavors es desenvolupa en règim plàstic, amb la qual cosa ja no és recuperable l'estat inicial.

Així doncs, és evident que en la mesura que descensos piezomètrics superin el valor de preconsolidació del terreny la subsidència s'accelerará en major o menor quantia. En conseqüència, s'opina que el coneixement d'aquests valors característics del terreny permetrà avaluar i determinar si les extraccions han pogut desencadenar un procés de consolidació o subsidència del terreny.

10.3.2.2.2.- Situació a la zona d'estudi

Com s'ha indicat anteriorment, les dades preliminars aconseguides indiquen que a l'entorn d'alguns dels centres principals de bombeig es desenvolupa un fenomen de subsidència reconegut pels assentaments que han patit diverses construccions.

Les dades disponibles ens permeten fer una aproximació valorativa en el cas dels sistemes del Ridaura i Aubi.

En tots dos casos es disposa de registres piezomètrics dels darrers 20 anys i es coneixen les característiques litològiques i geotècniques del subsòl afectat per les extraccions intensives.

A la figura 10.23 es presenta l'evolució piezomètrica de dos punts del Ridaura representatius de les condicions de càrrega hidràulica a l'entorn de zones sotmeses a explotacions intensives. El piezòmetre codificat com S-08-a mostra les condicions en fondària, en l'aquífer profund confinat; i l'equip S-07-a representa les de l'aquífer superficial, en règim lliure i semiconfinat segons trams. A la vertical d'aquests punts el medi geològic conté diversos nivells amb continguts variables de llims i argiles que s'intercalen en cossos dominats per sorres i graves .

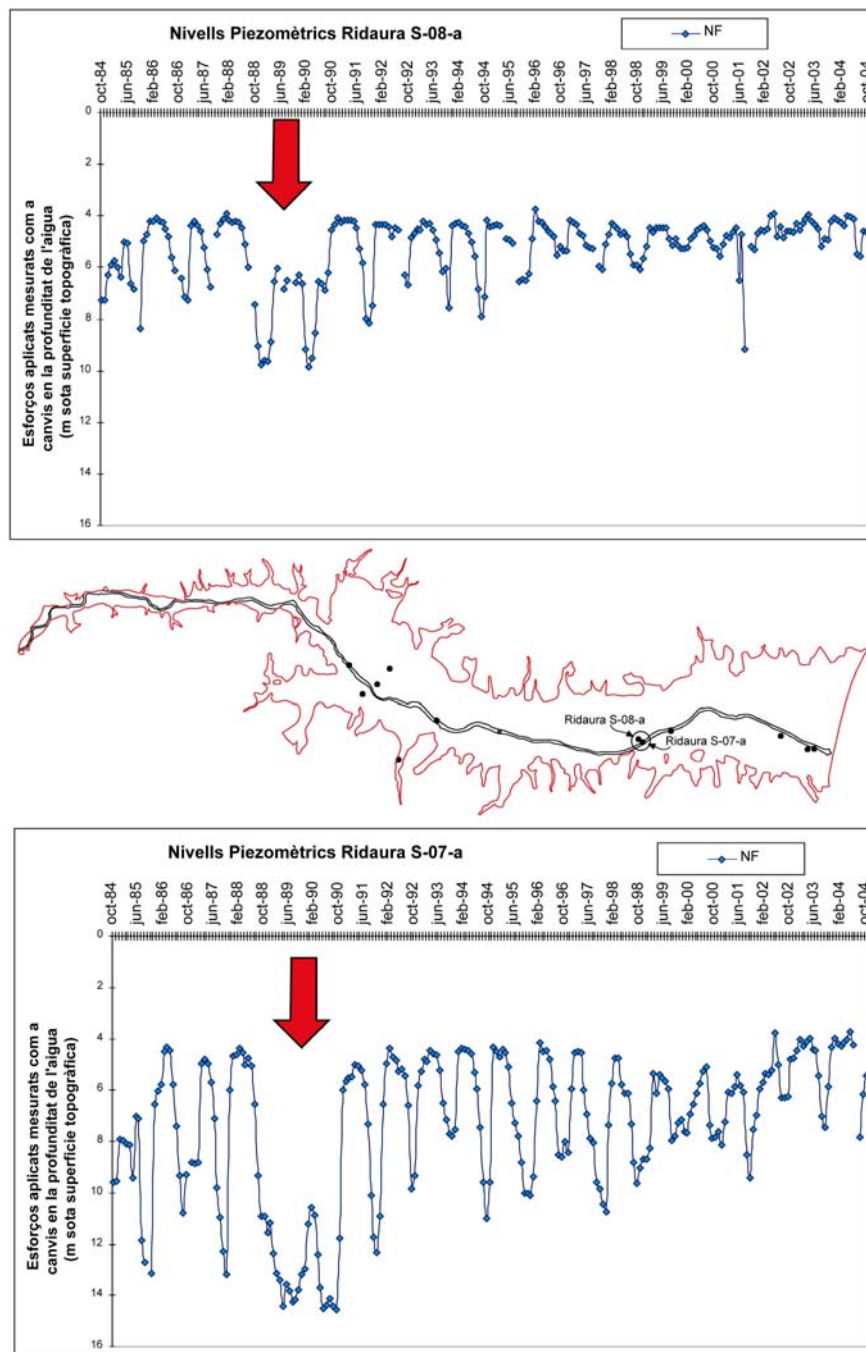


Figura 10.23.- Evolució del nivells piezomètrics en el sistema Ridaura. (Dades facilitades per ACA, 2004)

Més enllà del comportament estacional de baixes i pujades del nivell piezomètric, com a conseqüència de la concentració de les extraccions en l'època estival, destaquem els mínims assolits durant el període 1988 a 1990. A l'aqüífer superficial el descens piezomètric va incrementar la tensió efectiva en valors propers als 100 kPa i en l'aqüífer inferior es van arribar assolir disminucions de la pressió intersticial de fins a 60 kPa.

En el cas del sistema Aubi (Figura 10.24), els piezòmetres seleccionats són representatius i amb condicions geològiques similars al cas anterior del Ridaura. S'assoleixen valors de descensos piezomètrics més acusats; arribant-se a valors màxims d'uns 12 m; i a més, són diversos els períodes de extraccions màximes.

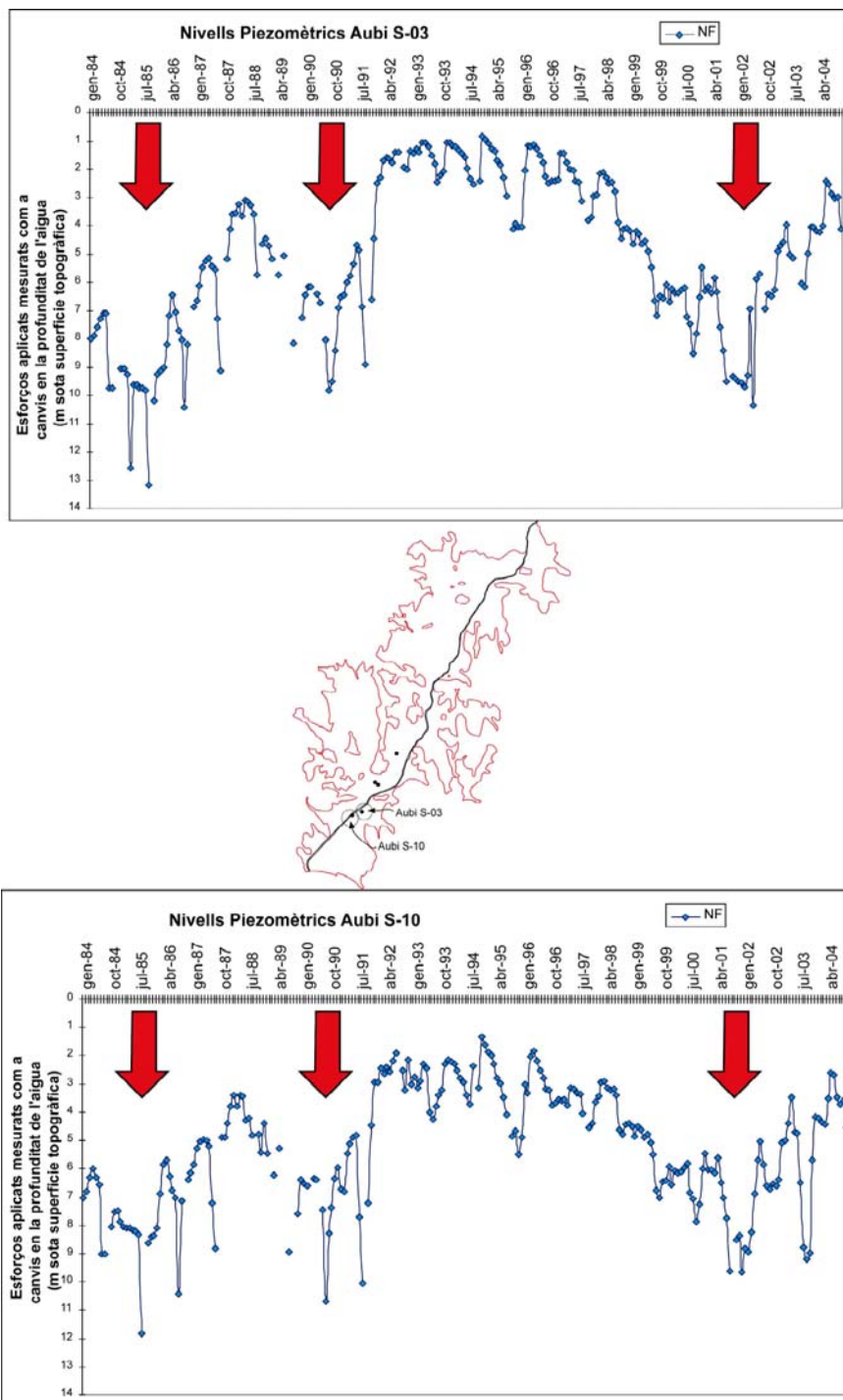


Figura 10.24.- Evolució del nivells piezomètrics en el sistema Aubi. (Dades facilitades per ACA, 2004)

En tots dos casos, les variacions descrites en els esforços aplicats als terrenys com a conseqüència de baixades del nivell piezomètric, són similars, fins i tot superiors, a les

observades en altres sistemes fluviodeltaics del litoral català. Concretament, en el cas del delta del Llobregat descensos menys importants, que es van donar als anys 60 i amb la posterior recuperació durant els 70 i 80, han comportat la sobreconsolidació d'aqüitards, la qual ha estat mesurada en termes de pressió de preconsolidació de l'ordre de 1000 a 1200 kPa (ICC-DPTOP, 2000 i Puertos del Estado, 1999). D'acord amb aquests estudis realitzats, aquests aquitards presenten coeficients de consolidació de fins a 1500 a 2000 cm^2/dia ; manifestant una elevada compressibilitat del conjunt.

Els descensos piezomètrics han derivat consolidacions addicionals, especialment en el nivells amb continguts significatius en llims i/o argiles, i que en superfície han assolit valors màxims d'uns 10 cm d'assentament (IGME, 2005).

Sense aprofundir més en l'estudi de la fenomenologia descrita en els nostres sistemes aquífers, s'opina, en base a les dades disponibles, que existeixen diverses zones on el risc de subsidència és especialment elevat.

A la figura 10.25 es presenten aquelles zones, de les principals rieres estudiades, on les condicions hidrogeològiques naturals i els descensos originats per extraccions aigües subterrànies, determinen una susceptibilitat més elevada a la subsidència del terreny. En aquests ambients generalment ens trobem amb sòls, en sentit geomecànic del terme, normalment consolidats. Els valors de pressió de preconsolidació, és a dir, els valors màxims de tensió efectiva vertical que el terreny ha suportat al llarg de la seva història tensional, són els derivats del pes dels materials que tenen a sobre. En aquests contextos, les modificacions de les pressions intersticials són la causa principal de les deformacions que experimenten el sòls.

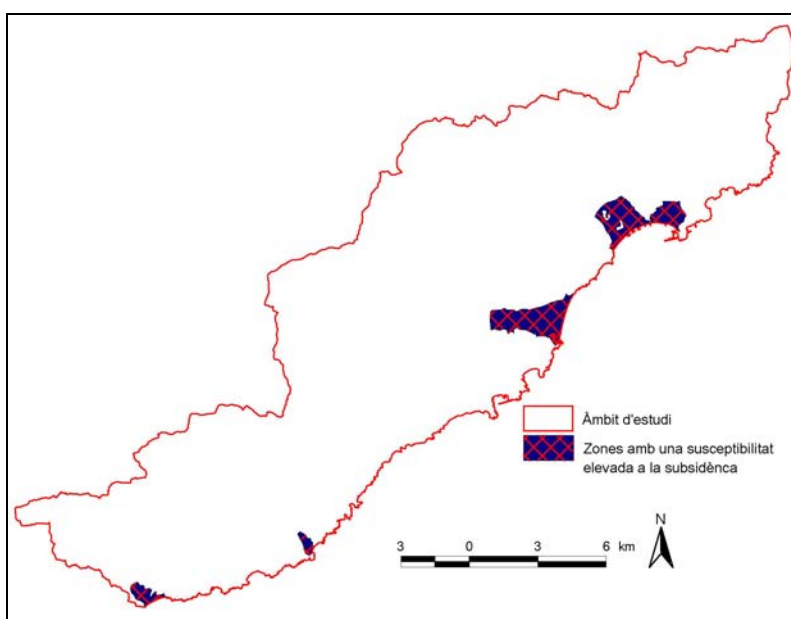


Figura 10.25. Zones amb una susceptibilitat elevada a la subsidència del terreny

Per últim, volem destacar que s'han observat certes tendències anòmales en determinats registres piezomètrics del sistema Ridaura que creiem que poden tenir un origen en deformacions provocades per canvis tensionals originats per extraccions d'aigües subterrànies. Aquest és el cas del piezòmetre S-03-a situat en la part alta de la conca. Com s'aprecia a la figura 10.26, des de principis del 1993 els nivells màxims, força constants, no han tornat a igualar els enregistrats durant els anys anteriors; igualment, molt uniformes. És probable, tenint en compte la naturalesa detrítica grollera i mitjana del subsòl en aquesta zona, que el comportament observat sigui conseqüència d'un col·lapse o hidrocompactació.

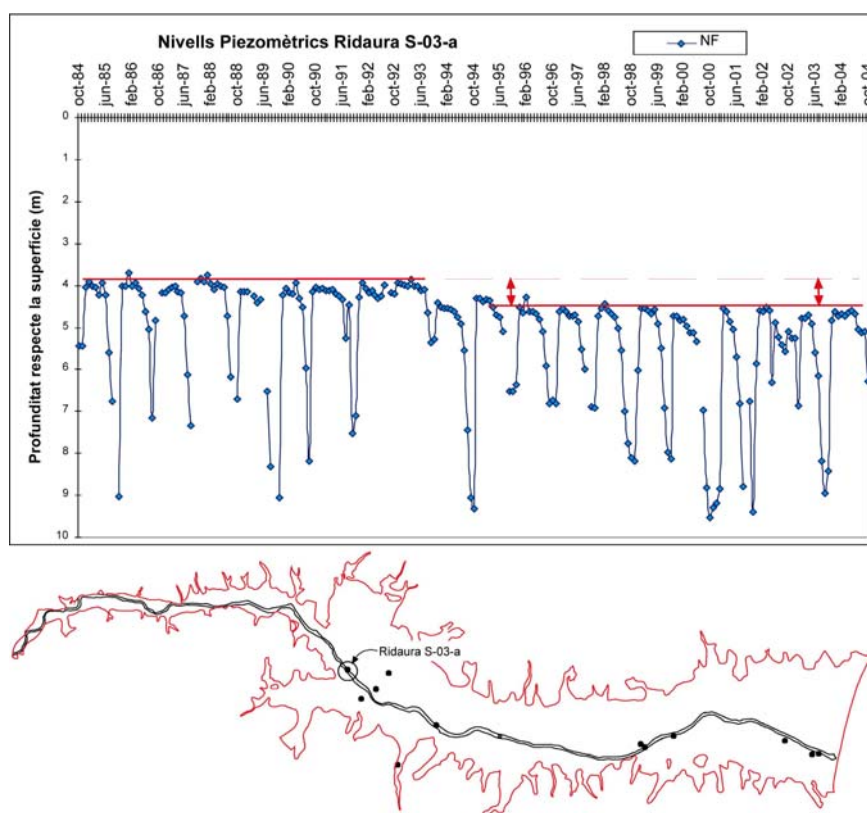


Figura 10.26.- Hidrocompactació deduïda de la variació dels registres de màxims piezomètrics (Dades facilitades per ACA, 2004)

A la problemàtica descrita de consolidació del terreny cal afegir la de la inestabilitat induïda en els marges dels canals principals.

L'extracció d'aigües subterrànies mitjançant pous situats a les immediacions dels canals principals pot desencadenar fenòmens d'inestabilitat. Les sorres que generalment s'acumulen en aquests marges (levées naturals) experimenten ràpids canvis de resistència provocats per brusques variacions en les condicions de succió en el medi no saturat i/o arrossegament de partícules per sifonaments en el medi saturat (Dapporto et al., 2001 i 2003). En tots dos casos aquests fenòmens estan afavorits i/o accelerats per els canvis

piezomètrics degut a l'extracció d'aigua subterrània. Com es mostra a la figura 10.27 el pou del paratge de Mas Patxot (gestionat per GESESA) situat prop del marge del Ridaura, i possiblement com a conseqüència del procés acabat de descriure, ha quedat totalment descalçat i actualment es troba dins de la llera.



Figura 10.27.- Pou del paratge de Mas Patxot descalçat com a conseqüència de la inestabilitat del marge de la riera provocada pel canvi en les condicions del nivell freàtic

11.- ROQUES INDUSTRIALS

Seguint amb l'estudi dels recursos geoambientals del nostre territori en el present capítol ens ocuparem de les roques industrials.

Amb aquesta denominació s'indica de forma global a aquells materials utilitzats exclusivament en funció de les seves propietats físiques i químiques i no en funció de les substàncies que potencialment s'en puguin extreure. Aquests materials constitueixen les matèries primeres del sector de la construcció i obra pública en general (Sort et al., 2000). Així definides, les roques industrials abracen una àmplia varietat de productes com són les roques de construcció, els aglomerats, els àrids, productes ceràmics, aïllants, abrasius, entre d'altres, cadascun dels quals caracteritzats per una sèrie de propietats tècniques que es valoren segons la normativa vigent.

Atenent a la tipologia de materials aflorants en la nostra regió, així com als sectors majoritaris de consum, ens hem centrat en l'estudi de dos tipus de productes: els àrids i les roques de construcció.

A l'igual que en capítols anteriors, ens hem marcat com a objectiu principal la delimitació cartogràfica de materials que per les seves característiques fisicoquímiques són potencialment aptes per als usos indicats. D'aquesta forma, insistim exclusivament en el coneixement de la qualitat natural dels materials, deixant de banda l'anàlisi d'una altra sèrie de factors dependents de l'orografia de la zona, del tipus de planta d'extracció, del grau de fragilitat ambiental de la zona, entre d'altres, d'indubtable interès en un estudi d'explotabilitat dels materials.

De manera complementaria a l'estudi cartogràfic hem fet una anàlisi valorativa dels conflictes d'ús que es deriven de les explotacions d'àrids naturals en sistemes fluvials. Aquesta problemàtica geoambiental és il·lustrativa de les existents en el nostre territori a l'entorn de les explotacions de roques industrials.

11.1.- Principals unitats geomineres

11.1.1.- Emmarcament geominer

Fins a la data d'avui les actuacions desenvolupades a la zona estudiada en referència a l'extracció de roques industrials han estat gairebé inexistents. Només s'han redactat plans de restauració i autoritzacions o llicències ambientals per cadascuna de les activitats extractives individuals. No s'ha realitzat encara cap pla sectorial que abrasi una gran àrea d'influència, com a mínim a nivell de conques hidrogràfiques, i que permeti gestionar aquesta tipologia d'activitats mitjançant l'aplicació de criteris ambientals.

El coneixement sobre aquesta tipologia de recursos, en quant a delimitació i caracterització regional, és força escàs. En aquest sentit en Font et al., (1982) es fa una caracterització dels àrids de les pedreres actives però no aporta criteris relatius a la gestió i planificació d'aquests.

La recerca realitzada es fonamenta, com a punt de partida, en els coneixements adquirits en estudis previs en l'àmbit de les comarques gironines (Roqué et al., 2001; Linares et al., 2000a; ACA-UdG, 2001 i 2002).

11.1.1.1.- Estat actual

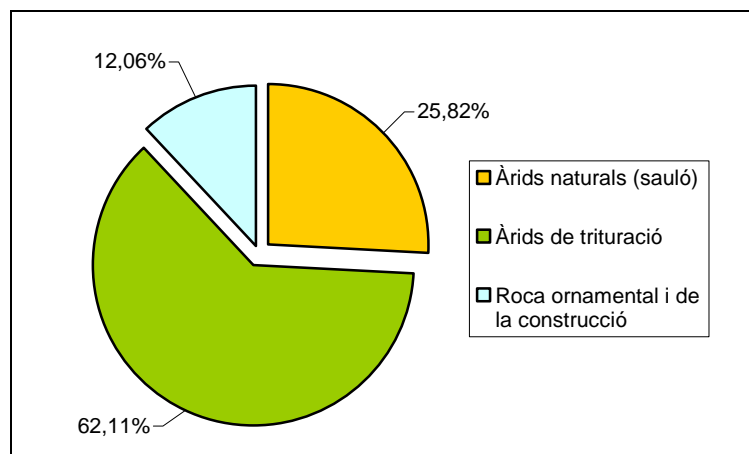
En quant als àrids naturals granulars les extraccions es concentren en els mantells d'alteració dels granitoides. No es té constància en l'actualitat de cap explotació d'àrids naturals granulars d'una forma sistemàtica i regulada en els dipòsits fluvials quaternaris, tot i que en àrees molt localitzades sí que se n'ha extret per a ús particular. En l'àrea estudiada només són dues les explotacions de graves que ja estan finalitzades. Totes dues es trobaven a l'al·luvial del Ridaura; són l'explotació que portava per nom *Ridaura-Sta.Cristina*, explotada per l'Ajuntament de Santa Cristina d'Aro, i la *Ridaura*, explotada per Servià Cantó S.A.

En quant als àrids naturals de trituració actualment hi ha comptabilitzades 6 explotacions actives, de les que caldria destacar la *Pilar* de Servià Cantó a Cruïlles i la *Balmaña* a Tossa de Mar, i 7 d'inactives. En quant a roques de construcció actualment n'hi ha comptabilitzades dues d'actives dedicades a la roca ornamental, com és el cas de la *Morena* a la part alta de la conca de l'Aubi, i tres d'inactives.

A continuació es presenten les dades dels expedients d'activitats extractives del nostre àmbit d'estudi (Taula 11.1 i Gràfica 11.1) (DMA, 2005). En aquesta taula s'hi han afegit les activitats inactives sense restaurar, corresponent sobretot a antigues explotacions petites locals que s'han anat identificant a camp i que no constaven a la base de dades anteriorment citada. La digitalització del perímetre per al càlcul de les seves àrees s'ha fet en pantalla a escala 1:5.000 sobre ortofotomapa.

Situació actual	Nombre d'activitats	Àrea (m ²)	Observacions
Activitat amb afecció pendent de regularització	5	56.476,37	3 d'elles explotaran sauló i 2 leucogranits de gra mitjà i granodiorites com a roca ornamental
Activitats en actiu i restauració no iniciada	6	305.866,77	2 d'elles explotaran el sauló, 2 leucogranits de gra gros i roques hipabissals àcides, 1 leucogranit de gra mitjà i 1 pòrfir granític. Totes per a àrids.
Activitats en actiu amb restauració integrada	1	68.051,32	Explota pòrfirs granítics i cornianes amb feldspat potàssic per a àrids.
Activitats englobades en una nova explotació	1	20.790,02	Exploten granodiorites, granits de gra gros i diorites per a roca de construcció.
Activitats finalitzades	1	24.532,86	Explotava sauló
Activitats inactives sense restaurar	10	41.128,91	3 d'elles dedicades a roca ornamental i de la construcció i la resta a àrids.

Taula 11.1.- Resum dels expedients d'activitats extractives de l'àmbit d'estudi. Dades de DMA (2005) i pròpies.



Gràfica 11.1.- Importància relativa per tipus d'explotació, segons el percentatge de l'àrea del perímetre oficial d'explotació, de les activitats extractives de l'àmbit d'estudi. Segons dades pròpies i de DMA (2005).

Pràcticament totes les pedreres existents en l'àmbit d'estudi exploten materials amb destí al sector dels àrids. La situació estratègica, com a zona de pas natural dels vials de comunicació que des de Barcelona es dirigeixen cap a França, confereix un valor afegit a les formacions geològiques aptes per subministrar materials per a l'obra pública, especialment balast per ferrocarril i àrids per als productes betuminosos per a carreteres. Les obres que es preveuen en un futur força immediat, com el tren d'alta velocitat, el desdoblament de l'antiga N-II, les connexions entre l'autopista i la Costa Brava centre o l'ampliació d'alguns dels ports ja existents fan preveure una gran demanda en aquest sector específic. Cal afegir també la pressió urbanística de la zona de Girona i les actuacions en els polígons industrials propers, que també generen una important demanda d'àrids en el sector de la construcció.

11.1.2.- Cartografia de roques industrials

Com hem manifestat anteriorment, hem centrat la nostra recerca en dur a terme una caracterització dels principals recursos geomíniers amb expressió cartogràfica. L'objectiu final, com en la resta de mapes temàtics realitzats, ha estat el de definir unitats caracteritzades per un comportament similar, en aquest cas pel que fa a la qualitat natural dels materials per a un ús com a productes industrials.

El conjunt de treballs realitzats es sintetitzen gràficament en el **Mapa 5.- Àrids i Roques de Construcció**, de l'apartat dels annexes.

La classificació establerta en aquest document deriva de la consideració inicial de l'existència de dues tipologies principals de materials a la zona d'estudi: roques -materials compactes- i formacions superficials -materials no consolidats-. El criteri diferenciador entre

ambdós tipologies ha estat el geomecànic, amb implicacions obvies en el camp de les roques industrials.

a) Àrids

En l'estudi d'aquest tipus de producte industrial hem distingit, seguint els esquemes metodològics clàssics, els àrids naturals granulars i els àrids naturals de trituració. La seva diferència radica en el procés d'extracció. Mentre que en els granulars el material es troba ja disgregat i per tant els processos dominants són els de rentat i classificació per grandària, en els de trituració el material explotat és sotmès a processos de trituració.

En conjunt, el seu ús està centrat en la indústria de la construcció i obres públiques i a efectes pràctics es consideren com a elements inerts en els processos industrials en els que intervenen. La seva aplicació es fonamenta en unes característiques mecàniques determinades que ja posseeix la roca de la que s'extreu l'àrid.

Atenent als sectors principals de consum, carreteres i construcció, creiem que les actuals especificacions que es defineixen en les diverses normes de qualitat es poden agrupar de la següent manera:

- a) relacionades amb les característiques de la roca que no poden ser millorades en la planta de producció de l'àrid
- b) especificacions relacionades amb la roca que poden ser millorades en la planta
- c) especificacions típiques del procés de producció

Lògicament, el nostre treball s'ha basat en l'estudi de les propietats naturals del material.

Seguint en gran mesura les recomanacions tècniques proposades per Vázquez & Toral (1985) per l'estudi d'aquest tipus de roques industrials, s'han realitzat proves de resistència mecànica-deformabilitat i determinacions, en base a observacions de camp, de les característiques granulomètriques i de rentat. En el cas del materials potencialment aptes com a àrids de trituració ens hem centrat, lògicament, en l'estudi de la seva qualitat mecànica, ja que aquelles propietats relacionades amb el tamany i forma de l'àrid, així com el contingut en fins, dependrà del tipus de tractament que es realitzi en la planta d'extracció.

L'estimació d'aquest paràmetre l'hem realitzat mitjançant la utilització de l'escleròmetre tipus Martell d'Schmidt. Aquest aparell, ideat en principi per estimar la resistència a la compressió simple del formigó, permet la realització de nombroses determinacions in-situ per el seu fàcil maneig i transport. A més, es pot aplicar tant a la matriu rocosa com a les parets d'una

discontinuitat. L'assaig mesura la resistència al rebot de la superfície de la roca. Aquesta mesura es correlaciona amb la resistència a la compressió simple mitjançant el gràfic de Miller (1965) (Figura 11.1) que contempla la densitat de la roca i l'orientació del martell respecte el pla assajat.

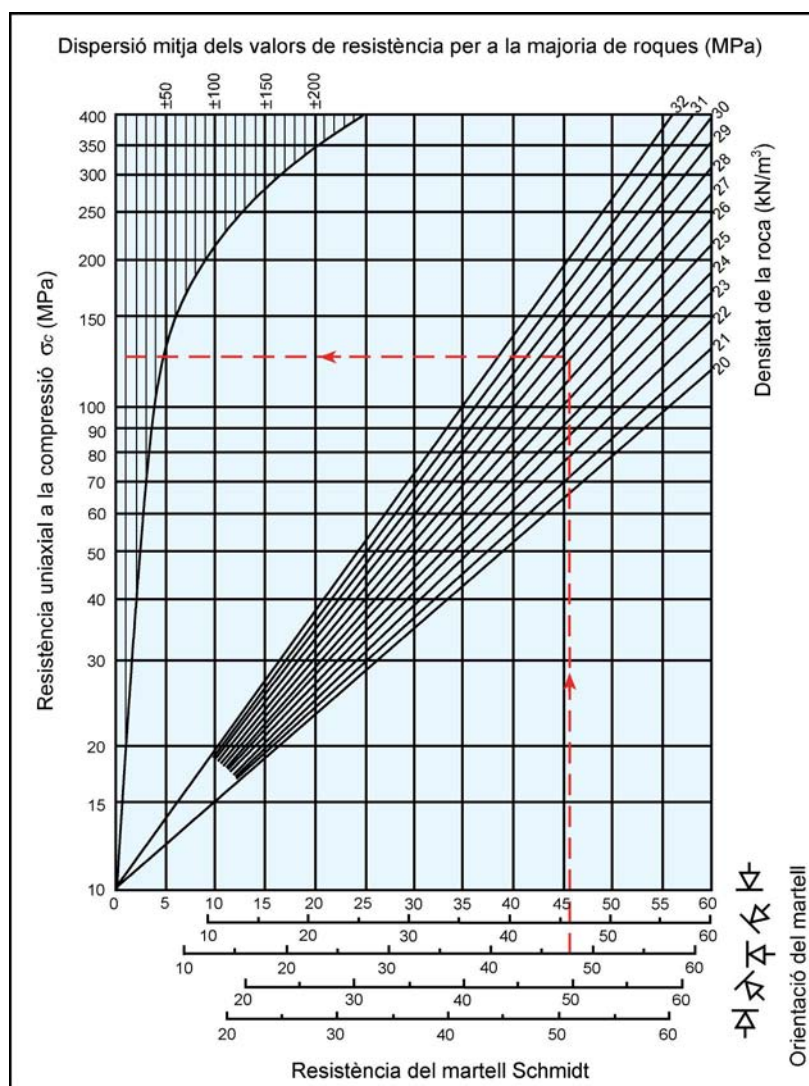


Figura 11.1.- Gràfic de Miller. Correlació entre el resultat del martell d'Schmidt i la resistència a la compressió simple. Segons González de Vallejo et al. (2002)

Per l'ús a camp s'han seguit les orientacions proposades per Day & Goudie (1977), González de Vallejo et al. (2002) i Ericson (2004).

Per a cada massís rocós concret s'han assajat diferents punts per tal de tenir en compte variacions laterals degudes a la presència de diaclassat, alteració recent o possibles factures no detectades en el moment de fer les mesures. Cada un d'aquests punts s'han ordenat de major a menor i d'aquí s'han extret els límits màxims i mínims de cada massís rocós i alhora de cada tipus d'unitat litològica (taula 11.2).

Llegenda	DESCRIPTOR	Densitat (g/cm ³)	RCS_Màx (MPa)	RCS_Mín (MPa)
A α mi	Cornianes micàcies i quiasolítiques de l'Ardenya	2,72	107	23
A α cs	Cornianes calcosilicatades	2,72	104	90
A γ lg	Granits leucocràtics de gra gros	2,63	220	34
A γ lm	Granits leucocràtics de gra mitjà	2,63	180	73
A γ lf	Granits leucocràtics de gra fi	2,63	180	80
A γ bm	Granits leucocràtics de gra fi de Castell d'Aro	2,63	170	108
A γ gb	Granodiorites i granits biotítics	2,71	300	90
A γ gm	Granodiorites amb megacristalls	2,71	150	116
A γ po	Pòrfirs àcids	2,70	235	215
A γ sa	Granitoides alterats	2,63	22	15
A β nq	Basalts del neogen i del quaternari	2,86	69	69
q	Filons de quars	2,77	380	375

Taula 11.2.- Valors màxim i mínim de la resistència a la compressió simple (MPa) mesurats amb el martell d'Schmidt dels grans grups de formacions rocoses aptes per explotar com a àrids naturals de trituració. Valors mitjans de densitats aparents segons Sanger & Glen (2003) i mesures pròpies.

La qualitat natural d'aquells materials potencialment aptes com a àrids naturals granulars s'ha estimat en base a observacions de camp en relació a les característiques granulomètriques i de rentat, tal i com hem indicat anteriorment.

Així doncs, en base al conjunt de la informació disponible (estudis geomecànics i a les mesures i observacions anteriorment descrites) hem establert les tipologies d'àrids que a continuació es descriuen. Les descripcions petrològiques s'han basat en el treball de Roqué et al. (2001) i observacions pròpies.

a.1) Àrids naturals de trituració

Com a materials susceptibles d'aprofitament com a àrids naturals de trituració hem distingit els següents grups prenent com a referència la propietat de la resistència a la compressió simple (MPa). Com es podrà veure a continuació, de cada gran tipologia litològica es presenten valors màxims i mínim. De totes maneres caldria precisar que ha estat el valor més gran el considerat a l'hora de classificar-los en un grup o altre. El motiu ve donat perquè el valor mínim en alguns casos podria ser per la lleugera meteorització del talús triat.

A més, per a cadascuna de les pedreres visitades per a la caracterització dels massissos rocosos s'ha realitzat una fitxa descriptiva, les quals es presenten a l'apartat dels annexes. Tan sols se n'ha presentat una dins el text a mode d'exemple (Figura 11.2).

Tipus 1.- Resistències de molt altes a altes (>350 MPa)

Comprenen la següent associació litològica:

- **Filons de quars (q)**

En tota l'àrea d'estudi els filons de quars es troben travessant els massissos de granitoides però en aquesta categoria només s'han considerat i cartografiat els de major entitat en quant a gruix aflorant. Pel que fa a la resistència a la compressió simple dona valors compresos entre 380 i 375 MPa i ocupen una extensió d'uns 0,52 km².

Es tracta del filó que travessa la conca de Lloret fins a la riera de Tossa, a l'alçada del càmping de can Samada, en direcció SW-NE, i per altra banda el situat a la capçalera del Ridaura, en direcció NW-SE, que passa pel puig de Sant Baldiri i pels termes municipals de Llagostera, Santa Cristina i Sant Feliu de Guíxols. Aquests dos grans filons afloren presentant dimensions mètriques.

Tipus 2.- Resistències d'altes a mitjanes (de 250 a 150 MPa)

Aquesta categoria, la més gran en quant a extensió i tipologia de categories litològiques, comprèn bàsicament l'associació de tots els granitoides inalterats. Amb aquesta denominació es contempen les roques plutòniques àcides del Paleozoic (granits, granodiorites i tonalites), així com els pòrfirs àcids que constitueixen stocks i dics de dimensions explotables. En el context geològic del nostre àmbit d'estudi es localitzen en les tres unitats muntanyoses que conformen l'extrem septentrional de la serralada litoral catalana: massissos de l'Ardenya, de les Gavarres.

- **Granits leucocràtics de gra gros (A₁lg)**

Es tracta de granits leucocràtics de mida de gra gros. Són roques de color rosat, més o menys ocre per la presència d'òxids de ferro, holocristal·lins, generalment equigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, feldspat potàssic i plagiòclasi (albita i oligòclasi). Contenen biotita parcialment clorititzada, així com zircó i moscovita accessòries.

El grau de fracturació és variable, però sovint és intens, a escala decimètrica. Els afloraments considerats dins aquesta unitat es presenten poc meteoritzats a nivell superficial, constituint prominències rocalloses. Les zones meteoritzades han estat incloses en la unitat de Granitoides alterats (A_{ysa}). En quant a la resistència a la compressió simple els valors es troben compresos entre 220 i 34 MPa i ocupen una extensió d'uns 29,54 km². (vegeu la figura 11.2 a mode d'exemple i les fitxes tècniques de l'apartat dels annexes)

De les explotacions visitades n'hi ha dues d'actives a Tossa de Mar, que aprofiten aquestes roques junt amb els dics de pòrfirs àcids que les travessen, i l'explotació inactiva de la rodalia de Sant Feliu de Guíxols.



ACTIVITATS EXTRACTIVES		Referència: SE-Aylg-2	
	Comarca: Selva Població: Tossa de Mar Toponímia: Torrent de Mormolor Coordenades: 49070 / 462365 Propietari/empresa:		
	Tipus d'explotació: Pedrera	Nom: pedrera d'en Taverner	Funcionament: Activa
Orografia: vessant abrupte		Comunicacions: camí condicionat.	
Alçada aprox. front: 50 m Amplada aprox. front: 100 m		Arrencada: perforació - voladura	
Ús del material: àrids		Blocs màxims: 1 m ³ Blocs mitjans: 0,02 m ³	
Material aprofitat: leucogranits de mida de gra grossa		Nom comercial:	
Disposició: massiva		Discontinuitats: diàclasis denses (espaïat 0,2 a 0,5 m)	
Recobriment: inexistent		Alteració: superficial poc intensa	
Característiques petrològiques Roca ígnia plutònica de gra gros, holocristal·lina, inequigranular, composta essencialment per quars, feldspat potàssic i plagiòclasi (albita i oligòclasi). Conté biotita clorititzada, així com moscovita i apatita accessòries. Algunes diàclasis són reblertes de calcita i de fluorita.		Color: rosat, marronós per presència òxids de ferro. Oxidacions: òxids de ferro i de manganès en els plans de diàclasis. Reserves: grans	
La massa de leucogranits és travessada per diversos dics decamètrics de pòrfirs àcids, que també s'aprofiten.		Observacions: explotació situada dins el PEIN del Massís de les Cadiretes	
Assaigs Pes específic: 2,55 gr/cm ³ Composició en òxids*: SiO ₂ : 77,42% Al ₂ O ₃ : 13,66% Fe ₂ O ₃ : 0,35% MgO: 0,09% CaO: 0,59% Na ₂ O: 3,53% K ₂ O: 4,06%			
RCS Màx (MPa): 220 RCS Mín (MPa): 34			
* IGME (1983): mapa geològic hoja 366. Sant Feliu de Guíxols.			

Figura 11.2.- Exemple de fitxa tècnica. Pedrera visitada dins la categoria del granits leucocràtics de gra gros

– **Granits leucocràtics de gra mitjà (A γ lm)**

Es tracta de granits leucocràtics de mida de gra mitjana. Són roques de color rosat vermellós o groguenc, més o menys ocres per la presència d'òxids de ferro, holocristal·lines, inequigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, feldspat potàssic i plagiòclasi (oligòclasi). Contenen biotita parcialment clorititzada, així com zircó, apatita, magnetita, granats i moscovita.

El grau de fracturació és variable, però sovint és intens, a escala decimètrica. Els afloraments considerats dins aquesta unitat es presenten poc meteoritzats a nivell superficial, constituint prominències rocalloses i zones de boles. Les zones més meteoritzades han estat incloses en la unitat de Granitoides alterats (A γ sa). En quant a la resistència a la compressió simple els valors es troben compresos entre 180 i 73 MPa i ocupen una extensió d'uns 19 km² (vegeu les fitxes tècniques de l'apartat dels annexes).

Aquesta unitat aflora al massís de l'Ardenya i al Massís de les Cadiretes, en la seva major part dins del PEIN del Massís de les Cadiretes.

– **Granits leucocràtics de gra fi (A γ lf)**

Es tracta de granits leucocràtics de mida de gra fina. Són roques de color groguenc o rosat, més o menys ocres per la presència d'òxids de ferro, holocristal·lines, inequigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, feldspat potàssic i plagiòclasi (albita i oligòclasi). Contenen biotita parcialment clorititzada, així com moscovita accessòria.

El grau de fracturació és sempre intens, a escala decimètrica i centimètrica. Els afloraments considerats dins aquesta unitat es presenten poc meteoritzats a nivell superficial, constituint prominències rocalloses de certa entitat. Els valors a la resistència a la compressió simple assajats es troben compresos entre 180 i 80 MPa i ocupen una extensió d'uns 13,67 km² (vegeu les fitxes tècniques de l'apartat dels annexes).

Dins l'àmbit estudiat es localitza bàsicament al massís de l'Ardenya i al Massís de Cadiretes. Hi ha diversos aprofitaments inactius, al límit del PEIN del Massís de les Cadiretes, els quals es troben dins el terme municipal de Tossa de Mar i que han estat visitats per a l'estudi de llur comportament geomecànic.

– **Granits leucocràtics de gra fi de Castell d'Aro (Aγbm)**

Es tracta de granits leucocràtics de mida de gra fina a mitjana. Són roques de color rosat o ataronjat, més o menys intens, holocristal·lines, generalment inequigranulars, que com a minerals essencials contenen quars, feldspat potàssic (microclina) i plagiòclasi (oligòclasi). Presenten moscovita i biotita accessòries, aquesta darrera parcialment clorititzada, així com apatita. Localment s'observa una orientació preferent de les miques.

El grau de fracturació és variable, però sovint és intens, a escala decimètrica. Es presenten molt poc meteoritzats a nivell superficial. En quant a la resistència a la compressió simple presenta valors assajats compresos entre 170 i 108 MPa i ocupen una extensió d'uns 10,08 km² (vegeu les fitxes tècniques de l'apartat dels annexes).

Afloreu als vessants meridionals del massís de les Gavarres, al nord de Castell d'Aro, parcialment inclosa dins el PEIN de les Gavarres. Hi ha diverses pedreres inactives que aprofitaven aquests materials, les quals han estat visitades per a l'estudi de les seves característiques.

– **Granodiorites i granits biotítics (Aγgb)**

Es tracta de granodiorites i de granits de mida de gra gros a mitjà, localment amb megacristalls de feldspat potàssic. Són roques de color gris fosc, holocristal·lines, generalment equigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, plagiòclasi (oligòclasi i andesina), feldspat potàssic (ortosa i/o microclina) i biotita. Contenen zircó, apatita, clorita, moscovita, epidot i opacs com a minerals secundaris i accessoris més freqüents. Solen contenir molts enclavaments microquarsdiorítics de color fosc, de mida d'ordre centimètric i de formes arrodonides o el·lipsoïdals.

El grau de fracturació és variable. En els afloraments amb espaiats de diàclasi d'ordre mètric apareixen inalterades i donen zones de boles. Les àrees més fracturades es troben fortament alterades, amb gruixos de sauló que superen els 50 m a les Guillerries, i han estat incloses en la unitat de Granitoides alterats (Aγsa). En quant a la resistència a la compressió simple els valors es troben compresos entre 300 i 90 MPa i ocupen una extensió d'uns 11,78 km² (vegeu les fitxes tècniques de l'apartat dels annexes).

Afloreu localment al llarg de la costa de la serralada de la Selva Marítima, dins la Zona Marítimoterrestre i en diversos indrets de les Gavarres. S'ha estudiat una pedrera activa que explota aquestes roques, al municipi de Mont-ras.

– **Granodiorites amb megacristalls (A_γgm)**

Es tracta de granodiorites de mida de gra gros a mitjà, porfíriques per la presència de cristalls de microclina de fins a 8 cm de llargada. Són roques de color gris fosc, holocristal·lines, generalment inequigranulars, que com a minerals essencials presenten quars, plagiòclasi (oligòclasi i andesina), feldspat potàssic (generalment microclina) i biotita. Contenen moscovita, turmalina, apatit, zircó i epidot com a minerals accessoris més habituals. Solen tenir clorita secundària derivada de l'alteració de la biotita, així com un xic d'hematites. Contenen molts enclavaments microquarsdiorítics de color fosc, de mida d'ordre centimètric i de formes arrodonides o el·lipsoïdals.

El grau de fracturació és variable. En els afloraments amb espaiats de diàclasis d'ordre mètric apareixen inalterades, i donen doms, prominències rocalloses i zones de boles. Les àrees més fracturades es troben fortament arenitzades i han estat incloses en la unitat de Granitoides alterats (A_γsa). Pel que fa a la resistència a la compressió simple presenten valors compresos entre 150 i 116 MPa i ocupen una extensió d'uns 3,57 km² (vegeu les fitxes tècniques de l'apartat dels annexes).

Aquestes roques afloren localment al massís de les Gavarres, dos d'ells situats quasi íntegrament dins el PEIN de les Gavarres, i el tercer aflorament es troba dins una zona urbanitzada de Santa Cristina d'Aro. Al massís de l'Ardenya només es localitzen al camí de Ronda de s'Agaró, i de forma també molt testimonial a la costa rocallorsa del municipi de Palamós.

– **Pòrfirs àcids (A_γpo)**

En aquesta categoria s'han inclòs les roques porfíriques inalterades de composició àcida. Són roques de color gris clar que poden arribar a tenir tonalitats rosades o vermelloses. Es tracta majoritàriament de pòrfirs granítics i granodiorítics, així com de microgranits, granòfirs i felsites. Presenten una textura porfírica molt marcada, en la qual, sobre una pasta de color gris clar o rosada, destaquen uns fenocristalls, que tendeixen a ser idiomòrfics, de quars, ortosa, plagiòclasi, biotita i, a vegades, hornblenda. La matriu és formada per un intercreixement isòtrop, al·lotriomòrfic de quars i feldspat potàssic, generalment a parts iguals. En alguns casos s'hi observen textures granofíriques o microgràfiques. Sol presentar quantitats variables de biotita, sovint transformada en clorita i diversos minerals accessoris, entre ells apatita, moscovita, epidot, esfèn i opacs. Cal assenyalar que poden haver-hi variacions fortes de la textura dins un mateix dic, sobretot a les vores amb la roca encaixant on, a causa del ràpid refredament de la massa intrusiva, es formen faixes de pòrfirs felsítics.

En general el grau de fracturació d'aquestes roques és molt elevat. En quant a la resistència a la compressió simple presenten valors compresos entre 235 i 215 MPa i ocupen una extensió d'uns 6,30 km² (vegeu les fitxes tècniques de l'apartat dels annexes).

S'han considerat només els pòrfirs que apareixen en forma de discs o de petits stocks de dimensions explotables. En general es disposen en forma de discs subverticals d'entre 10 i 25 m de gruix, de traçat rectilini i amb una direcció preferent est-nord-est/oest-sud-oest. Cal tenir en compte que la principal limitació a què es veu subjecte l'explotació d'aquests materials ve determinada per les condicions d'aflorament dels discs, ja que conformen faixes rocalloses tabulars subverticals amb un gruix mitjà d'uns 12 m i una extensió lateral que pot superar el quilòmetre. Això dificulta l'explotació en profunditat, ja que el volum de material de rebuig que cal llevar és cada vegada més gran, i les pedreres han de tendir a eixamplar-se longitudinalment, fet que n'augmenta l'impacte paisatgístic. Localment és possible complementar l'explotació dels discs de pòfir amb la de les roques encaixants, però aleshores augmenta la heterogeneïtat del material i, sovint, l'aplicació es veu dràsticament restringida.

Els discs de pòrfirs afloren en nombrosos indrets dels massissos de les Gavarres i de l'Ardenya. A banda d'aquests, cal fer constar la presència de tres stocks de microgranits porfírics a la serralada de la Selva Marítima, situats als termes municipals de Tossa i de Lloret, el major dels quals assoleix uns 3 km de llargada per 1,5 km d'amplada. En el nostre àmbit d'estudi hi ha nombroses pedreres que aprofiten o han aprofitat aquests materials en el camp dels àrids.

Tipus 3.- Resistències baixes (de 125 a 100 MPa)

Comprèn bàsicament l'associació litològica que sol rebre el nom de cornubianites. Són roques cornianes desenvolupades pel metamorfisme de contacte d'alt grau associat a l'emplaçament dels granitoides postectònics hercinians de les serralades litorals (massissos de les Gavarres i de l'Ardenya) i prelitoral (massís de les Guilleries). En conjunt constitueixen una unitat heterolítica que comprèn, com a varietats més habituals, cornianes micàcies, cornianes micàcies-quarsítiques, cornianes quarsifeldspàtiques i cornianes calcosilicatades. En l'àmbit d'estudi afloren exclusivament als terrenys paleozoics de la serralada Litoral, concretament als massissos de Begur, de les Gavarres i de l'Ardenya.

– Cornianes micàcies i quiasolítiques de l'Ardenya (A_αmi)

És una unitat molt heterolítica, fins i tot a escala mètrica, que deriva del metamorfisme de contacte dels metasediments silícis paleozoics del massís de l'Ardenya; per aquesta raó es

localitza al voltant de les masses de granitoides. En general són roques de color negre, d'aspecte massiu, amb textura granoblàstica, que com a minerals essencials contenen quars i biotita, més o menys clorititzada, i moscovita, així com andalusita (sovint la varietat quiastolita, que apareix en forma de cristalls de fins a 2 cm de llargada) i cordierita, en general reemplaçades per sericita. Com a minerals accessoris solen tenir rútil i opacs. S'hi reconeixen estructures relictas, com bandats composicionals i plecs a petita escala. Habitualment aquestes roques afloren acompanyades de filonets de quars, d'aplitita i de leucogranits de pocs centímetres de gruix, així com de masses de granitoides de dimensions variables.

El grau de fracturació sol ser intens, a escala decimètrica. En general es presenten meteoritzades a nivell superficial. En quant a la resistència a la compressió simple presenten valors compresos entre 107 i 23 MPa i ocupen una extensió d'uns 18,15 km² (vegeu les fitxes tècniques de l'apartat dels annexes).

Es localitzen al massís de l'Ardenya, en un extens aflorament repartit entre els termes municipals de Tossa de Mar, Caldes de Malavella i Vidreres. Queda parcialment inclòs dins del PEIN del Massís de Cadiretes. No hi ha constància de cap explotació que hagi aprofitat aquests materials. En qualsevol cas, l'heterogeneïtat composicional, l'alteració superficial moderada i la presència de nombroses masses granítiques alterades al seu si les fan poc interessants des del punt de vista del seu ús en el camp dels àrids, i normalment s'utilitzen per fer rebliments o subbases.

– **Cornianes calcosilicatades (Aαcs)**

És una unitat heterolítica, fins i tot a escala mètrica, que deriva dels metasediments carbonatats del Paleozoic. Com la unitat anterior, se situa en la zona més interna de l'aurèola de metamorfisme de contacte desenvolupada al voltant de les masses de granitoides. En general són roques de color verdós o marró, amb bandats molt marcats que reflecteixen una composició molt variable. S'hi reconeixen nivells decimètrics de granatites i de diopsidites amb intercalacions puntuals de marbres. Sovint apareixen afectats per plecs a petita i mitjana escala.

El grau de fracturació és variable, però sovint és intens, a escala decimètrica. El grau d'alteració és baix. Al massís de Begur s'hi associen mineralitzacions d'òxids de ferro (magnetita) que van arribar a ser explotades. Pel que fa als valors de la resistència a la compressió simple es troben compresos entre 104 i 90 MPa i ocupen una extensió d'uns 1,66 km².

Es localitzen als massissos de les Gavarres i de Begur. En el primer afloren al voltant del puig Cucalà, al terme municipal de Mont-ras, íntegrament situades dins el PEIN de les Gavarres. No es coneix cap pedrera que hagi aprofitat aquestes litologies. Al massís de Begur es localitzen al puig de Montcal (Begur)(fora del nostre àmbit d'estudi) i al cap Gros (Palamós). La primera àrea es troba dins el PEIN de les Muntanyes de Begur, mentre que la segona està voltada d'urbanitzacions i, en bona part, dins la Zona Marítimoterrestre. No hi ha cap pedrera que aprofiti aquests materials.

Tipus 4.- Resistències molt baixes (<75 MPa)

Comprenen la següent associació litològica:

- **Basalts del neogen i del quaternari (Aβnq)**

Amb aquesta denominació s'han agrupat les roques volcàniques massives relacionades amb les manifestacions eruptives esdevingudes al llarg del Neogen i del Quaternari, les quals han estat agrupades sota una única unitat. Es tracta de restes de colades de lava i de xemeneies volcàniques desmantellades. Els basalts que les constitueixen són massius, lleugerament vacuolars i afectats en grau variable per un procés d'alteració superficial. La presència de nombroses discontinuïtats, majoritàriament plans de retracció en lloses i en prismes, afavoreix la disgregació mecànica d'aquestes roques, que normalment s'alliberen mitjançant arrencada directa. Pel que fa als valors de la resistència a la compressió simple són inferiors als 70 MPa i ocupen una petita extensió de tan sols 6 hectàrees.

En l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi es tracta d'afloraments de dimensions reduïdes i dispersos que apareixen al llarg de les falles que creuen la serralada litoral. Aquests es localitzen a la capçalera del Ridaura i a la urbanització de Santa Maria de Llorell del terme municipal de Tossa de Mar.

a.2) Àrids naturals granulars

Com a materials susceptibles d'aprofitament com a àrids naturals granulars hem distingit els següents grups:

- Àrees que contenen sediments amb una bona qualitat natural constatada, que corresponen a materials que potencialment poden arribar a ser explotats, dels que es distingeix:

Tipus 1: Àrees sense recobriment i amb material amb un molt baix contingut en fins.

Formen part d'aquesta categoria les lleres actuals de les principals rieres estudiades, constituïdes fonamentalment per graves i sorres.

Tipus 2: Àrees amb poc recobriment i amb material amb un molt baix contingut en fins i amb presència de sals.

Aquesta tipologia correspon als dipòsits de platja actuals i subactuals i els dipòsits eòlics litorals; constituïts principalment per sorres, sorres mitjanes i graves.

Tipus 3: Àrees amb recobriment (≤ 1 m) i amb material amb un contingut en fins mitjà-alt.

Format per dipòsits actuals i subactuals dels torrents, dipòsits al·luvials de la plana d'inundació, dipòsits al·luvials aterratsats i granitoides alterats (sauló). Estan constituïts fonamentalment per graves i sorres amb llims i argiles a la part superior.

- Àrees que contenen sediments amb qualitat natural poc coneguda (a priori desfavorable). En aquestes àrees caldria dur a terme una recerca detallada per avaluar amb cert rigor aquesta tipologia de terrenys (campanya amb sondatges de reconeixement i/o cales amb els corresponents assaigs granulomètrics). A priori, les dades geològiques disponibles fan preveure una qualitat deficient a la majoria dels sectors inclosos en aquest tipus:

Tipus 4: Àrees amb recobriment (≥ 1 m) o amb presència de fins a la matriu.

Aquesta última tipologia correspon als dipòsits al·luvials i col·luvials, dipòsits de ventalls al·luvials i els dipòsits col·luvials sobre roques plutòniques; constituïts per blocs, graves i sorres amb abundant presència de llims i argiles a la matriu.

b) Roques de construcció

Entenent com a roques de construcció aquells materials susceptibles a ser tallats i de tractament industrial com a blocs, abracen una molt diversa aplicabilitat. Habitualment es distingeixen dues associacions principals: les pedres de construcció i les roques ornamentals. La característica distintiva principal rau en el procés de polir que aquestes últimes han de sotmetre's, ja que la seva utilització primordial es basa en el seu valor estètic, sense oblidar les característiques mecàniques igualment importants. (Muñoz et al., 1989).

En conjunt i atenent exclusivament a la qualitat natural dels materials, hem valorat el potencial existent en la nostra àrea de treball en base a l'anàlisi de tres factors condicionants: el tamany mitjà de bloc extraïble, la resistència mecànica i la tolerància a ser polit. Entenem que aquests factors ens proporcionen un grau suficient de coneixement del potencial existent de roques de construcció en el nostre àmbit d'estudi.

Com és sabut, el tamany mitjà de bloc extraïble, o grau de fracturació del jaciment, és un dels factors condicionants més importants de l'explotabilitat. De la densitat i l'espaiat del conjunt de discontinuïtats presents en el material dependrà que es puguin extreure o no blocs de grandària comercial. Així, en el cas de les roques ornamentals i de forma general, Muñoz et al. (1989) estimen que, com a mínim, el número de discontinuïtats per unitat de volum ha de ser inferior a 2,2; valors superiors es consideren no comercials. Habitualment per a aquest tipus de producte es consideren explotables roques en les quals es sobreposen dues famílies de diàclasis subperpendiculars: una d'elles d'espaiat moderat (1 - 2,5 m) i l'altra d'espaiat ampli, com a mínim d'entre 2,5 i 6,25 m.

El tamany mitjà del bloc extraïble ha sigut valorat en base a mesures de camp i, lògicament, és un valor orientatiu de les unitats litològiques investigades.

Per a l'estimació de la resistència mecànica ens hem basat en els valors obtinguts en l'estudi dels àrids de trituració. Si admeten o no ser polits, característiques indispensables per ús com a roca ornamental, s'han valorat en base fonamentalment a les característiques litologicotexturals del material.

D'aquesta forma, centrant-nos en aquelles unitats cartogràfiques comparables a un comportament geomecànic de tipus roca dura-mitja prèviament diferenciat en el corresponent anàlisi realitzat en els àrids de trituració hem establert la següent tipologia:

Tipus 1.- Roca de construcció. Massís rocós mitjanament fracturat. L'espaiat entre discontinuïtats és de 0,2 a 1 m.

El fet que aquesta tipologia de roca tingui un ús bàsicament estètic, a banda de les propietats mecàniques i estructurals que la faran o no apte per ser explotada com a roca de construcció, el color pot esdevenir una propietat important. En aquest sentit, cartogràficament no s'ha diferenciat. De totes maneres aquesta categoria comprèn diferents tipus de granitoides: granits de gra mitjà i granits biotítics (de color rosat) i granodiorites amb megacristalls i granodiorites (color grisós fosc).

11.2.- Conflictes d'usos. Establiment de marcs tècnics de referència

11.2.1.- La problemàtica ambiental

A mesura que les àrees urbanes es van modificant, ja sigui expandint-se, reestructurant-se o rehabilitant-se, molts recursos locals s'han anat fent inaccessibles, ja sigui per l'esgotament o per l'ocupació d'aquestes zones potencialment explotables. Altres usos del sòl han esdevingut més competitiu i de valor més alt que els recursos geomíniers. De totes maneres aquests últims continuen inevitablement essent imprescindibles.

En aquests últims anys hi ha hagut en el nostre país una sensibilitat cada cop major per a la protecció del nostre entorn. Aquesta planificació territorial ha de tenir en compte el major nombre de vectors econòmics, socials i ambientals possibles. Els recursos geomíniers no n'han d'ésser l'excepció. Els polítics i responsables d'aquesta planificació, si no els tenen en compte, poden impossibilitar l'extracció d'ulteriors recursos fent-los inaccessibles. Si aquests recursos, clarament necessaris per al desenvolupament de l'activitat humana, han de romandre econòmicament disponibles, cal crear la major informació possible sobre aquests en relació amb el seu entorn per a la presa de decisions sobre el futur dels usos del sòl del territori. Sovint el creixement urbà es desenvolupa sense la consideració d'aquests recursos ni l'anàlisi de l'impacte de la seva pèrdua. La vella idea que els recursos geomíniers poden ser trobats arreu és fals.

Un recurs, com pot ser l'àrid natural, de trituració o roca ornamental, per tal que sigui econòmicament disponible cal que s'hagi reservat la possibilitat d'extreure'l i que estigui suficientment a prop de l'obra o de la planta de tractament final. El valor d'aquests recursos, tret de la roca ornamental, és relativament baix (de 4,4 a 6,2 €/tona), mentre que la despesa

de llur transport és molt alt, fins al punt que en molts casos en sigui el factor limitant. Els costos de transport arriben a encarir aquest preus en 0,1 €/km aproximadament. En aquest sentit, una font de recursos geominers serà tan més valuosa com més a prop de la demanda estigui. No només valuosa pel fet de consumir menys carburant, preus del qual estan en alça constant, sinó també per la menor emissió de gasos i la menor exposició a accidents, entre d'altres. Aquest factor provoca que les explotacions siguin disperses i, per tant, petites, per tal de poder-se apropar al lloc de consum.

Tal com es diu en Knepper (2000) un dels objectius de les activitats mineres és proveir a la indústria, a responsables de la presa de decisions i al públic en general, informació d'aquests recursos necessària per efectuar determinacions fonamentades sobre l'accessibilitat d'aquests. Això inclou informació sobre la seva localització, potència i qualitat del recurs.

A l'entorn d'aquests conflictes d'ús, al llarg d'aquests darrers anys ha sorgit una problemàtica en la regió sobre la compatibilitat entre recursos hídrics i geominers. Aquesta problemàtica s'ha centrat en el cas dels aquífers al·luvials.

La protecció dels aquífers requereix la implantació de criteris, regulats i ordenats de les activitats que es desenvolupen en el territori, que siguin coherents amb les característiques del medi físic i respectuosos i compatibles amb l'ús dels seus recursos.

En el cas de l'àrea ocupada per les formacions superficials associades a les rieres de la Costa Brava, en l'àmbit hidrogeològic comprès per les conques hidrogràfiques de les rieres de l'Aubi, Calonge, Ridaura, Tossa i Lloret, la naturalesa lliure de l'aquífer fa necessari l'establiment d'un marc tècnic i normatiu per a la protecció dels sistemes hídrics, superficials i subterranis.

11.2.2.- Marc de gestió. L'exemple del Ridaura

Amb l'objectiu de dotar aquestes territoris i regions properes d'un marc tècnic i normatiu que fes compatible les extraccions mineres i la conservació i explotació dels recursos hídrics, es va dissenyar una metodologia de treball per l'elaboració de documents cartogràfics que contribueixin a la planificació i ordenació d'aquestes activitats. Aquests esquemes metodològics van ser desenvolupats al llarg de diversos projectes realitzats per l'Agència Catalana de l'Aigua i l'Àrea de Geodinàmica Externa de la Universitat de Girona (ACA-UdG, 2001 i 2002).

A títol exemplificador, a la nostra zona de treball hem aplicat aquests procediments cartogràfics, al cas del Ridaura.

Han estat elaborades les següents cartografies temàtiques i sintètiques derivades consultables amb el projecte SIG Costa Brava.

a) Cartografies temàtiques

El conjunt de mapes elaborats es presenta en la taula adjunta (Taula 11.3)

	Mapa 1. Formacions geològiques quaternàries
	Mapa 2. Àmbit Territorial abarcat per l'aqüífer quaternari
Relatives a variables geològiques, hidrogeològiques i hidrològiques	Mapa 3. Inventari de punts d'aigua
	Mapa 4. Situació piezomètrica
	Mapa 5. Xarxa hidrogràfica i de canals artificials
	Mapa 6. Zones inundables en situacions hidrològiques de mitjana intensitat (T=100 anys)
	Mapa 7. Zones de protecció per a pous d'abastament municipal, ponts i obres d'infraestructures fluvials
	Mapa 8. Sistemes costaners litorals
Relatives a roques industrials	Mapa 9. Àrees potencialment explotables com a àrids naturals
Relatives a variables d'altres àmbits	Mapa 10. Àrees qualificades com a sòl urbà i/o apte per urbanitzar, i sòl no urbanitzable

Taula 11.3.- Resum de les variables de base emprades per a l'anàlisi dels àrids naturals granulars

Mapa 1. Formacions geològiques quaternàries associades a la conca hidrogràfica

Ha estat delimitat cartogràficament el conjunt de formacions superficials (dipòsits quaternaris) aflorants en l'àmbit territorial considerat en aquest treball. Han estat consultades les dades cartogràfiques aportades, a escales diverses, en els mapes del IGME (1983c), Pallí (1980) i Pallí (1985).

Mapa 2. Àmbit territorial comprès per l'aqüífer quaternari de la riera del Ridaura considerat en aquest estudi

Les unitats hidrogeològiques constituïdes pels dipòsits al·luvials de les rieres i per les formacions superficials de vessants (al·luviocol·luvials) s'ha determinat cartogràficament a partir de la informació geològica continguda en el mapa de formacions geològiques

quaternàries i les dades piezomètriques obtingudes a la zona d'estudi i la informació hidrogeològica existent en els antecedents bibliogràfics.

Mapa 3. Inventari de punts d'aigua

Es presenten les dades aconseguïdes relatives a pous de captació d'aigües subterrànies. En total, per la conca del Ridaura, s'han inventariat 225 punts. D'aquests, 24 corresponen a dades inventariades per l'Agència Catalana de l'Aigua, 6 corresponents a punts d'aigua de l'ACA i validades per nosaltres i, la resta, 195 corresponen a nous punts d'aigua reconeguts en aquesta tesi.

Mapa 4. Situació piezomètrica corresponent al període juny-juliol de 2002

Les mesures realitzades en les campanyes de camp efectuades durant el mes de juny i juliol de 2002, han permès establir la dinàmica del flux subterrani i les profunditats del nivell freàtic corresponent al període indicat.

Mapa 5. Xarxa hidrogràfica

La xarxa hidrogràfica està directament relacionada amb el manteniment dels sistemes hídrics superficials i subterranis de la zona. Per altra banda, i des del punt de vista de l'extracció d'àrids, els principals cursos superficials constitueixen àrees molt favorables per a la implantació de projectes d'extracció. És per aquests dos motius que s'ha considerat convenient incorporar la seva representació en la cartografia de referència. Per aquests elements hidrològics s'estableixen zones de protecció de 10 m, que en el cas dels cursos fluvials es desenvolupen en el domini de ribera.

Mapa 6. Zones inundables en situacions hidrològiques de mitjana intensitat

Han estat delimitades cartogràficament les àrees que es veurien afectades per a una precipitació amb una intensitat equivalent a un període de retorn de 100 anys.

Mapa 7. Zones de protecció per a pous d'abastament municipal, ponts i obres d'infraestructures fluvials

En el conjunt de mapes temàtics també s'ha incorporat la delimitació cartogràfica dels perímetres de protecció de les captacions d'abastament municipal, ponts i obres d'infraestructures fluvials de l'àrea d'estudi.

Per a la delimitació dels perímetres de protecció s'ha considerat convenient adoptar una distància de 250 m de radi al voltant de la captació. Aquesta distància podria correspondre a un rang de protecció de la Zona II establert per diferents normatives en altres països.

En el cas dels ponts, viaductes i obres d'infraestructura fluvial que travessen o afecten els principals rius de l'àrea d'estudi s'han considerat zones de protecció de 25 m de distància aigües amunt i avall del punt considerat..

Mapa 8. Zones humides, àrees endorrèiques interiors i sistemes costaners litorals

En concordància amb la Llei 12/1985, d'espais naturals, en aquest estudi es considera zona humida aquella unitat ecosistèmica funcional que presenta en l'espai i el temps una anomalia hídrica positiva respecte del medi adjacent. La confluència de factors topogràfics, geològics i hidrològics fa que aquesta anomalia hídrica afecti i condicioni els processos geoquímics i els processos biològics de l'àrea en qüestió.

Les àrees endorrèiques interiors o antics estanys estan constituïdes per materials detrítics de mida de gra fina, bàsicament llims i argiles, que rebleixen antigues zones humides relacionades amb la dinàmica de formació de planes al·luvials de l'àrea d'estudi. Aquests dos aspectes impliquen, per una banda, que les àrees endorrèiques són àrees poc aptes per l'extracció d'àrids i, per l'altra, que tenen un potencial interès per l'establiment de futurs projectes de recuperació ambiental. Per aquests dos motius s'ha considerat convenient incorporar la delimitació d'aquestes àrees en la realització de la cartografia de referència.

Per últim, formen part dels sistemes costaners litorals les unitats morfodinàmiques de platja, cordó de dunes litoral i maresma. Aquests sistemes, malgrat tenir un interès potencial per a l'extracció d'àrids, pel seu elevat valor ecològic i econòmic (en el sector turístic) s'ha considerat convenient incorporar-los en la cartografia de referència per a un futur aspecte de protecció.

Mapa 9. Àrees potencialment explotables com a àrids naturals

Aquestes àrees s'han delimitat a partir del mapa de formacions geològiques quaternàries. Inclou dues tipologies d'àrees les quals a posteriori han servit per a efectuar l'anàlisi integrada:

- Àrees que contenen sediments amb una bona qualitat natural constatada

Corresponen a materials que potencialment poden arribar a ser explotats dels que se'n distigeixen:

Tipus 1: Àrees sense recobriment i amb material fluvial amb molt baix contingut en fins.

Tipus 2: Àrees amb poc recobriment i amb material fluvial amb molt baix contingut en fins i amb presència de sals.

Tipus 3: Àrees amb recobriment (≤ 1 m) i amb material fluvial amb contingut en fins mitjà-alt.

- Àrees que contenen sediments amb qualitat natural poc coneguda (a priori desfavorable)

Tipus 4: Àrees amb recobriment (≥ 1 m) o amb presència de fins a la matriu.

Mapa 10. Àrees qualificades com a sòl urbà i/o apte per urbanitzar, i sòl no urbanitzable

S'han incorporat a la cartografia de referència les principals divisions urbanístiques del territori (sòl urbà i/o apte per urbanitzar, i sòl no urbanitzable) segons les dades consultades dels diferents Plans Generals d'Ordenació Urbana dels diferents municipis afectats (vigents

el 2001-2002) a la Delegació de Girona de la Secció d'Urbanisme del Departament de Política Territorial i d'Obres Públiques.

b) Cartografies sintètiques derivades

Per tal de facilitar la presa de decisions, s'ha optat per desenvolupar dos tipus de documents de síntesi: uns com a base per l'establiment de criteris tècnics de referència, i uns altres, com a exemples d'anàlisis integrades.

b.1) Documents base per a l'establiment de criteris tècnics de referència

S'han obtingut a partir d'aplicar diferents criteris d'exclusió a la zona ocupada pels terrenys potencialment explotables com a àrids naturals. Aquests criteris han sigut la profunditat en què es troba el nivell freàtic i les àrees afectades per inundacions. A partir d'aquesta primera anàlisi es pot decidir, per a la que es farà posteriorment tenint en compte altres aspectes d'ocupació del territori, quina és la millor franja d'exclusió de nivell freàtic.

Mapa 11. Àrees que contenen àrids naturals amb qualitat natural constatada.

És l'àrea ocupada per les formacions sedimentàries categoritzades com a Tipus 1, 2 i 3, a partir de la qual s'ha realitzat tota la resta de l'anàlisi dels àrids naturals granulars.

Aplicació del criteri d'exclusió de franges de protecció de l'aqüífer

Mapa 12. Àrees potencialment explotables excloses les superfícies afectades per una franja de protecció de l'aqüífer de 0,5; 1; 1,5; 2 i 2,5 m.

Es presenten de manera conjunta i sintetitzada els documents derivats de l'aplicació del criteri d'exclusió de franges de protecció de l'aqüífer de 0,5; 1; 1,5; 2 i 2,5 m.

Aplicació del criteri d'exclusió d'àrees afectades per inundacions

Mapa 13. Àrees potencialment explotables exclosos els trams fluvials que queden inclosos en àrees inundables corresponents a situacions hidrològiques de mitjana intensitat.

Aplicació del criteri d'exclusió de franges de protecció de l'aqüífer i d'àrees afectades per inundacions

Mapa 14. Àrees potencialment explotables, excloses les superfícies afectades per una franja de protecció de l'aqüífer (0,5; 1; 1,5; 2 i 2,5 m) i per inundacions de mitjana intensitat.

Es presenten de manera conjunta i sintetitzada els documents derivats de l'aplicació del criteri d'exclusió de les diferents franges de protecció de l'aqüífer i d'àrees afectades per inundacions.

b.2) Anàlisis integrades

Per als exemples d'anàlisis integrades que s'han desenvolupat, els criteris concrets que s'han acordat per definir les àrees no aptes i les àrees i cotes màximes d'extracció recomanables són els que s'indiquen a continuació. Aquestes capes són les que s'utilitzaran com a màscara per tal d'esterilitzar les àrees potencialment explotables amb bona qualitat natural constatada.

Es consideren àrees no aptes pel desenvolupament d'activitats extractives aquelles àrees que, en relació a possibles projectes de modificació o nova execució d'extracció d'àrids, presentin alguna de les característiques següents:

1. Àrees qualificades com a sòl urbà i com a sòl apte per urbanitzar o urbanitzable.
2. Àrees corresponents a sistemes costaners litorals
3. Trams de 25 m en cada un dels costats dels ponts, viaductes i obres d'infraestructura fluvial que travessen o afecten els principals rius de l'àrea d'estudi.
4. Àrees en què s'han delimitat perímetres de protecció per a captacions municipals.
5. Àrees que presenten un nivell freàtic a profunditat igual o menor d'1 m respecte la superfície del terreny.
6. Àrees corresponents a lleres fluvials actuals, marges de ribera i antics canals fluvials.

En aquestes zones s'exclou la possibilitat d'extracció d'àrids excepte quan es produeixen condicions singulars que requereixen l'extracció, el moviment de terres o un rebaix concret del terreny. Aquestes condicions singulars es poden produir en els casos i en les àrees que s'indiquen a continuació:

1. Acumulació de dipòsits fluvials i/o materials diversos en la llera del riu després d'un o varis episodis d'avinguda. En aquest cas, el criteri que delimita l'abast de l'extracció anirà condicionat a la magnitud del propi fet singular; en tot cas, es considera que es podria establir com a límit màxim de l'extracció: a) el restabliment de la cota de les superfícies existents abans de l'avinguda, o b) una

cota –a determinar- superior a la cota de la làmina d'aigua del riu en períodes d'aigües altes.

2. Construcció d'infraestructures viàries i infraestructures de protecció en els cursos fluvials i els marges de ribera (esculleres, defenses, dics).
3. Rehabilitació o restauració d'antigues zones humides; concretament: lleres fluvials antigues, zones endorrèiques o antics estanys interiors i litorals.
4. Altres situacions particulars.

En aquests casos particulars la delimitació de criteris requerirà una avaluació específica de cada una de les possibles propostes d'actuació que es poguessin plantejar.

Els criteris utilitzats per definir les àrees en què és possible el desenvolupament de projectes d'extracció d'àrids i per establir les cotes màximes recomanables són els que s'indiquen a continuació:

1. Es consideren àrees aptes pel desenvolupament de projectes d'extracció d'àrids les de la zona d'estudi que no resten delimitades com a àrees no aptes. La definició d'àrees aptes no suposa implícitament l'existència de recursos en quantitat suficient per a la implantació de projectes d'extracció.
2. Per a la delimitació de la cota d'extracció màxima recomanable s'ha considerat convenient l'establiment d'un tram de protecció d'1 m entre el nivell freàtic i la cota de la base de l'extracció.

En base a aquest conjunt de criteris de partida ha estat realitzat el mapa final que es descriu a continuació.

Mapa 15. Zonació d'àrees pel desenvolupament d'activitats extractives

Mostra de manera conjunta les àrees aptes i les no aptes front el tipus d'ús del territori estudiat.

L'aplicació d'aquesta metodologia de treball, fonamentada en el tractament informàtic de les dades mitjançant tècniques GIS, permet quantificar les superfícies afectades per cadascun dels possibles escenaris que es deriven de la combinació de variables i factors condicionants que es defineixin inicialment. La incorporació a aquest anàlisi de la geometria en profunditat dels sistemes fluvials permetria disposar de dades en termes de volums afectats.

Per últim, volem ressaltar que la metodologia seguida permet obtenir un coneixement del medi geològic, en base al qual es puguin, posteriorment, valorar diferents propostes de gestió del recursos naturals que conté. Concretament, aquest tipus d'anàlisi aporta les dades geoambientals cartogràfiques relatives a aspectes hidrogeològics i de roques industrials, així com d'altres àmbits fenomenològics de la zona. Aquesta informació permetrà fonamentar les decisions encaminades a l'establiment d'uns criteris tècnics de referència pel que fa les expectatives d'aprofitaments d'àrids naturals granulars.

12.- GEORECURSOS LITORALS

La suavitat del relleu de les terres interiors contrasta espectacularment amb el modelat del litoral, de caràcter escarpat i dur en molts trams, amb imponents penya-segats retallats per nombroses cales pregones i estretes separades per caps prominents. Aquesta configuració morfològica accidentada, imposada per un rocam diversificat i esquarтерat, respon genuïnament a la denominació de Costa Brava.

Per tant, són dos els principals geoelements d'aquesta zona: els penya-segats i les platges. L'aprofitament actual d'aquests els converteix en georecursos de primer ordre, estratègics pel desenvolupament turístic i, en conseqüència, elements econòmics actuals del territori. Des de la perspectiva que ens ofereix el seu estudi com a recursos tot seguit incidirem en valorar determinats aspectes en relació a la seva qualitat i limitació d'ús.

Centrarem la nostra atenció en l'anàlisi de dues problemàtiques que s'han detectat en aquests darrers anys: les inestabilitats que afecten els camins de ronda i el risc de canvi de

la qualitat de la sorra de les platges degut a l'arribada de materials al·lòctons que provenen de dipòsits antròpics abocats en els principals cursos fluvials.

12.1.- Emmarcament geomorfològic

12.1.1.- El modelat de la façana litoral

La costa de l'àmbit d'estudi té una orientació general de nord-nordest a sud-sudoest, i s'estén des de la platja del Golfet fins a la desembocadura de la riera de Lloret. La distància en línia recta entre aquests dos punts és de 34,34 km, xifra que representa una mica més de la meitat del valor que s'obté si es mesura sobre un mapa topogràfic a escala 1:5.000 la línia de costa real, i que és de 74,75 km. La diferència entre ambdós valors dóna una idea prou clara del grau d'articulació d'aquest litoral.

En alguns trams la costa, modelada en granitoides molt resistents però a la vegada intensament fracturats, és alta, agresta i retallada, amb penya-segats que arriben a tenir fins a 125 m de caiguda vertical. Els entrants, en forma de caletes, són abundants, estrets i llargs i sovint es disposen paral·lels els uns als altres seguint els plans de les fractures i, en alguns casos, els dics de lampròfir, ja que les onades erosionen amb molta més facilitat aquests materials triturats i febles que no pas els granits. Al fons de les cales més grans s'acumulen les pedres, de mida grava, que cauen dels penya-segats, les quals són arrodonides per l'acció de les onades i donen lloc a platgetes d'escassa entitat. En aquestes la repartició del sediment no és homogènia: de forma general al costat de llevant hi ha una major proporció de sorra que no pas al de ponent, en el que dominen clarament les graves; cal atribuir-ho a que els temporals de llevant incideixen amb més força al costat oest de la cala i, en conseqüència, el material més fi tendeix a concentrar-se a l'altra banda, més protegida.

Pel que fa a les platges més grans, alimentades bàsicament dels sediments aportats per les rieres i en part els transportats pels corrents litorals, són constituïdes bàsicament per el sauló, de mida sorra, que prové de la meteorització dels granitoides. Això sí, de tant en tant també hi arriben còdols grans que provenen de l'erosió de roques més dures: granits, pòfirs, lampròfirs, quars i cornianes.

12.1.2.- La dinàmica actual a la costa

A la línia costanera conflueixen processos marins, fonamentalment derivats de l'onatge, i processos continentals, sobretot torrencials i gravitatoris. La dinàmica que afecta el litoral

rocallós, que comprèn la pràctica totalitat d'aquesta costa; un 79,5% dels 74,75 km de longitud de línia de costa de l'àmbit d'estudi, és completament diferent de la que regeix l'evolució de les petites platges sorrenques, molt més locals però, en canvi, extraordinàriament importants per a les activitats econòmiques basades en el seu aprofitament turístic.

La costa rocosa és desgastada mecànicament per l'impacte de les onades dels grans temporals. Les onades erosionen, a poc a poc, el rocam situat just a la base dels penya-segats i indueixen processos d'inestabilitat gravitatòria que comporten la caiguda de roques dels talussos situats per sobre de la zona batuda. D'aquesta manera els espadats retrocedeixen lentament però inexorable. A vegades es forma una acumulació molt gran de pedruscalls a la base de l'espadat, que pot actuar com una barrera que evita que les onades hi incideixin directament. Això permet l'estabilització temporal dels vessants mentre la protecció natural es manté en peus; quan les onades aconseguen enrunar-la es reprèn l'erosió del penya-segat i la inestabilització de les seves parets. La dinàmica natural en aquest context implica doncs l'existència de processos gravitatoris actius que en molts casos repercuteixen sobre l'activitat humana: caigudes de blocs sobre les escales d'accés a la platja del Golfet o soscavament del camí de ronda i de les escales que menen a la caleta del Castellet d'en Niell en són uns exemples. Aquests casos recents no són ni fenòmens aïllats ni singularitats geomorfològiques, sinó que són les manifestacions d'una dinàmica geològica que és general a totes les costes amb penya-segats (Figura 12.1).

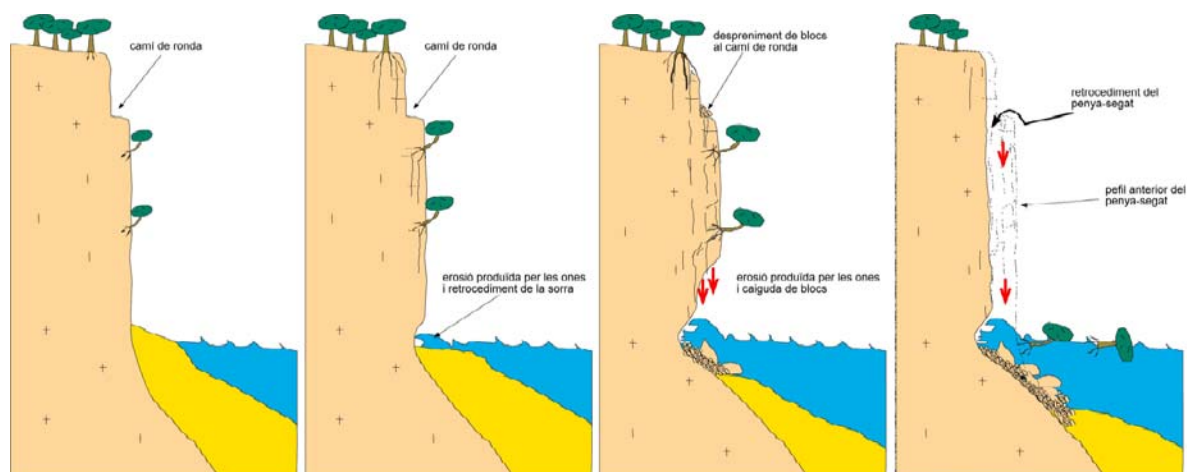


Figura 12.1.- Esquematzació del procés d'erosió que fan les onades als penya-segats

L'evolució de les platges de sorra és un xic més complexa. En el cas que ens ocupa, les platges són dipòsits de sediments que romanen arrecerats dins d'una cala i que, en condicions naturals, constitueixen sistemes que es troben en equilibri amb molts factors, tant

marins com continentals. Aquests sistemes reben unes entrades de matèria i, lògicament, també tenen unes pèrdues; el balanç entre les unes i les altres determina el volum de sediment de la platja. Les rieres i, en menor quantia, les parets dels penya-segats són les encarregades de subministrar nou material a les platges; els temporals, sobretot els de llevant, tendeixen a transportar la sorra cap al fons marí, i són els principals responsables de les pèrdues de matèria. Cal precisar que la sorra no va a parar gaire lluny de la línia de costa i, de fet, pot retornar parcialment per efecte de l'onatge habitual. A diferència del que succeeix un xic més al nord, en les llargues platges alt i baix empordaneses, aquí els processos eòlics tenen molt poca incidència perquè es troba a recés de la tramuntana i perquè la mida de les partícules del sediment és molt gran i, en conseqüència, cal una velocitat del vent també molt gran per posar-les en moviment. A banda de les entrades i sortides de material, cal tenir present que el sediment es redistribueix internament dins la platja, migrant cap a un costat o cap a un altre en funció dels corrents de deriva, que són determinats per l'angle d'incidència de les onades. Com que la direcció general dels vents canvia al llarg de l'any, també ho fan les onades i, de retruc, els corrents de deriva. En definitiva, les platges són sistemes perfectament equilibrats amb molts factors i, per això, molt inestables: qualsevol modificació natural o artificial d'un d'aquests factors pot generar una pertorbació que haurà de ser reequilibrada, ja sigui guanyant material, perdent-ne o redistribuint-lo d'una altra manera (Roqué & Geis, 2002).

La badia de Llafranc és un cas força il·lustratiu de com una alteració, en aquest cas artificial, ha comportat un canvi substancial en la dinàmica de la platja. El port es va acabar de construir l'estiu de l'any 1970 i ben aviat es va posar de manifest la repercussió negativa de l'obra. El 13 de març de 1971 hi va haver el primer temporal de llevant, el qual va fer migrar la sorra d'oest a est: les onades van soscavar els murs del passeig i fan fer destrosses en algunes cases de la banda de ponent de la platja, mentre que a la banda oposada l'entrada del port va quedar obturada de sediment. De llavors ençà, aquesta dinàmica es repeteix any rere any: els temporals treuen la sorra del costat de ponent i l'acumulen al de llevant, just a la mateixa bocana, de manera que cal dragar-la per evitar que quedi cegada; a base de maquinària pesant s'ha de treure la sorra i reposar-la a l'extrem de ponent. Feina feixuga que, lògicament, el mar no tardarà ni un any en desfer del tot. En Lluís Pallí, en un treball sobre el modelat d'aquesta costa, escrivia l'any 1977: *el precari equilibri aconseguit a través del temps pot ser modificat antròpicament amb l'addició de noves estructures a la línia costanera - port esportiu de Llafranc - d'efectes i conseqüències totalment imprevisibles*. En un quart de segle els coneixements sobre la dinàmica marina han experimentat un avanç considerable i ara és pot saber d'antuvi amb força precisió les repercussions que d'una obra com aquesta pot ocasionar sobre la dinàmica litoral (Lledó & Roqué, 2005).

12.2.- Els desprendiments com a condicionats d'ús

Per tal d'aprofundir en el coneixement d'aquests fenomen dinàmic hem estudiat en detall el camí de ronda i accessos a la zona costanera entre Sant Roc i el Golfet (Calella). Es tracta actualment d'una de les zones més problemàtiques.

És precisament aquest tipus d'erosió que, dins del nostre àmbit d'estudi i a les seves immediacions, aquests dos últims anys ha adquirit una certa importància i fins i tot alarma social, ja que els habitants i turistes de la zona han patit les conseqüències de conviure amb aquest risc. Concretament hi ha hagut diversos moviments en massa en camins de ronda i talussos de platja i fins i tot, l'agost de 2003, van arribar a provocar víctimes mortals a la cala de Senyor Ramon (T.M. Santa Cristina) (Figura 12.2).

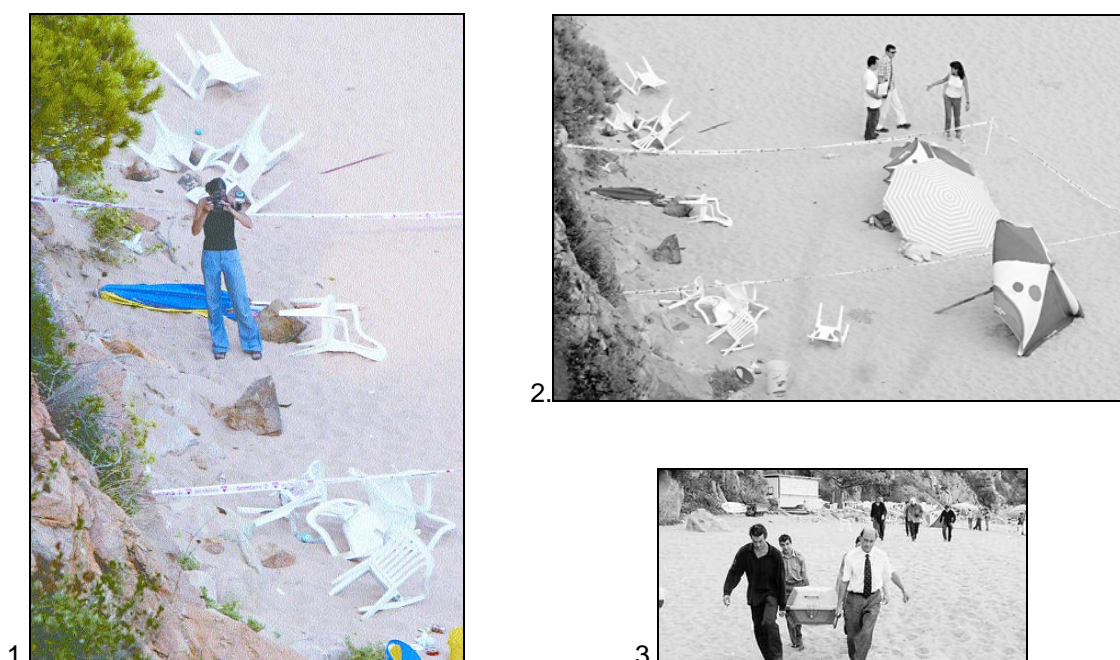


Figura 12.2.- Fotografies del desprendiment de roques de la cala Curcollada, avui Senyor Ramon (TM Santa Cristina) (1 i 2.- Diari de Girona (26/8/2003); (3.- El Punt (26/8/2003))

Marc geològic de detall

Els materials que afloren al llarg del camí de ronda entre el Golfet i Sant Roc corresponen a diferents varietats de roques ígnies plutòniques de natura àcida, esporàdicament travessades per dics prims de roques hipabissals i per filons de quars i/o calcita d'origen hidrotermal. Per tant ens trobem bàsicament en una zona on es troben granodiorites biotíiques de gra mitjà a gros amb megacrystals de feldspat potàssic i abundants

enclavaments de quarsidiorites biotíiques amb geometria el·lipsoïdal (Pallí & Roqué, 1990 i ICC, 2004).

En general el grau d'alteració d'aquestes roques és baix a la zona batuda per les onades i elevat a la part alta dels talussos, lluny de l'acció de les onades. El grau de fracturació és notablement més elevat en els sectors alterats.

El sector costaner en que es situen els indrets estudiats forma part d'una costa alta o rocallosa, en la que dominen les formes d'erosió sobre les de sedimentació. El tret característic d'aquest litoral és la presència de penya-segats d'alçada variable, retallats per nombroses cales i caps que reflecteixen les variacions locals del rocam: entrants coincidint amb fractures i dics de roques toves i sortints a favor de dics de roques resistents. Els penya-segats són el resultat de l'acció erosiva de les onades sobre les roques al llarg del temps. Les ones retiren el material de la base dels penya-segats i indueixen processos d'inestabilitat gravitatòria que afecten els vessants situats per sobre de la zona batuda i d'aquesta manera el penya-segat retrocedeix. Aquesta dinàmica és similar a la descrita per Morton (2002).

Descripció dels sectors estudiats

Localment les granodiorites són travessades per masses irregulars i dics de leucogranits biotíics i moscovítics de gra mitjà i fi, per dics discontinus d'episenites rosades o blanquinoses, per dics de lampròfirs subverticals (spessartites) i subhorizontals (camptonites), per filons hidrotermals de quars i per dics prims d'aprites i de pegmatites de disposició i orientació variable (Pallí & Roqué, 1990 i ICC, 2004).

Lògicament, l'estat d'alteració i de fracturació dels materials varia substancialment en funció de les roques que afloren de manera particular en cada lloc. Els sectors de camí de ronda i accessos a les cales afectats per processos d'inestabilitat gravitatòria són els següents:

Sector 1, (Figures 12.3 i 12.4) boca sud-oest del primer túnel del camí que baixa a la platja del Golfet des del carrer dels Castelletes. Hi afloren granodiorites arenitzades i molt fracturades. Al talús situat immediatament per sobre de la boca del túnel hi ha nombroses cicatrius de caigudes per col·lapse recents, que afecten blocs de roca alterada de fins a 20 cm de costat. Les caigudes es produeixen directament sobre el camí de ronda.



Figura 12.3.- Camí de ronda de Calella, sector 1 (març de 2004)

Sector 2, (Figures 12.4 i 12.5) tram del camí d'accés a la platja del Golfet des del carrer dels Castelletes que comprèn les escales i replans situats des de la boca del primer túnel (sector 1) fins a l'entrada del segon túnel, just on comença el ramal superior del camí de ronda de Calella. Als talussos d'aquest sector afloren granits de gra mitjà poc alterats però intensament diaclasats, així com un filó de quars d'uns 3 m de gruix fortament inclinat cap al nord. A la part alta dels talussos hi ha indicis d'antics processos de caiguda per desprendiment i per col·lapse de blocs de fins a 20 cm de costat. Tot i que no s'han observat caigudes recents ni tampoc imminents en aquest sector, s'ha de destacar el fet que hi ha algunes diàclasis obertes i que els materials que es poguessin despendre afectarien directament el camí.

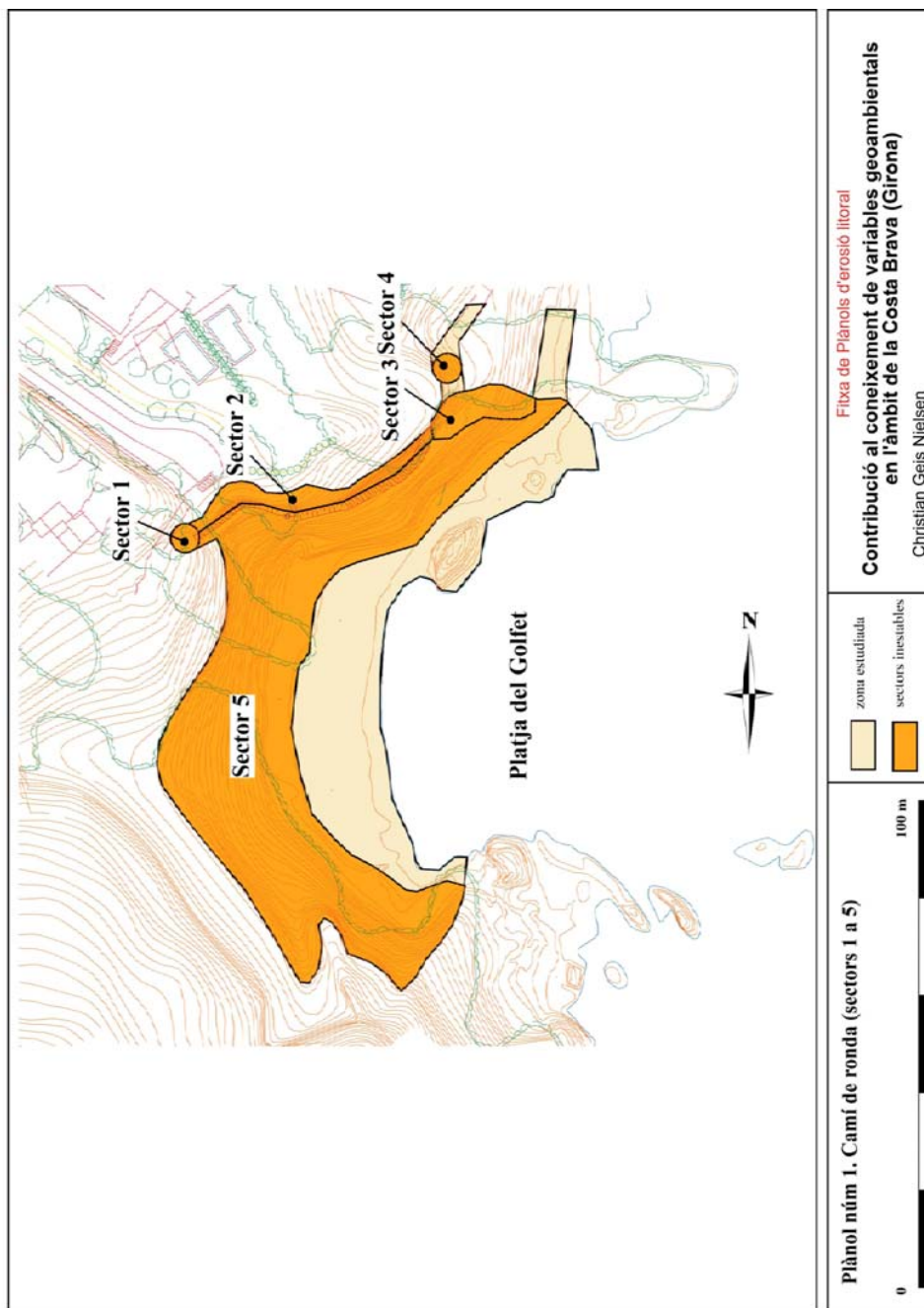


Figura 12.4.- Plànol 1 d'erosió litoral. Camí de ronda (sectors 1 a 5)



Figura 12.5.- Camí de ronda de Calella, sector 2 (març de 2004)

Sector 3, (Figures 12.4 i 12.6) tram del camí d'accés a la platja del Golfet des del carrer dels Castelletes que comprèn les escales situades entre la boca del túnel d'accés al ramal superior del camí de ronda de Calella (final del sector 2) i la boca del túnel d'accés al ramal inferior de l'esmentat camí de ronda. En els talussos situats per damunt del camí afloren granits cataclàstics de gra gros sobre els que es recolza un filó de quars d'uns 3 m de gruix inclinat uns 60° cap al nord. La major resistència del dic de quars en front als granits subjacents permet l'existència de parets extraplomades i de vessants verticals. La xarxa de fractures que afecten el dic de quars és poc densa i delimita blocs de mida gran, superior a 1 m de costat en molts casos.

En aquests talussos hi ha cicatrius de desprendiments i col·lapses recents, un d'ells de gran envergadura, amb caiguda de blocs de quars de més d'un metre de costat. Els materials despresos han afectat directament les escales i el camí situat per sota seu. L'obertura de les diàclasis i el posterior procés de caiguda ha estat induïda per la penetració i creixement d'arrels d'arbres. A les cicatrius recents hi ha encara molts blocs inestables d'entre 10 i 20 cm de costat que poden caure en qualsevol moment. Sobre la boca sud del túnel inferior hi ha processos actius de caiguda per col·lapse que afecten blocs de menys de 15 cm de costat, els quals incideixen directament sobre el camí.

A la figura següent (Figura 12.6) s'aprecia l'evolució d'aquest talús, en què amb qüestió de 4 mesos hi ha hagut dues sèries importants de desprendiments, canvi entre la fotografia 2 i 5 (fixeu-vos amb la senyal). També s'observa a les fotografies 4 i 6 un intent de protecció contra aquest risc.

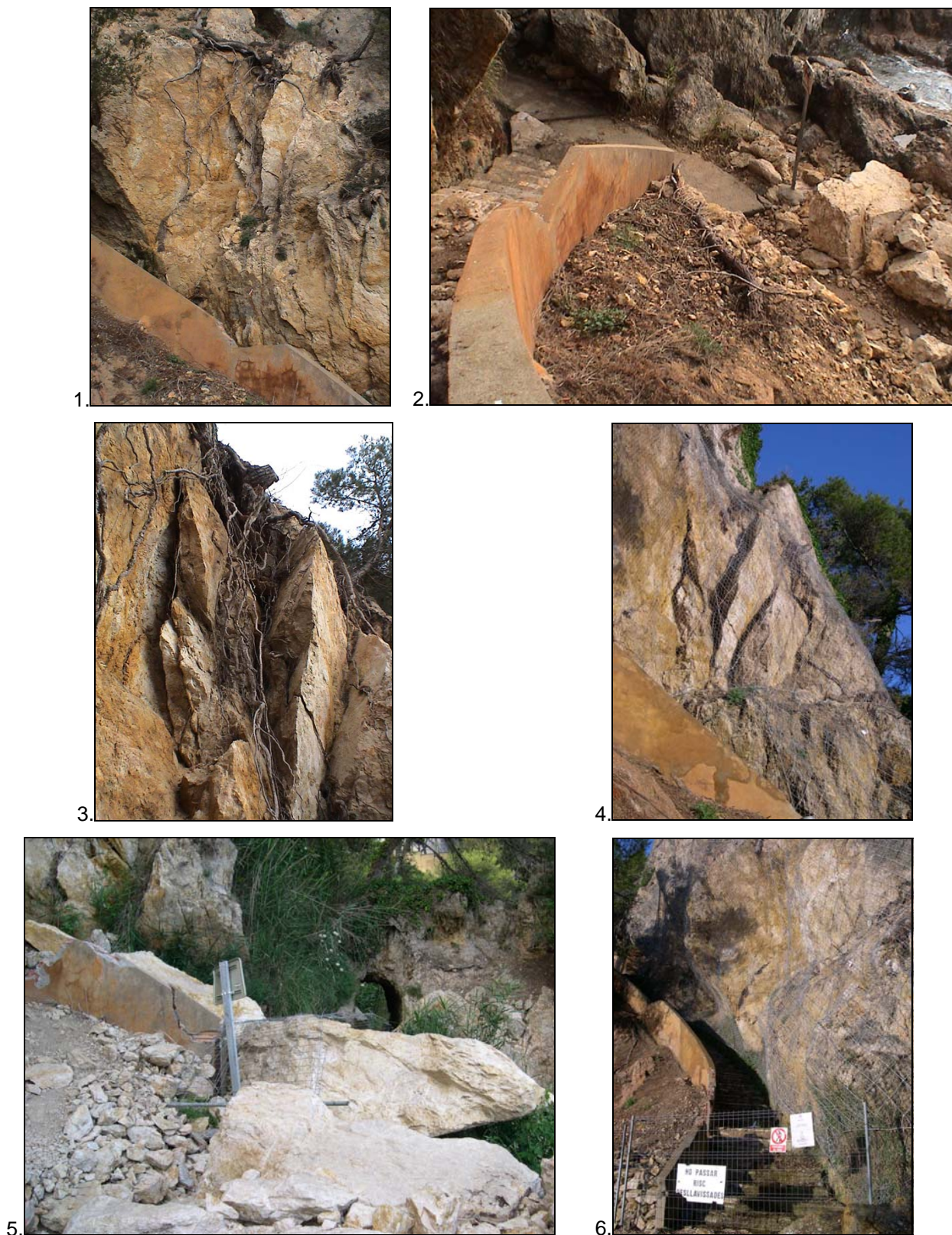


Figura 12.6.- Camí de ronda de Calella, sector 3 (1.- visió general; 2.- detall dels blocs caiguts; 3.- detall dels desprendiments (març de 2004). (4.- detall de les mesures correctores de la fotografia anterior (desembre 2004); 5.- detall dels blocs caiguts (juliol de 2004). (6.- sanejament de la zona i mesures correctores efectuades (desembre de 2004)

Sector 4, (Figures 12.4 i 12.7) boca nord del túnel d'accés al ramal superior del camí de ronda de Calella. Al vessant, molt redreçat, en el que se situa la boca nord del túnel aflora exclusivament el dic de quars. A la part més alta d'aquest talús hi ha diverses diàclisis obertes, i cicatrius de caigudes recents. Els blocs afectats assoleixen unes dimensions màximes de 20 cm de costat. Les caigudes afecten la base del talús, incidint sobre el replà condicionat que hi ha al costat est del túnel. La sortida del túnel no és afectada per aquests processos.



Figura 12.7.- Camí de ronda de Calella, sector 4 (1.- visió general; 2.- detall dels blocs inestables (març de 2004)

Sector 5, (Figures 12.4 i 12.8) talussos de la platja del Golfet. Hi afloren granodiorites biotíques poc alterades i escassament fracturades a la part inferior dels vessants, coincidint amb les zones batudes per les onades. A la part més alta dels talussos hi ha un horitzó de roca fortament arenitzada i intensament fracturada presentant una potència d'entre 2,5 i 5 m. Tota la cala és voltada per penya-segats en els quals, de manera molt generalitzada, hi ha processos actius de despreniment de blocs de fins a 1 m de costat. La majoria d'aquestes inestabilitats es concentren a la part alta dels vessants i afecten els materials més alterats i fracturats, però localment també es donen en altres punts. En molts dels casos les caigudes s'han donat com a conseqüència de la penetració i creixement de les arrels dels arbres en els plans de diaclasat. Actualment les onades incideixen directament a la base dels penya-segats en alguns indrets de la cala, afavorint la inestabilitat dels vessants. A la meitat sud de la cala, en la que les inestabilitats són més generalitzades, hi ha alguns arbres en posició inestable que poden caure directament sobre la platja. A la

meitat nord els despreniments són més puntuals i la major part d'ells es localitzen sota els arbres que creixen en el penya-segat.

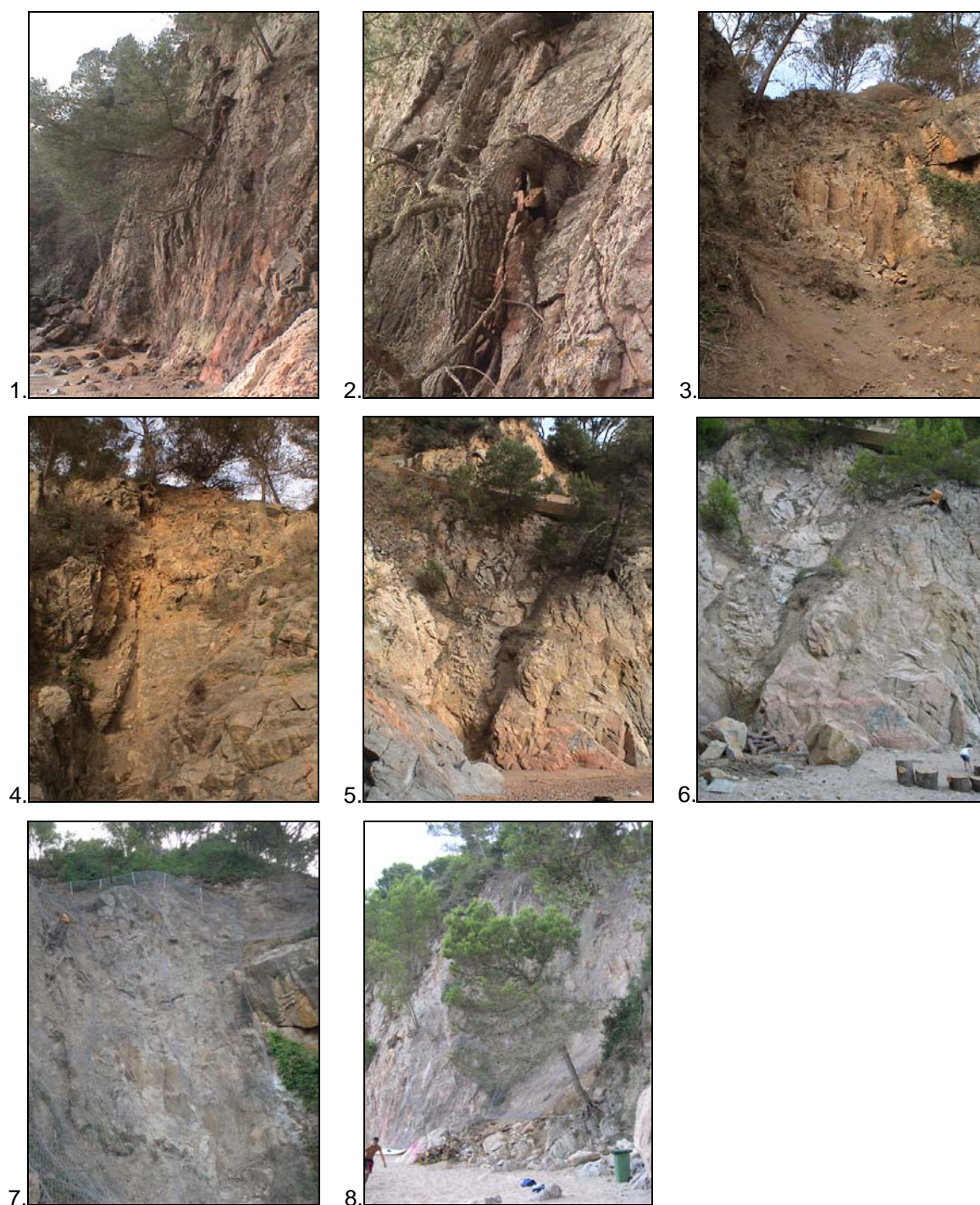


Figura 12.8.- Camí de ronda de Calella, sector 5, platja del Golfet. (1.- extrem sud; (2.- detall d'arbre i blocs inestables; (3 i 4.- meitat sud i (5.- extrem nord (març de 2004). (6.- blocs caiguts i arbres talats de l'extrem nord i (7 i 8.- malla protectora de l'extrem sud (agost de 2004)

Com es pot comprovar a la figura anterior, amb qüestió de 5 mesos han caigut més blocs de mida de fins a 2 metres de costat (fotografies 5 i 6). També s'hi observen mesures

correctores a base de malles, sanejament dels talussos i tala d'arbres. Finalment a la fotografia 8 s'observen esllavissades recents posteriors a l'adopció de les mesures correctores.

Sector 6, (Figures 12.9 i 12.11) accés a la punta nord de la cala de la Font d'en Fina des de les escales que comuniquen el camí de ronda amb el carrer del cap de Planes. El penya-segat d'aquesta punta és modelat en granodiorites afectades per processos d'episenitització, poc alterades i moderadament fracturades. En tot ell es donen processos actius de despreniment de blocs d'entre 20 cm i 1 m de costat, els quals cauen sobre una acumulació de roques situades al seu peu, i formada per aquest mecanisme. Actualment les caigudes que s'hi produeixen no afecten (per erosió) el corriol que mena a la punta. Els blocs tampoc incideixen sobre cap accés del camí de ronda.

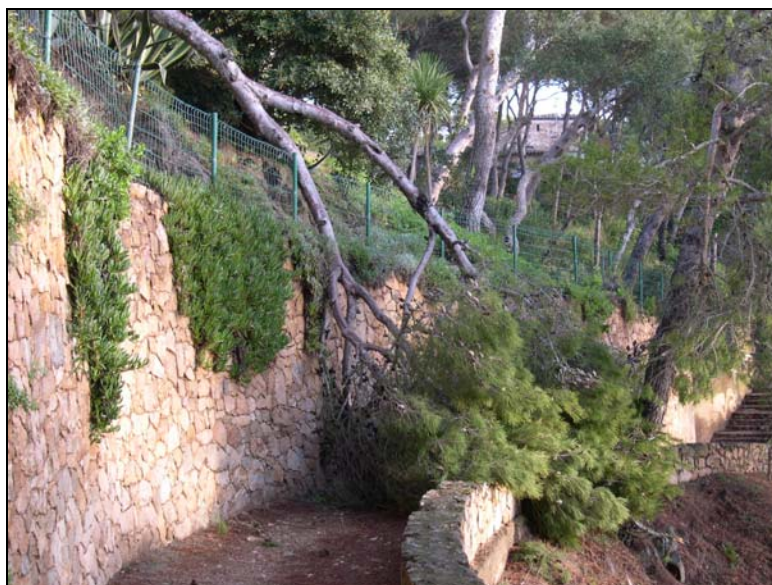


Figura 12.9.-Camí de ronda de Calella, entre els sectors 6 i 7. Caiguda d'un pi sobre el camí de ronda (desembre de 2004)

Sector 7, (Figures 12.10 i 12.11) boca est del túnel del camí de ronda a l'alçada de la cala de la Font d'en Rocas. En aquest indret afloren granodiorites biotíiques amb megacristalls, poc alterades a la part baixa i mitja del talús; i molt arenitzades a la part alta. La fracturació és intensa, amb domini de diaclasat vertical. En el talús hi ha cicatrius de caigudes d'escassa entitat afavorides pel creixement i la penetració de les arrels dels arbres dins els plans de diaclasat. Puntualment s'observen processos incipients de bolcada per flexió. Els blocs afectats per aquestes inestabilitats no superen els 20 cm de costat. La seva caiguda pot incidir directament en el camí de ronda. Uns 25 m més enllà, en direcció a Calella, hi ha un pi en posició inestable que pot desplomar-se sobre el camí de ronda.



Figura 12.10.-Camí de ronda de Calella, sector 7. (1.- visió general i (2.- detall de blocs inestables (març de 2004). (3.- eixamplament de les diàclasis pel creixement i penetració de les arrels

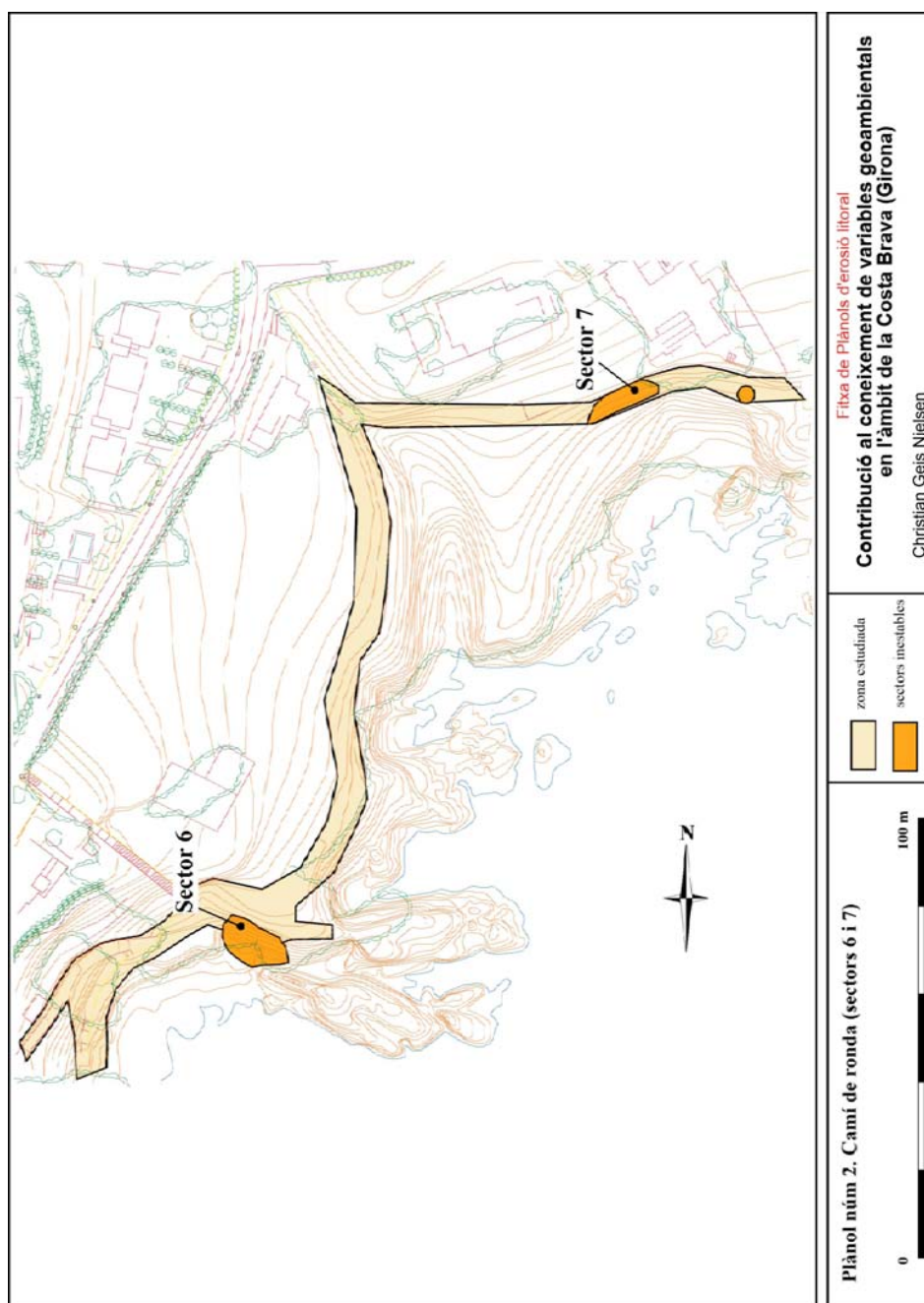


Figura 12.11.- Plànol 2 d'erosió litoral. Camí de ronda (sectors 6 i 7)

Sector 8, (Figures 12.12 i 12.14) escales que baixen des del camí de ronda cap a la punta dels Forcats. Hi afloren granodiorites biotítics de gra gros amb megacristalls, moderadament alterades i densament fracturades. Al vessant on es troben aquestes escales s'han produït recentment caigudes de blocs que han incidit directament sobre elles. D'altra banda, el vessant oest del promontori del cap, just on s'acaben les escales, és afectat per processos molt generalitzats de caigudes per despreniment i per col·lapse, que mobilitzen blocs de més d'un metre de costat. Hi ha nombroses cicatrius de moviments recents i molts blocs a punt de caure.



Figura 12.12.- Camí de ronda de Calella, sector 8, accés a la punta dels Forcats (març de 2004)

Sector 9, (Figures 12.13 i 12.14) punt del camí de ronda situat entre el cap dels Forcats i la cala del Castellet d'en Niell. Es tracta d'un punt del camí situat entre dos murs de pedra, en el que afloren episenites blanquinoses poc alterades. El creixement d'arrels en l'interior dels plans de diaclasat d'aquesta roca ha inestabilitzat un bloc de roca de grans dimensions que amenaça amb desprendre's i caure sobre el camí.

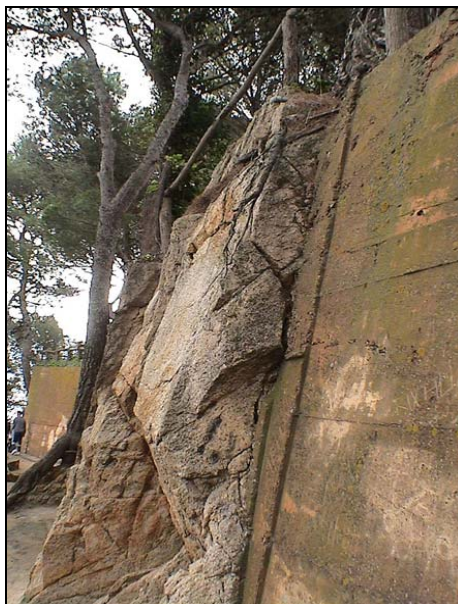


Figura 12.13.- Camí de ronda de Calella, sector 9 (març de 2004)

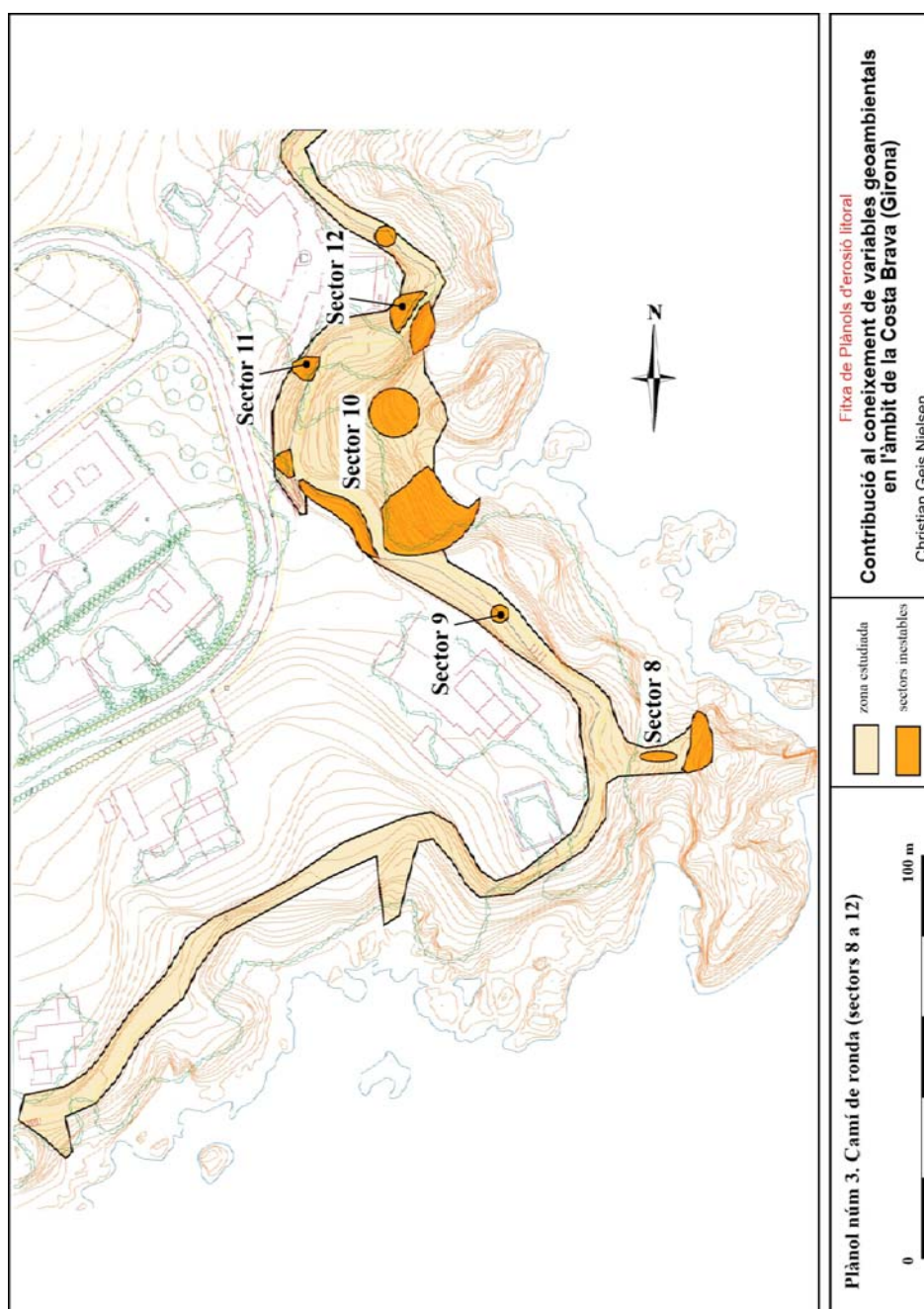


Figura 12.14.- Plànol 3 d'erosió litoral. Camí de ronda (sectors 8 a 12)

Sector 10, (Figures 12.14 i 12.15) vessants del costat sud de la cala del Castellet d'en Niell. En aquest sector afloren granodiorites biotíques de gra gros amb megacristalls, de moderada a fortament alterades i fracturades. Només la part inferior dels vessants, coincidint amb la zona batuda per les onades, la roca es troba inalterada i escassament fracturada. Als talussos situats per sobre del camí de ronda hi ha caigudes per despreniment recents i imminents, que afecten blocs de roca de 20 a 50 cm de costat. Les caigudes incideixen directament sobre el camí. Aquests fenòmens són especialment intensos al costat de les escales que accedeixen al carrer del Golfet. En molts casos els

despreniments han estat induïts pel creixement d'arrels d'arbres, alguns dels quals, a més, es troben en posició inestable i amenacen amb caure sobre el camí.

Els vessants situats per sota el camí de ronda són també molt inestables. S'hi produeixen fenòmens de caiguda per desprendiment de blocs de roca de fins a 1 m de costat. La seva caiguda incideix sobre la base dels penya-segats, al fons de la cala. Tanmateix, cal fer notar que alguns desprendiments recents estan afectant, per erosió, la base del camí de ronda, i suposen una amenaça per a la seva estabilitat.

En aquest mateix sector hi ha l'accés des del camí de ronda a la cala del Castellet d'en Niell. El tram final de les escales ha col·lapsat en diversos punts com a conseqüència del soccavament que ha produït l'erosió de les onades. Aquest mateix procés d'erosió per part de les onades fa augmentar la inestabilitat dels vessants situats per damunt de la zona soccavada.

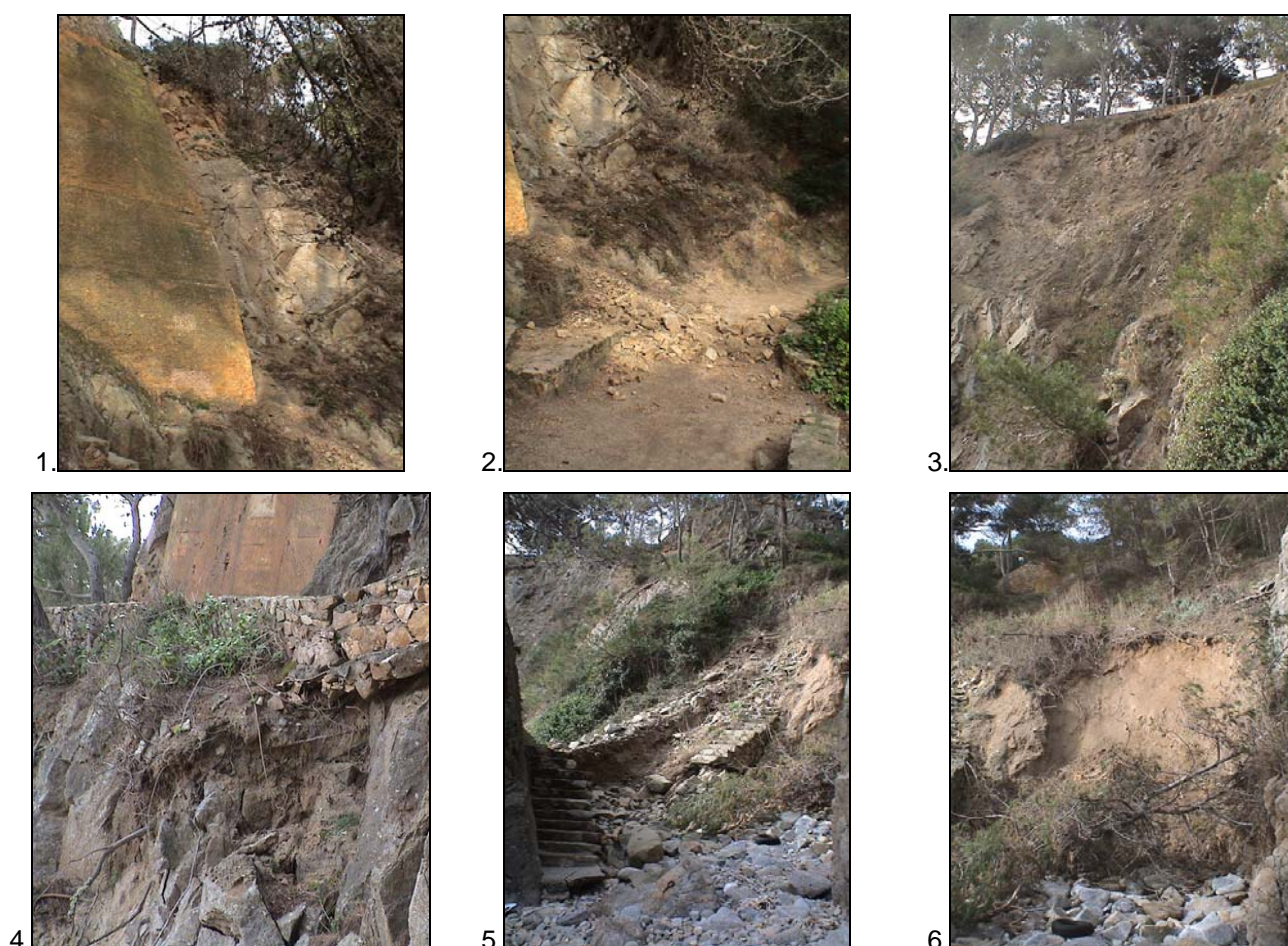


Figura 12.15.- Camí de ronda de Calella, sector 10. (1 i 2.- desprendiments recents; (3.- talús inestable sota el camí de ronda; (4.- detall dels desprendiments sota el camí de ronda; (5.- escales d'accés a la cala del Castellet d'en Niell, i (6.- detall d'inestabilitat induïda per erosió d'onades (març de 2004)

Sector 11, (Figures 12.14 i 12.16) tram del camí de ronda a l'oest de la cala del Castellet d'en Niell. Hi afloren granodiorites biotítiques de gra gros amb megacristalls, de moderada a fortament alterades i fracturades. En aquest indret cal destacar la presència d'un pi en posició inestable que fa caure blocs de 30 a 40 cm sobre camí.



Figura 12.16.- Camí de ronda de Calella, sector 11. (1.- arbre i blocs inestables i (2.- detall (març de 2004)

Sector 12, (Figures 12.14 i 12.17) vessants del costat nord de la cala del Castellet d'en Niell. Com a la resta de vessants que envolten la cala, hi afloren granodiorites biotítiques de gra gros amb megacristalls, fortament alterades i fracturades. A la part inferior dels vessants, coincidint amb la zona batuda per les onades, la roca es troba inalterada i escassament fracturada.

Entre la boca est del túnel i la corba tancada del camí hi ha un talús d'uns 5 m d'alçada en el que s'han produït desprendiments d'escassa entitat de blocs de roca alterada. Hi ha també alguns fragments de roca en posició inestable. Les caigudes afecten directament el camí ronda.

A més, cal fer notar que recentment s'han produït fenòmens de caiguda per desprendiment i per col·lapse al penya-segat situat per sota del camí de ronda, amb caiguda de blocs de més d'un metre de costat. S'hi observen fractures obertes que fan suposar la generació imminent de noves caigudes. Les estructures de suport del camí de ronda en aquest punt poden ser afectades per aquestes inestabilitats gravitatòries, fet que suposa un perill per a

la seva integritat. A uns 25 m de la corba en direcció a Calella hi ha un talús de 2 a 3 m d'alçada en el que es produeixen petits desprendiments de roca alterada.



Figura 12.17.- Camí de ronda de Calella, sector 12. (1.- visió general i (2.- detall dels desprendiments a la base del camí de ronda (març de 2004)

Sector 13, (Figures 12.18 i 12.19) vessants immediats a la boca sud del túnel situat entre ses Planes i el Castellet d'en Niell. En aquesta zona afloren granodiorites biotítiques de gra gros amb megacrystals, moderadament alterades i densament fracturades. Aquestes roques són travessades per un dic prim de lampròfir subhoritzontal (camptonita). A la part superior del talús hi ha un nivell d'uns 2 m de roca molt alterada i fracturada, en el que es generen caigudes de blocs de 20 a 40 cm de costat. Hi ha nombrosos fragments de roca en posició inestable, la majoria coincidint amb la obertura de diàclasis per penetració i creixement d'arrels d'arbres. S'hi observen diversos blocs inestabilitzats per les arrels, en posició de caiguda imminent.

Sector 14, (Figures 12.20 i 12.21) accés des del carrer Marina a la platjeta de Sant Roc. En els vessants on es situen les escales que baixen a la platja afloren granodiorites biotítiques amb megacrystals de feldspat potàssic. El grau d'alteració d'aquestes roques és baix a la part inferior dels talussos i moderadament elevada a la part superior. El grau de fracturació també augmenta des de la base del vessant cap a la seva part alta.

A la mitja alçada s'ha produït recentment un gran desprendiment de roca inalterada, que ha fet caure sobre les mateixes escales blocs de roca de més d'un metre de costat. Aquest fenomen ha estat conseqüència de la caiguda d'un gran pi, que s'ha precipitat sobre la platja

i ha fet dependre les roques que les seves arrels havien inestabilitzat prèviament. A la cicatriu encara resten blocs de roca en posició inestable que poden caure sobre les escales. D'altra banda, a la part alta del talús es produeixen petits desprendiments de roca alterada, de fins a 20 cm de costat, que poden arribar a afectar les escales.

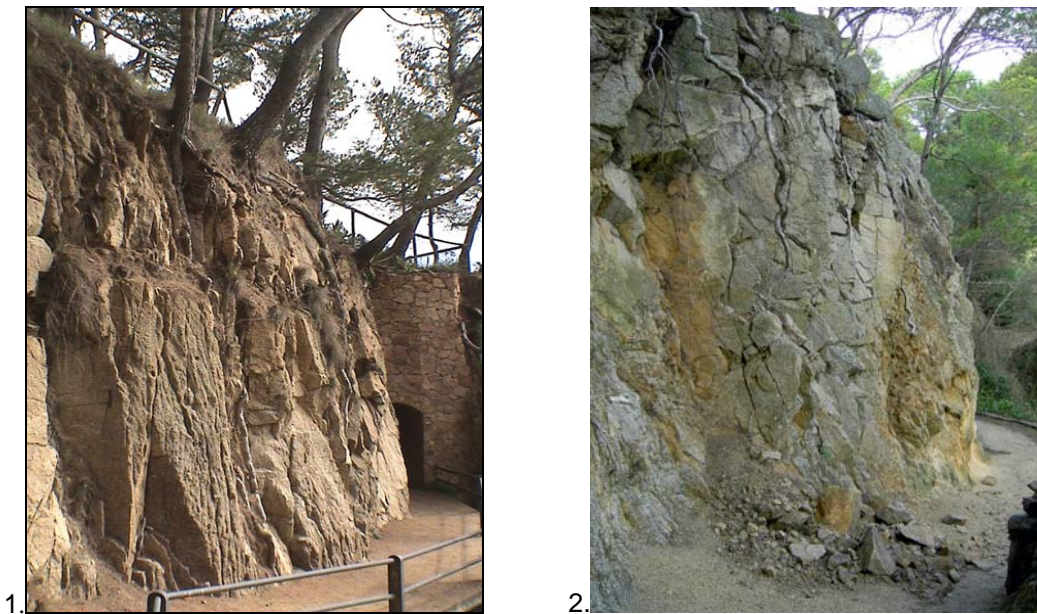


Figura 12.18.- Camí de ronda de Calella, sector 13. (1 i 2.- Detalls de la inestabilització induïda per les arrels (desembre de 2004)

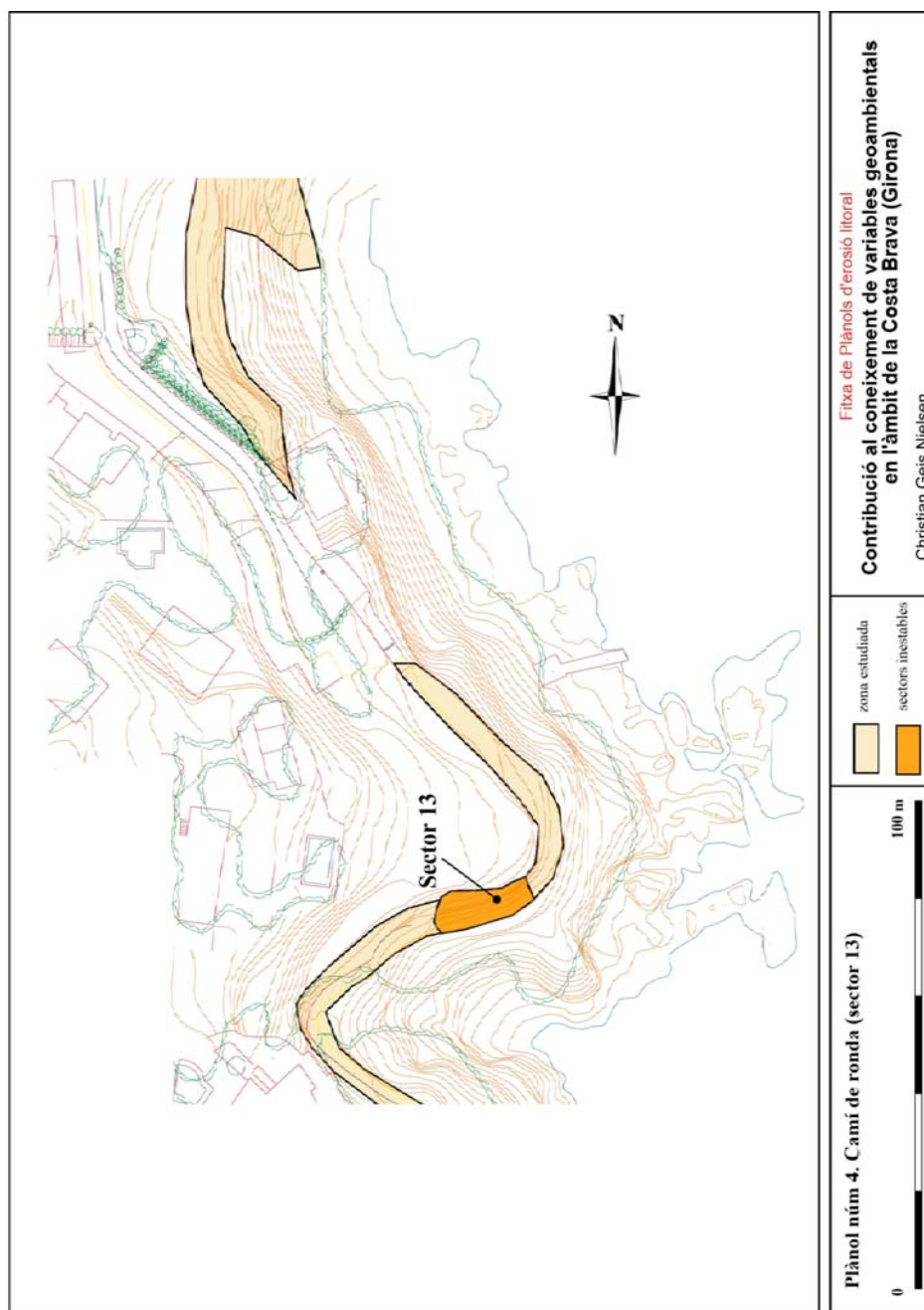


Figura 12.19.- Plànol 4 d'erosió litoral. Camí de ronda (sector 13)

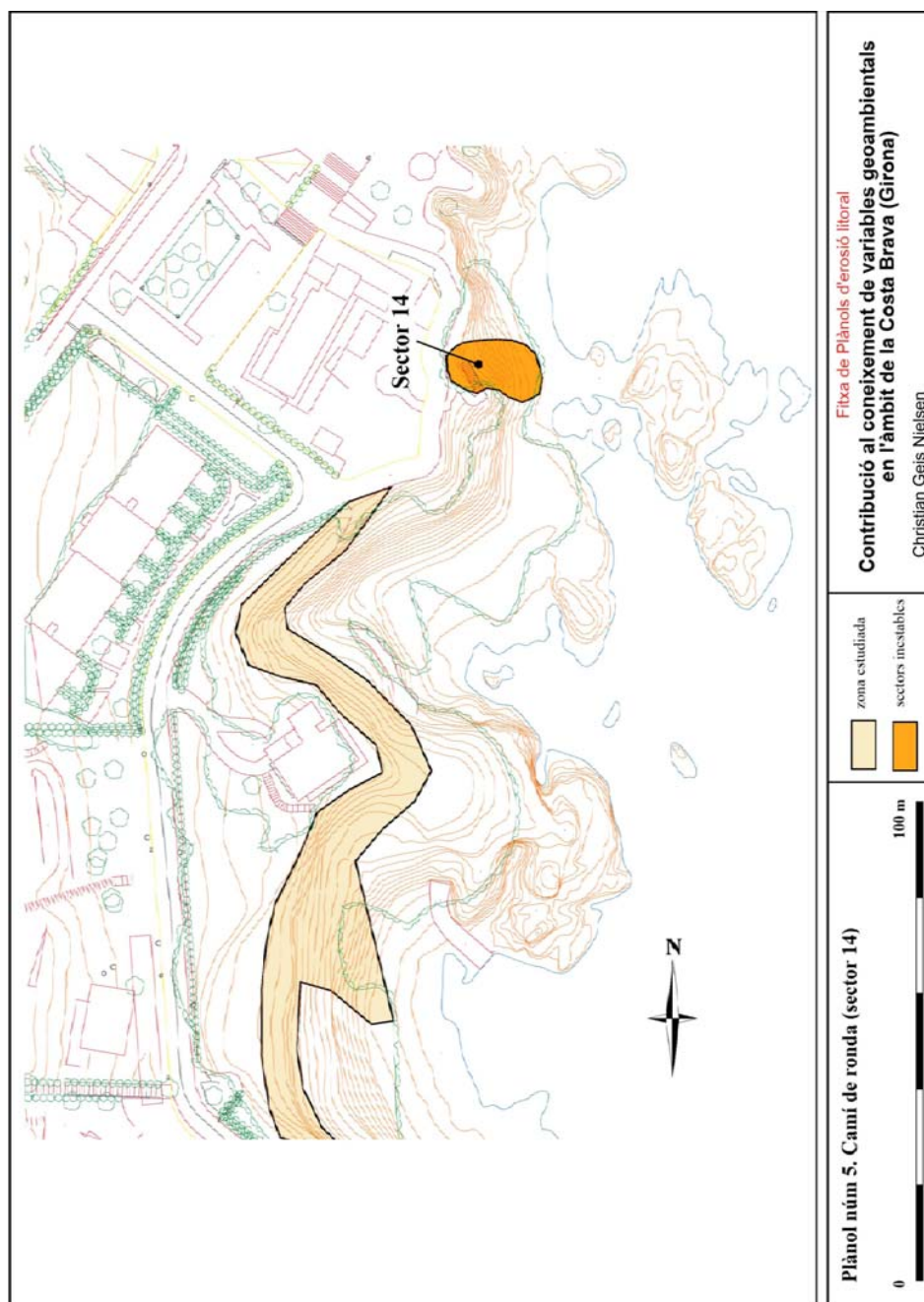


Figura 12.20.- Plànol 5 d'erosió litoral. Camí de ronda (sector 14)



Figura 12.21.- Camí de ronda de Calella, sector 14, escales d'accés a la platgeta de Sant Roc (març de 2004)

Comportaments morfodinàmics deduïts

La zona estudiada s'emmarca en un context morfodinàmic de penya-segats en retrocés actiu. La dinàmica natural en aquest context implica l'existència de processos gravitatoris. L'acumulació de blocs caiguts a la base dels penya-segats evita temporalment l'acció erosiva de les onades en aquesta zona i permet una certa estabilització del procés mentre es manté aquest dipòsit.

Atesa la natura granítica de la majoria dels materials aflorants en els sectors estudiats, l'alliberament de fragments de roca es realitza, fonamentalment, a favor dels plans de fracturació. En la majoria dels casos es tracta de diàclasis que divideixen la massa rocallosa en blocs de mida variable, més petita com més dens és l'enreixat de fractures.

L'orientació d'aquestes fractures és variable, però solen coexistir dues famílies de diàclasis subverticals que es creuen a uns 45° , i una altra de subhoritzontal, no sempre present.

L'obertura d'aquestes fractures és deguda a diferents factors. En alguns casos cal atribuir-la a la descompressió que experimenten aquestes roques en direcció a la paret del penya-segat i a fenòmens d'expansió conseqüència dels processos d'alteració química. Tanmateix, el mecanisme d'obertura més habitual en la zona estudiada és degut a la penetració i creixement d'arrels d'arbres al llarg d'aquestes discontinuïtats. S'ha pogut constatar al camp que la majoria de caigudes recents i imminents es deuen a aquest efecte. En alguns casos, ha estat la caiguda de l'arbre la que ha arrencat i arrossegat blocs de roca de dimensions considerables.

Pel que fa a la tipologia dels moviments gravitatoris presents en els sectors estudiats, val a dir que quasi tots corresponen a mecanismes típics de caiguda per col·lapse (els blocs es desprenen i cauen seguint una trajectòria vertical) i de caiguda per despreniment (els blocs es desprenen i cauen rodolant o rebotant sobre un vessant fortament inclinat). De manera molt puntual i incipient es donen bolcades per flexió, coincidint amb sectors amb domini de fracturació vertical molt densa (en aquest cas els blocs giren sobre la seva base i bolquen cap a l'exterior del talús). També hi ha indicis de lliscaments en falca de poca entitat que s'han produït conjuntament amb caigudes per despreniment (els blocs inicien el seu moviment lliscant sobre dos plans de fractura que delimiten una falca inclinada cap a l'exterior del talús).

En aquest context morfodinàmic els tipus d'actuacions que cal desenvolupar, per continuar amb els tipus d'aprofitaments turístics-recreatius actuals, comprenen mesures del tipus correctiu i preventiu. Entre les primeres, donades les característiques dels moviments en massa identificats a la zona estudiada, la tipologia d'actuacions que es poden desenvolupar comprenen les mesures actives o d'estabilització de despreniments potencials de blocs rocosos (reforç i sanejament del talús) i les mesures passives o de protecció amb la finalitat d'evitar els danys que els despreniments poden produir.

Entre les mesures preventives i/o de control s'inclouen aquelles actuacions de senyalització de les zones inestables i la posada en funcionament de controls o inspeccions sistemàtiques de l'àrea interessada.

Finalment cal destacar l'important paper que desenvolupa, en la majoria dels casos, la vegetació com a mecanisme desestabilitzador dels penya-segats, i en conseqüència, la selecció del procediment de correcció de talussos per augmentar la seva estabilitat ha de passar per minimitzar o eliminar aquest tipus de vegetació. Conscients que és part de la simbologia del paisatge de la Costa Brava, l'impacte de la tala s'hauria de reduir efectuant una reforestació dels talussos amb espècies arbustives autòctones.

12.3. Antropització de la sorra de la platja

Durant la realització del projecte de recerca que presentem es van detectar nombrosos abocaments de residus inerts i de terres, que de maneres diferents, accedeixen als principals cursos fluvials. En conseqüència, aquests dipòsits antròpics poden ser mobilitzats durant episodis de crescudes i participar en la dinàmica del sistema fluviotorrencial. En si mateix, l'artificialització dels nostres cursos fluvials ja és una greu problemàtica ambiental, però centrarem la nostra atenció en les platges; un georecurs avui en dia imprescindible en l'estructura econòmica de la regió. La possible pèrdua de qualitat natural de la sorra degut al progressiu increment d'elements antròpics constitueix un element de risc i, sense dubte, minimitzador del potencial geoturístic de la regió.

12.3.1.- Dipòsits antròpics

Inicialment es descriu la problemàtica ambiental a l'entorn dels dipòsits antròpics, residus inerts i abocaments de terres, i posteriorment s'incideix en aspectes metodològics en relació a l'aplicació de tècniques geofísiques per a la seva identificació.

Problemàtica ambiental

A escala geològica els canvis que es produeixen sobre la superfície de la terra estan estretament condicionats als processos geològics naturals. Actualment, però, aquestes transformacions s'han vist accentuades per la intervenció antròpica sobre el medi. En aquest sentit, en Rivas et al. (2002) s'avança una primera avaluació de la magnitud de l'activitat humana com a agent de processos transformadors. Aquestes activitats, centrades en superfícies i volums de terres mobilitzades per a la urbanització i desenvolupament d'infraestructures, tenen unes taxes de denudació (mm/any) que s'han estimat d'entre 2 i 3 ordres de magnitud superiors a les que caldria esperar de forma natural, evidenciant que l'agent geomorfològic humà representa un factor de canvi fonamental en la transformació del territori.

En la majoria d'àrees turístiques l'ocupació del sòl porta essent aquestes últimes dècades un dels problemes ambientals més controvertits, i el nostre àmbit d'estudi n'és un clar exemple. Aquest fet transformador s'accentua en zones que alhora són molt concorregudes per el seu atractiu paisatgístic i naturalístic i que, per les característiques del relleu, tenen una superfície molt abrupta i relativament petita per a suplir totes les demandes d'espai.

Aquest desgavell en l'ocupació territorial i la proliferació massiva de construcció ha fet que s'ensolapin una sèrie de problemàtiques, no només la manca d'espai sinó també la generació de residus i la seva ubicació. Segons el Decret 201/94, de 26 de juliol, regulador dels residus de la construcció, es produeixen anualment 275 kg per habitant en la nostra zona d'estudi (a Catalunya 1,5 milions de tn/any segons ARC (2005)) i aproximadament, segons càlculs amb dades del mateix decret, per a una casa unifamiliar de 150 m² es produeixen 550 m³ de material de rebuig (embalatges, formigó, petris, metall, granulats, terres excavades per fonaments, entre d'altres). Juntament amb el moviment de terres per a la construcció de vials, es pot intuir el greu problema que suposa gestionar aquests residus.

La gestió dels residus sòlids urbans (RSU) i de les aigües residuals s'han anat contemplant en la mesura que les lleis ho han anat obligant, però els residus o subproductes d'enderrocs i de la construcció (terres de rebaix sobrants, runes d'enderrocs i material de rebuig inert de la pròpia activitat) no s'han internalitzat al cost de l'obra fins fa ben poc. El fet de la seva suposada inocuïtat i cost elevat del seu transport per carretera, fa que es portin abocant durant anys al medi sense cap mena de planificació ni certesa dels efectes negatius que comporten. No fou fins als anys 1993 i 1994 que s'establí un marc legal per fixar la correcta gestió d'aquests residus. Aquest marc legal ve donat per la Llei 6/93, de 15 de juliol, reguladora dels residus i, més en concret, el ja esmentat Decret 201/94. A més el Decret 1/1997 i la Directiva 1999/31/CE descriu les característiques bàsiques d'aquests dipòsits i monodipòsits controlats de runes.

Els principals llocs a on s'han disposat aquests residus són al fons de valls estretes, moltes vegades colmatant-les, reblint camps agrícoles amb la posterior adequació del sòl per a conrear-hi, o al costat de les lleres del torrents. Actualment l'Agència Catalana de l'Aigua del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya ha dut a terme una sèrie de propostes de control dels espais contigus a la xarxa fluvial. En el cas en què ens ocupa, tot l'espai delimitat per les zones inundables (inundacions per a un període de retorn de 500 anys) prohibeixen la instal·lació d'abocadors de qualsevol tipus. De totes maneres, la realitat demostra que encara avui en dia aquesta pràctica infringeix aquesta prohibició.

Un clar exemple de la disposició de material de rebuig de la construcció a la llera és el cas de la conca del riu Besòs. Degut a la mala gestió dels residus produïts a l'àrea metropolitana de Barcelona durant la dècada dels anys 60 i 70, fruit de l'espectacular creixement d'aquesta conurbació urbana, van proliferar abocaments incontrolats a la llera d'aquest riu. Actualment s'hauria de parlar d'un aquífer superficial antròpic de més de 6 metres de potència.

Els impactes que els abocaments incontrolats de residus inerts i de terres fan en cursos fluvials se li ha prestat poca atenció. Aquesta problemàtica no només hi és pel fet de la mala imatge que dona (impacte visual i ruderalització), per la destrucció d'hàbitats de vegetació de ribera, per la possible lixiviació de certs contaminants (sulfats) presents a les runes afectant a les aigües subterrànies i superficials, o per el perill d'incendi per manca de control i per la varietat de material que s'hi aboca, sinó també per la modificació de la dinàmica natural del flux fluviotorrencial, com ja hem tractat en el capítol corresponent. Aquesta última problemàtica comporta un major risc d'inundacions i erosió de la llera, i un canvi de les característiques dels sediments transportats que, en el cas del territori costaner, pot implicar també un empobriment de la qualitat de la sorra de la platja. El fet d'aportar una quantitat de sediment major al que seria d'esperar de forma natural, també pot afectar a variar el nivell de base dels torrents.

Com ja s'ha comentat anteriorment, la Costa Brava es tracta d'un territori en la qual la principal activitat econòmica està centrada en el turisme i la "qualitat natural" del seu entorn paisatgístic. Amb tot, les platges constitueixen un element primordial d'aquest atractiu. Per tant, qualsevol element que les modifiquin, ja sigui la seva qualitat natural (mida de gra i composició) o la seva extensió (modificada lleugerament per grans avingudes) és digne de ser estudiat i per això un dels motius d'aquest anàlisi.

Tècniques geofísiques d'estudi

Una forma relativament econòmica i ràpida de detectar els límits i donar una potència aproximada d'abocaments humans al medi és a través de la prospecció geofísica en corrent altern, també anomenada prospecció electromagnètica (Astier, 1975). Aquesta metodologia ha estat molt emprada per investigacions d'abocaments durant més de quatre dècades (McNeill, 1980; Dawson et al., 2002). Aquesta tècnica té els avantatges d'obtenir una bona resolució de la conductivitat, de no presentar problemes d'injecció de corrent al terreny i de consistir en mesures fàcils i ràpides d'efectuar. D'altra banda, però, té el desavantatge de tenir un rang de lectura i una capacitat de penetració vertical força limitades. De totes maneres, tant el rang de conductivitat dels terrenys estudiats com la potència dels abocaments analitzats no superen els de l'aparellatge emprat.

Cal tenir present que els valors absoluts de la conductivitat reconeguts "in-situ" no donen necessàriament informació directa de la composició, però les variacions d'aquest paràmetre serveixen per identificar anomalies, tant pel que fa a la composició com als límits de l'abocament (Hutchinson & Barta, 2000). Per tant, l'objectiu principal de la recerca en aquest apartat ha estat el de definir les característiques electromagnètiques tant sobre abocaments

controlats com sobre el principal material natural de la zona. D'aquesta manera s'obtenen valors o tendències que després es poden comparar en el cas de voler fer mesures sobre un terreny del qual en desconeixem d'entrada la seva naturalesa.

Treballs efectuats

En aquest cas l'equip seleccionat fou l' EM-31 de GEONICS, el qual ja ha estat anteriorment descrit al capítol de Dominis Morfodinàmics. És un equip portàtil que el fa servir una sola persona i, per tant, és operativament molt útil. En total s'han realitzat 19 perfils electromagnètics sobre 7 emplaçaments diferents, donant un total de 554 metres lineals explorats i un total de 592 mesures realitzades cada 2 metres (296 en dipols verticals a una profunditat d'exploració efectiva de 6 metres i 296 en dipols horitzontals a una profunditat d'exploració efectiva de 3 metres). Els noms dels perfils estudiats són:

- Sòcol de la pedrera Treumal de Calonge (L1)
- Abocament de la pedrera Treumal de Calonge (L2)
- Abocament de la pedrera Treumal de Calonge (L3)
- Sauló de la urbanització Treumal de Calonge (L4)
- Abocament del Vizcondado de Cabanyes de Calonge (L6)
- Sòcol al Vizcondado de Cabanyes de Calonge (L7)
- De L1-Can Garriga a L7-Can Garriga, abocament de terres a la riera de Tossa
- De L1-Revolt a L6-Revolt, abocament de terres a la riera de Tossa

Mesures obtingudes

Les mesures de conductivitat aparent preses a camp es presenten a les figures següents (Figures 12.22 a 12.25). Cal mencionar que pel que fa als perfils electromagnètics sobre abocaments de la riera de Tossa (can Garriga i Revolt) es presenten en el capítol de Dominis Morfodinàmics (Figures 9.20 i 9.21).

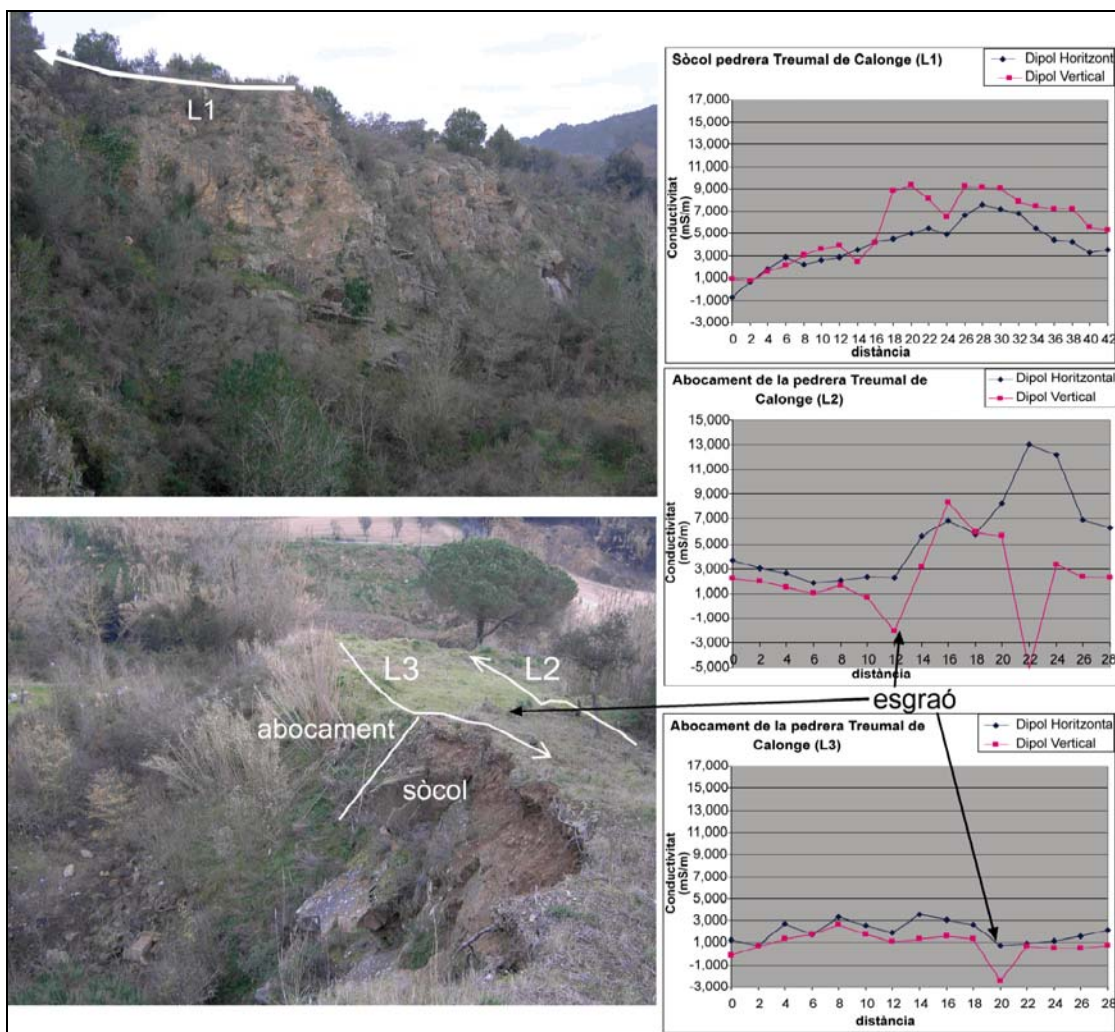


Figura 12.22.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre sòcol i abocament a la pedrera Treumal de Calonge (L1, L2 i L3)

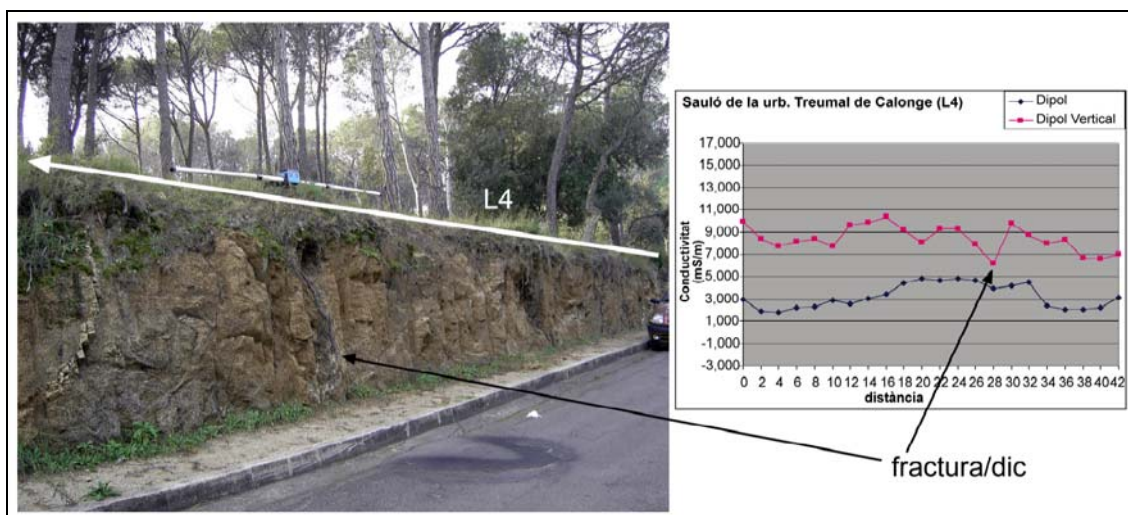


Figura 12.23.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre sauló a la urbanització Treumal de Calonge (L4)

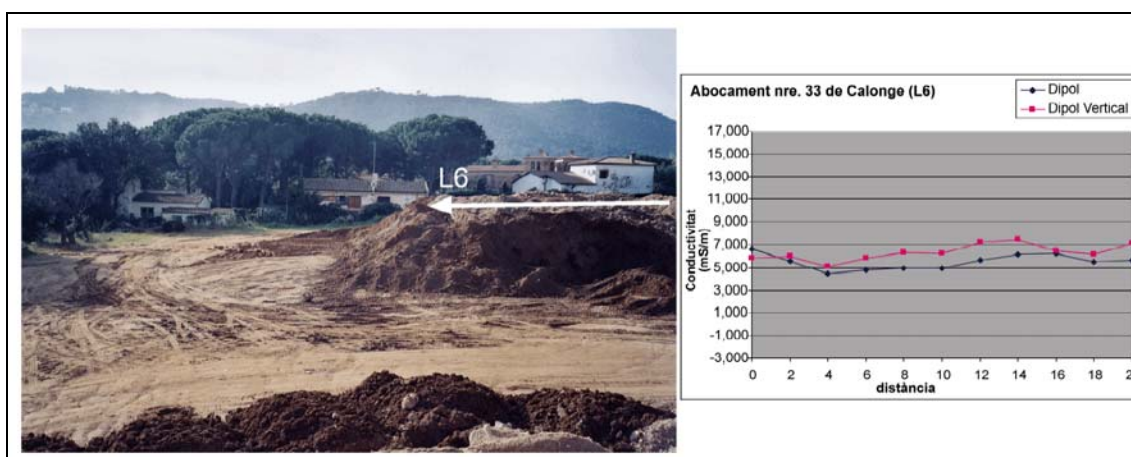


Figura 12.24.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre l'abocament del Vizcondado de Cabanyes de Calonge (L6)

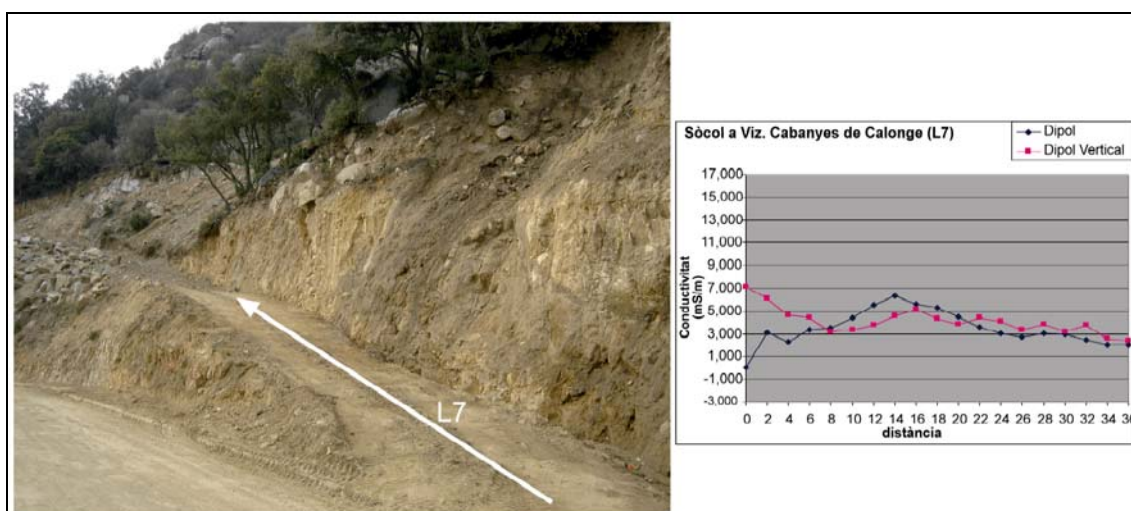


Figura 12.25.- Situació i mesures de conductivitat aparent amb l'EM31 sobre sòcol al Vizcondado de Cabanyes de Calonge (L7)

Interpretació de les dades

A partir de l'anàlisi i interpretació de les dades geofísiques i el reconeixement *in-situ* de les localitzacions triades se n'han extret una sèrie de conclusions. Aquestes han estat utilitzades com a criteris de prospecció en les zones seleccionades per l'estudi de dipòsits antròpics. A l'hora d'interpretar les dades hem diferenciat abocaments "nets" i "bruts". Abocaments "nets" ens referim a aquells formats bàsicament per terres que provenen de la pròpia conca d'estudi sense que s'hagin vist mesclades amb residus de la construcció (ferros, tubs, runa...), també anomenades com a terres de desmunt. Per altra banda, els abocaments "bruts" són aquells en què aparentment són només de terres però que realment amaguen tota mena de residus de la construcció o d'origen desconegut. Moltes vegades a

posteriori són camuflats i tapats amb terra vegetal i vegetació per amagar el presumpte abocament il·legal.

- L'element principal per diferenciar el tipus d'abocament és l'obtenció de mesures de la conductivitat homogènies i uniformes o mesures heterogènies i molt fluctuants en desplaçaments laterals curts.
- Per acotar l'extensió de l'abocament en el cas de no existir una forma clara i ben definida del seu contorn és la presència de canvis de les propietats geofísiques en els seus límits. Efectuant un mapa d'isoconductivitats aparents permet veure els canvis i definir exactament aquests límits.
- Les fluctuacions de la conductivitat aparent sobre els abocaments de terres netes són mínimes. Aquesta constància en els valors es pot comprovar en la línia L6 de Calonge. Aquest canvi no només és mínim en variacions laterals (seguint un perfil) sinó que també aquesta uniformitat es produeix en fondària. És a dir que els valors de dipòls horitzontals i verticals són gairebé idèntics.
- Si aquests abocaments nets són d'una potència aproximada a la fondària d'exploració efectiva màxima de l'aparellatge utilitzat, en cas de l'EM31 de 6 metres per a dipòls verticals, els valors de mesura de la conductivitat aparent tant en dipòls horitzontals com verticals són molt similars i uniformes.
- En el cas d'efectuar mesures en abocaments bruts, amagant moltes vegades subproductes de la construcció, els canvis laterals de la conductivitat aparent són molt bruscos. Aquest canvis enormes es poden comprovar clarament en la línia L2 de Calonge.
- Pel altra banda, les mesures efectuades sobre terreny natural, sigui roca cristal·lina inalterada com meteoritzada, donen valors molt similars a la bibliografia (Dobrin, 1961; Astier, 1975; Geonics, 1995, McDonald et al., 2002). D'aquí cal destacar:
 - quan s'efectua la mesura en terreny natural caracteritzat per substrat de granitoides trobem **poca uniformitat lateral**. Aquesta pujada i baixada brusca de valors al llarg d'una línia electromagnètica, sobretot en la lectura en dipòls verticals (McDonald et al., 2002), es deu bàsicament a les característiques pròpies del substrat analitzat: fractures verticals, dics, diàclasis, en definitiva zones més o menys alterades, fets que suposen un major o menor contingut en aigua, quantitat de llims i argiles o heterogeneïtat en la composició. Aquesta poca uniformitat lateral es veu en qualsevol perfil sobre terreny natural (L4, L7 o L1 de Calonge).
 - Quan la mesura s'efectua sobre sòcol inalterat o poc fracturat existeix una fluctuació en lateral però hi ha una simetria en les línies per als diferents dipòls. És a dir que per a cada estació de mesura els valors canvien en la

mateixa proporció tant en fondària com en superfície. Fet contrastable per la línia L1 de la pedrera Treumal de Calonge.

- Quan la mesura es realitza sobre sauló tornem a tenir variabilitat de valors en lateral però també en fondària. D'aquesta manera es corrobora que la diferència de característiques de conductivitat aparent no només es dona en lateral sinó també en fondària. En perfils d'alteració de granitoides la conductivitat aparent augmenta amb la profunditat; fet també demostrat en McDonald et al. (2002); per la presència de textura granulomètrica de grava amb argila. Aquesta última fracció fina prové del rentat de la part superior del perfil. Aquesta característica es pot observar a la línia L4 de Calonge.

12.3.2.- Valoració del risc potencial

Amb l'objectiu de valorar la situació actual existent a l'entorn de la possible artificialització de les platges, com a conseqüència de l'aport de dipòsits antròpics, hem seleccionat la conca de la riera de Tossa.

Durant els estudis de camp es va poder constatar que un considerable percentatge de la superfície ocupada per les valls de la conca de la riera de Tossa, estaven cobertes de dipòsits antròpics. Com hem descrit en apartats anteriors, en determinades seccions del tram mig-baix, aquests tipus de materials poden arribar a representar de l'ordre d'una tercera part del volum de dipòsits quaternaris existents.

Majoritàriament, els dipòsits antròpics estan constituïts per materials que provenen d'excavacions realitzades en la zona i per residus inerts d'enderrocs d'edificacions. Si es tracta d'abocaments de runes, generalment aquests són coberts per capes superiors de terres sobrants d'excavacions. Aquests recobriments mitjançant materials de la zona dificulten sovint la identificació de l'existència d'abocaments dels residus inerts subjacents.

Sedimentació fluvial

S'inclouen aquí els dipòsits de la plana d'inundació, barres i ocasionalment terrasses. Pel que fa als primers constitueixen gairebé la totalitat del fons de les valls formant dipòsits continus, malgrat ser estrets, en els col·lectors principals de la riera de can Samada i riera de Tossa.

L'amplada del fons de la vall, acotada per la superfície coberta pels dipòsits baixos associat al traçat actual de la riera (plana d'inundació i del propi llit de la riera) és força irregular. És en la riera de Tossa on s'ha descrit mitjançant tècniques de prospecció geofísica. La seva importància sedimentària es veu limitada en quant a la seva potència, estimada al voltant dels 11 m de mitjana en la part del pla de St. Eloi i de 20,5 m de mitjana en la part final, destacant un màxim de 34,5 metres en el centre de la zona urbana.

Les formes acumulatives en el llit actual són molt poc freqüents; les barres són de poca importància degut al caràcter encaixat i rectilini dels cursos principals.

En quant a les terrasses, el seu desenvolupament areal és molt limitat. S'ha reconegut l'existència de quatre nivells a l'alçada de can Garriga per Pallí & Roqué (1992). Les dades disponibles relacionen genèticament aquests nivells amb episodis acumulatius deguts a ventalls al·luvials que produeixen represaments, per la qual cosa han estat tractats en un altre subapartat.

Característiques granulomètriques

En general, els dipòsits fluvials estan constituïts per graves i sorres llimoses o limoargiloses recoberts per un sòl vegetal bastant desenvolupat.

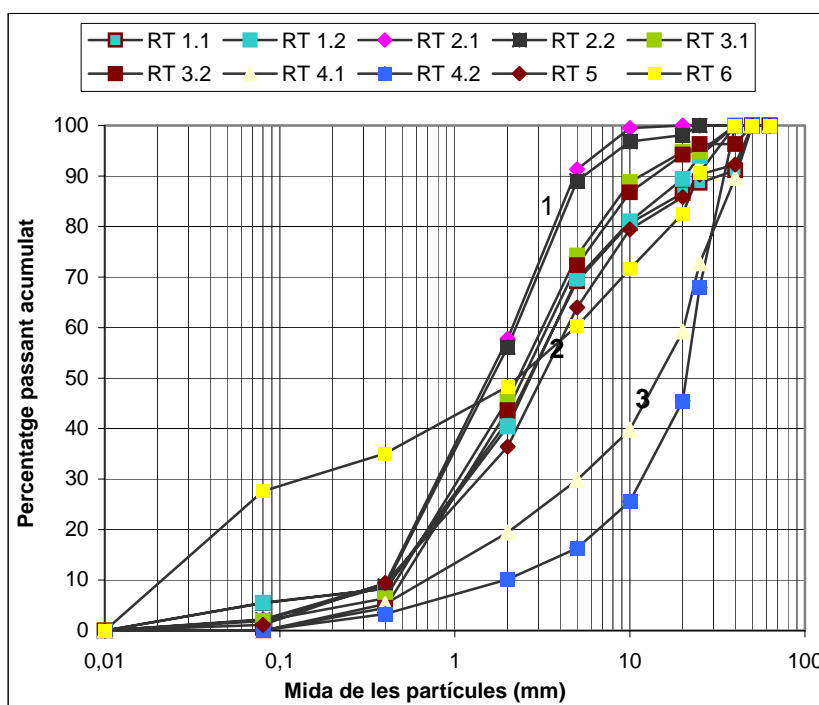
La sedimentació actual s'ha valorat a partir de l'estudi de les característiques granulomètriques dels materials presents al llit de la riera. El procediment i l'aparellatge utilitzat ha estat descrit en el capítol d'Aigües Subterrànies.

S'han seleccionat una total de 6 punts de mostreig distribuïts al llarg del traçat de la riera. En cadascun d'aquests punts s'han pres mostres a 20 i 30 cm de fondària, a excepció de RT5 i RT6 que només se'n agafà una a 20 cm. A la figura 12.27 es presenta la localització dels diferents punts de mostreig, així com de forma esquemàtica els resultats dels diferents assajos realitzats.

A la gràfica següent (Gràfica 12.1) es presenten detalladament els resultats obtinguts. Com s'observa les corbes granulomètriques es poden agrupar segons 3 fusos principals. A excepció de la mostra referenciada com a RT6, de característiques peculiars, totes elles participen en algun dels fusos indicats.

Fus granulomètric 1

Les mides de grans més petits i al mateix temps més uniformes es donen en aquesta zona definida per les mostres RT 2.1. i RT 2.2., recollides al tram final de la riera, just a l'entrada del nucli urbà. Segons la classificació UNE 7376-75 es tracta de sorres mitjanes i grolleres en gairebé un 50% i de graves fines, amb un percentatge molt petit de graves grolleres. El contingut en llims i argiles (fins) és inferior al 2,24 %.



Gràfica 12.1.- Corbes granulomètriques dels dipòsits fluvials de la riera de Tossa

Fus granulomètric 2

Avarca mostres de la part baixa, mitjana i alta (RT 1.1, RT 1.2, RT 3.1, RT 3.2 i RT 5). Les característiques texturals són força similars a les descrites en el cas del grup anterior; la principal diferència radica la presència d'entre 10% a un 20% de fracció de grava grollera i bols.

Segons la classificació UNE anteriorment esmentada, corresponen a sorres mitjanes i grolleres en gairebé un 45% i de graves fines; el percentatges en fins, argiles i llims, no representa més d'un 1,98 % del total de la mostra, tot i que en les RT.1 arriba a ser del 5,48%

Fus granulomètric 3

Es tracta de les mostres referenciades com a RT 4.1 i RT 4.2. Destaca l'elevat contingut en fracció superior a 10 mm de diàmetre, representant gairebé el 75% de la

mostra. Segons la mateixa norma es tracta de graves mitges a grolleres amb algun bolo i fins.

La mostra referenciada com a RT.6, la més llunyana a la desembocadura, presenta característiques peculiars. Destaca l'elevat contingut en fins reconeguts; de l'ordre d'un 30% de la mostra té una mida de gra inferior a 0.08 mm de diàmetre. La resta de categories resten representades de forma homogènia fins als 25 mm de diàmetre.

Pel que fa a la composició dels còdols s'observa que respon a la mateixa composició litològica de l'àrea font. Bàsicament tot és sauló que prové dels diferents granitoides i amb una escassa representació de roques metamòrfiques de la part més llunyana de la riera.

En quant el percentatge de material antròpic es pot observar (Taula 12.1) que varia des d'un 0,42 a un 8,07% del total de la mostra destriada (fraccions granulomètriques superiors als 2 mm de diàmetre). Cal destacar la diferència de percentatges entre RT.5 i 6. Tot i estar localitzades molt properes, estan separades pel torrent que drena l'abocador clausurat. Mentre abans d'aquesta bifurcació el percentatge no arriba al 0,5%, després d'aquest és de més del 5,5%.

Punt de mostreig	% material antròpic (>2mm)
RT 1.1	1,93
RT 1.2	0,91
RT 2.1	2,83
RT 2.2	3,97
RT 3.1	1,36
RT 3.2	8,07
RT 4.1	4,47
RT4.2	3,16
RT 5	5,58
RT 6	0,42

Taula 12.1.- Contingut de material antròpic (>2mm) a les mostres de la riera de Tossa

Aquestes dades granulomètriques descrites manifesten varis fets. Destaquem els següents:

- En general, les mostres permeten reconèixer característiques granulomètriques diferents segons sectors. El tram mitjà-alt presenta corbes amb percentatges de còdols grollers significativament més alts o bé presenten un caràcter ben graduat, heteromètric, amb un significatiu percentatge en fins. Aquestes tendències (fus granulomètric 3 i corba granulomètrica de la mostra RT.6), que corresponen a graves mitges i grolleres amb sorres grolleres, contrasten amb la homogeneïtat

granulomètrica que caracteritza el tram baix (fus granulomètric 1 i 2); en aquest tram hi ha un clar domini de les sorres mitjanes i grolleres.

- Algunes de les mostres que prové del tram mitjà-alt és força similar des del punt de vista de la mida de gra a les del tram baix. Aquest fet, un cop valorat el contingut en materials antròpics, s'atribueix a l'existència d'aportacions laterals que homogeneïzen els materials com podria ser l'abocador anteriorment esmentat.
- El contingut en fins (argiles i llims) és força baix per a la majoria de mostres estudiades. El contingut mesurat en partícules inferiors a 0.08 no supera el 5%. No obstant, la mostra RT.6, la de més a la capçalera de les estudiades presenta un contingut proper al 30%. Segurament el contingut en fins anòmal pot ser degut al rentat d'abocaments de terres que provenen d'excavacions de la carretera.
- Els materials antròpics de mida de gra superior a 2 mm presents en el llit de la riera, representen percentatges molt variables. S'han detectat varis trams on el contingut oscil·la entre el 0.5% i el 5.5%. La sobtada aparició de material antròpic es podria relacionar amb l'existència de l'abocador de residus inerts ja clausurat (situació a la Figura 12.27) però no del tot segellat. Aquesta afirmació queda reflectida a la figura 12.26, on es pot observar la clara pèrdua de materials argilol·limosos, juntament amb fraccions més grolleres de runes i vidres:



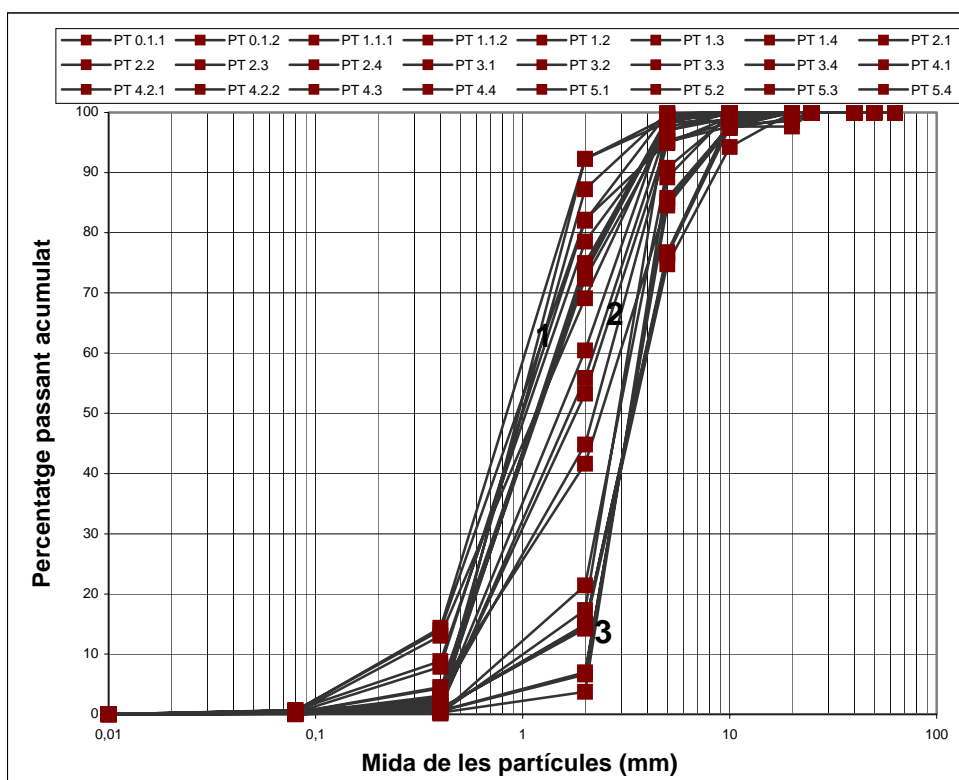
Figura 12.26.- Abocador de runes clausurat a la riera d'Aiguafina, conca de la riera de Tossa

Vall a dir que com a treballs futurs seria interessant dur a terme cales i controls periòdics dels volums antròpics al llarg de la riera, així com a la platja, per tal d'avaluar més exhaustivament aquesta problemàtica apuntada aquí.

Sedimentació litoral

Atenent a la dinàmica natural del sistema fluvial, un dels efectes principals d'aquests tipus de dipòsits és la possible incidència que poden tenir, a mitjà termini, en la qualitat de la sorra de la platja, punt final del transport de sediments de la conca. Per tal de valorar la situació actual s'han realitzat proves granulomètriques seguint diverses seccions definides a la platja (mostres cada 5-10 metres a una profunditat de 30 cm, 5 seccions repartides equidistantment per la Platja Gran). En la figura 12.27 es presenta la localització de les diferents seccions de mostreig (des de PT.0 a PT.5), així com de forma esquemàtica els resultats dels assajos granulomètrics realitzats.

A la gràfica 12.2 es presenten els resultats detallats obtinguts. Com succeeix en el cas del dipòsits fluvials, aquestes corbes granulomètriques també es poden agrupar segons 3 fusos principals.



Gràfica 12.2.- Corbes granulomètriques de la Platja Gran de Tossa de Mar

Fus granulomètric 1

La mida de grans més petits i al mateix temps més uniformes es donen en aquesta zona definida per les mostres PT.1.3, PT.3.4, PT.4.2.1, PT.4.2.2, PT.4.3, PT.4.4,

PT.5.1, PT.5.2 i PT.5.4. Segons la classificació UNE 7376-75 es tracta de sorres fines i mitjanes en gairebé un 90% i una petita fracció de llims grollers i graves fines. El contingut en llims i argiles (fins) és inferior al 5%.

Fus granulomètric 2

Aquesta zona del gràfic ve definida per les mostres PT.2.4, PT.3.1, PT.3.2, PT.3.3 i PT.4.1. Les característiques texturals són força similars a les descrites en el cas del grup anterior; la principal diferència radica la presència d'un desplaçament de tot el fus cap a materials una mica més grollers.

Segons la mateixa classificació anteriorment esmentada, corresponen a sorres mitjanes en gairebé un 55%; el percentatge en fins, argiles i llims, no representa més d'un 1,5% del total de la mostra.

Fus granulomètric 3

Es tracta de les mostres referenciades com a PT.0.1.1, PT.0.1.2, PT.1.1.1, PT.1.1.2, PT.1.2, PT.2.1, PT.2.2 i PT.2.3. Destaca l'elevat contingut en fracció superior a 2 mm de diàmetre, representant gairebé el 70% de la mostra. Segons la mateixa norma es tracta de graves fines amb algunes graves mitges a grolleres.

Pel que fa a la composició dels còdols s'observa que respon a la mateixa composició litològica de l'àrea font. Bàsicament tot és sauló que prové dels diferents granitoides presents a la conca i amb una escassa representació de roques metamòrfiques de la part més llunyana de la riera.

La similitud, en quan a la distribució de fusos granulomètrics, que presenten els sediments de la platja amb els dels trams mitjans-baixos de la riera, corrobora la relacions genètiques existents. És a dir, el que passa a la riera té reflex en la platja.

En general, el grau d'antropització de la sorra de la platja es pot qualificar com a baixa, presentant des de mostres sense cap element al·lòcton artificial fins a mostres amb un 20,76% d'aquest material. Tot i això en general no s'arriba a tenir més d'un 0,5% (Taula 12.2)

Punt de mostreig	% material antròpic (>2mm)	Punt de mostreig	% material antròpic (>2mm)
PT 0.1.1	0,01	PT 3.2	0,16
PT 0.1.2	0,07	PT 3.3	0,25
PT 1.1.1	0,08	PT 3.4	0,16
PT 1.1.2	0,23	PT 4.1	0,24
PT 1.2	0,53	PT 4.2.1	0,12
PT 1.3	0,17	PT 4.2.2	0,05
PT 1.4	0,31	PT 4.3	0,16
PT 2.1	0,37	PT 4.4	0
PT 2.2	0,07	PT 5.1	20,76
PT 2.3	0,06	PT 5.2	0,08
PT 2.4	0,84	PT 5.3	0
PT 3.1	0,08	PT 5.4	0,09

Taula 12.2.- Contingut de material antròpic (>2mm) a les mostres de la Platja Gran de Tossa de Mar

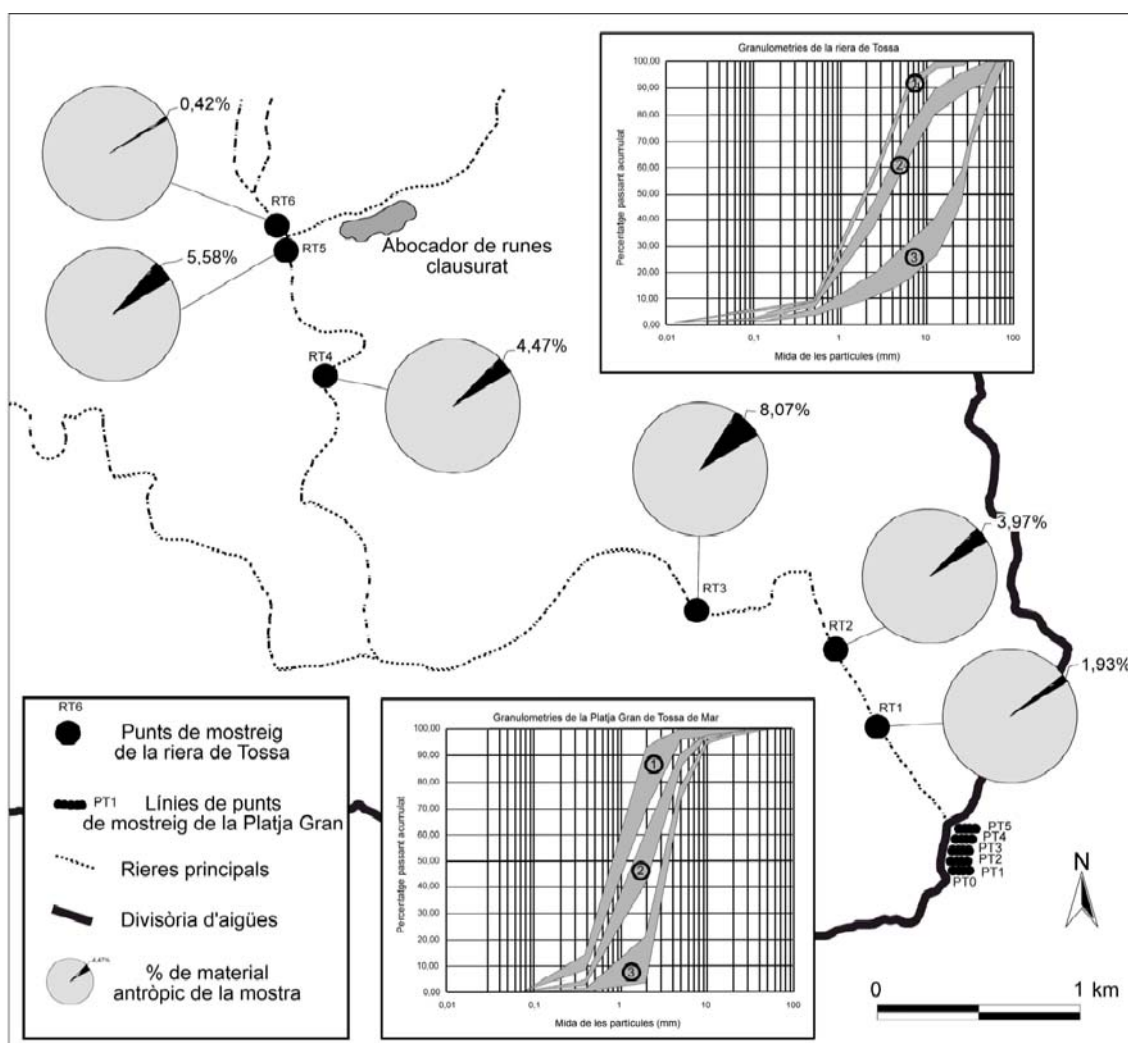


Figura 12.27.- Localització dels punts de mostreig, resums de resultats dels assajos granulomètrics i dades màximes de percentatge de material antròpic per a les mostres de la riera de Tossa

E.- CONCLUSIONS

13.- Conclusions

13.- CONCLUSIONS

Al llarg dels capítols precedents, derivat de l'estudi i anàlisi del territori considerat, hem anat presentant l'idiosincràsia geoambiental d'aquest, tant amb fets observats com mesurats, obtenint la seva valoració i finalment mostrant la forma de ponderar-ho de la forma més objectiva possible. Hem acomplert d'aquesta forma els objectius que ens havíem imposat al principi de la tesi. Per tant sense més dilacions només ens cal presentar les conclusions finals que se'n desprenen.

En aquest present capítol es pretén presentar els elements més notoris que es deriven del nostre treball; sintetitzant en alguns casos les dades obtingudes, proposant interpretacions o hipòtesis noves i establint un futur pla de treball.

Atenent inicialment al coneixement adquirit en relació a variables estàtiques i climàtiques, destaquem els següents punts:

- La Costa Brava meridional, correspon a un territori d'uns 291 km² que de manera natural s'organitza en cinc conques hidrogràfiques principals: Aubi, riera de Calonge, Ridaura, riera de Tossa i riera de Lloret; essent aquest tipus de divisions territorials les de major significació geoambiental.
- Sota una perspectiva cronològica, s'han distingit cartogràficament (Mapa 1.- Litologia) el conjunt de materials aflorants en l'àmbit d'estudi. En aquesta cartografia específica s'ha prestat especial èmfasis en la identificació i distinció d'unitats litològiques que expliquen posteriorment l'abast d'alguns dels processos i recursos estudiats. Les roques genèricament considerades com a granitoides representen el 60% de l'àrea estudiada.
- Les propietats lineals i de superfície del sistema de drenatge posen de manifest que es tracta d'unes conques que faciliten el desenvolupament d'avingudes de caire torrencial. En general, els diferents paràmetres morfològics mesurats atribueixen una major torrencialitat a les conques més meridionals: Tossa i Lloret; essent progressivament més baixa en direcció nord-est; o sigui les conques del Ridaura, Calonge i Aubi.
- Aquesta zonació de comportaments hidrològics detectada, també s'observa en el cas de les propietats de relleu valorades. Així, per exemple, les integrals hipsomètriques manifesten un progressiu increment en el grau d'evolució de les conques, des de posicions meridionals (0,34) a septentrionals (0,24).
- En quan al règim de precipitacions volem destacar que els totals de precipitació anuals no han experimentat canvis significatius durant els darrers 30 anys. No obstant, s'observen tendències estadístiques que indiquen que les precipitacions intenses i de curta durada són cada vegada més freqüents en detriment dels temporals de baixa intensitat i varis dies de durada. La confirmació d'aquests canvis implica una gran transcendència en la dinàmica hidrològica i hidrogeològica de les conques.
- Les precipitacions màximes diàries que originen avingudes varien entre els 150 l/m² i els 260 l/m², per a períodes de retorn de 50 i 500 anys respectivament.

En un altre àmbit de fets, situant-nos en el camp dels processos dinàmics estudiats a l'entorn dels sistema fluviotorrencial, ressalten les següents consideracions:

- El risc potencial d'erosió hídrica laminar, valorat cartogràficament pel mètode de la USLE (Mapa 2.- Dominis Morfodinàmics), posa de manifest que les conques investigades poden arribar a produir, en ordres de magnitud, entre $10 \cdot 10^3$ tn/any i $130 \cdot 10^3$ tn/any. Les taxes d'erosió més elevades s'obtenen per les conques de Calonge i Aubi; valors de 24 tn/ha/any i 10 tn/ha/any respectivament, on les vessants lleugerament inclinades ocupen una considerable extensió.
- Les zones que de manera natural poden arribar a patir una erosió alta o severa (> 10 tn/ha/any) ocupen el 19% del conjunt de l'àrea estudiada.
- En aquestes zones, les taxes d'erosió obtingudes mitjançant mesures directes (claus d'erosió) confirmen l'important paper que realitza la vegetació:
 - En aquelles zones on el terreny es manté descobert de vegetació, tal com succeeix en un tallafoc, en una pista forestal o en un camí de desembosc, les taxes d'erosió mitjanes assoleixen valors molt elevats: entre 120 tn/ha/any i 170 tn/ha/any, i es mantenen força constants al llarg dels anys. En aquest cas, el desenvolupament d'una erosió concentrada és el mecanisme denudatiu principal.
 - En canvi, en àrees cremades, les taxes d'erosió varien considerablement al llarg dels anys. Durant els primers s'assoleixen valors compresos entre 30 tn/ha/any i 125 tn/ha/any. Posteriorment, quan les condicions naturals de la coberta vegetal es recuperen, aquestes xifres tendeixen a disminuir fins a valors variables d'entre 6 tn/ha/any i 12 tn/ha/any.
- Insistent en el coneixement de l'erosió hídrica provocada per l'activitat antròpica, en concret la induïda per la creació de camins i pistes forestals en les parts altes de les conques, s'ha detectat que les longituds totals de la xarxes de camins i pistes es similar o superior a les xarxes de drenatge natural. L'existència d'aquestes vies suposa un increment de la taxa d'erosió d'entre un 14% i un 27%.

- Les diferents aproximacions quantitatives realitzades corroboren el caràcter eminentment erosiu de conques hidrogràfiques, deduït en primera instància, mitjançant anàlisis morfomètriques.
- Pel que fa als processos de transport-sedimentació en el nostres sistemes fluviotorrencials, la recerca s'ha orientat a la cartografia d'àrees inundables, en base a la combinació de mètodes hidrològics-hidràulics i criteris geomorfològics (Mapa 2.- Dominis Morfodinàmics), i a l'anàlisi dels efectes que els canvis d'usos del sòl ocasionen en els cabals màxims d'avingudes.
- Les dades cartogràfiques aconseguïdes posen de manifest que els desbordaments es concentren en els trams finals de les conques, coincidint amb els nuclis urbans i les àrees més urbanitzades. Aigües amunt, els recreixements dels marges i la construcció de murs de contenció impossibiliten els desbordaments dels canals principals. Aquesta situació actual difereix considerablement de l'existent als anys 1950-60; on els desbordaments naturals es concentraven en el trams mitjans de les conques, provocant consegüentment un descens dels pics d'avinguda que arribaven als trams baixos. En aquests sectors, les àrees afectades per inundacions ocupaven una extensió notòriament inferior a l'actual.
- Els cabals màxims d'avingudes estimats per als usos del sòl existents al territori durant el període 1957-1993, i per hipotètics escenaris d'ocupació i gestió futures, revelen els següents comportaments:
 - Durant el període 1957-1974 els cabals estimats es mantenen constants o bé disminueixen lleugerament. S'opina que l'augment de la massa forestal com a conseqüència de l'abandó dels camps de cultiu és la causa principal.
 - Des de 1974 fins a 1993 els cabals màxims s'incrementen (entre un 3 % i 6 %). Aquest canvi s'atribueix essencialment al creixement del sòl urbà en detriment del bosc.
 - L'assoliment futur de les previsions de creixement urbanístics existents, suposaria un increment de la quantia del cabals màxims d'avingudes. En conjunt els valors s'incrementarien de l'ordre d'un 5%.

- L'aplicació de les mesures d'àmbit local per a la gestió de l'escolament superficial (Low Impact Development), pel conjunt del territori urbanitzat i urbanitzable, representaria una reducció dels cabals màxims de l'ordre d'un 10% a un 15%.

- L'estudi integrat dels diferents processos dinàmics que actuen a nivell de conca, i de les seves formes resultants, ens ha permès identificar en les principals conques de l'àmbit d'estudi àrees caracteritzades per un comportament geomòrfic uniforme (Mapa 2.- Dominis Morfodinàmics). En aquesta tipologia d'àrees, que hem denominat dominis morfodinàmics, els processos que s'hi desenvolupen s'organitzen espacialment i temporal d'una determinada manera. Són conseqüència d'una distribució i magnitud dels canvis geomòrfics desencadenats per precipitacions màximes.
- A les parts mitjanes-altes de les conques destaquem el desenvolupament d'acumulacions originades per *debris flow* i represaments derivats taponant les valls. L'activitat neotectònica d'alguna de les fractures existents s'associa al desenvolupament d'aquestes cons de dejecció ja que els nivells de base dels torrents que generen aquests dipòsits es troben alineats per fractures recents. Aquesta relació observada entre fracturació neotectònica i ventalls al·luvials pot ser utilitzada com a element de prevenció d'aquest fenomen.
- A les parts baixes, les inundacions constitueixen el fenomen morfodinàmic més rellevant com a condicionat de l'ús del territori. A part de la limitació antròpica de la capacitat d'emmagatzematge natural de la planes d'inundació, descrita anteriorment, destaquem el paper de les aigües subterrànies. Per valorar la significació d'aquesta interrelació s'han contrastat registres piezomètrics i dades històriques d'inundacions. Els resultats indiquen que precipitacions de similars característiques donen respostes hidrològiques diferents; en situacions de nivells piezomètrics baixos els efectes són menors que els ocasionats en èpoques on els nivells piezomètrics són elevats.
- La tendència actual d'abandó de les extraccions d'aigua subterrània està provocant una recuperació històrica de nivells piezomètrics que en determinades conques pot suposar un increment del risc d'inundacions. Per tant, com hem manifestat, pot ser un element significatiu que caldria avaluar conjuntament amb la resta d'elements que condicionen la resposta hidrològica d'un sistema fluvial.

- Cal destacar que els models hidrològics que tradicionalment s'apliquen pels càlculs de màximes avingudes no contemplen aquesta diversitat de processos actuant segons dominis morfodinàmics, ni les seves interrelacions, i en conseqüència, infravaloren el potencial de risc existent.
- En conjunt, el grau d'evolució geomorfològic de les conques estudiades és progressivament més elevat del sud cap al nord. Aquest fet, amb concordança amb els paràmetres morfomètrics descrits anteriorment, s'atribueix una major activitat neotectònica en les conques septentrionals.

Pel que fa a les ofertes de recursos geoambientals que l'àrea d'estudi ofereix, hem aprofundit en el coneixement de les següents tipologies: els recursos hídrics, les roques industrials i els georecursos litorals.

- Com anàlisi preliminar per l'estudi cartogràfic de les dues primeres tipologies citades, hem dut a terme una caracterització geomecànica del conjunt del territori (Mapa 3.- Caracterització Geomecànica). Les zonacions realitzades es fonamenten en l'estudi de la fracturació dels massissos rocosos i en el contingut en fins de les formacions superficials.
- Centrant-nos en l'estudi de les aigües subterrànies, les principals unitats aquíferes identificades han estat delimitades cartogràficament (Mapa 4.- Formacions Aquíferes) i acotades les seves geometries i principals característiques hidràuliques. Destaquem les interrelacions existents entre les diverses formacions aquíferes, concretades en el model de circulació subterrània global proposat per a la zona d'estudi (Figura 10.11).
- En l'actualitat, els recursos renovables en el conjunt de sistemes fluviodeltaics (entre uns 7 i 10 hm³) sobrepassen àmpliament el volum d'extraccions que s'hi desenvolupen. En general, el quimisme de les aigües subterrànies les fa aptes pel consum humà.
- En els principals aquífers fluviodeltaics el cessament parcial de les extraccions d'aigua subterrània i la recàrrega amb aigües regenerades està provocant una pujada dels nivells piezomètrics, fins a assolir els valors màxims dels darrers 30 anys.

- D'entre les problemàtiques derivades de l'explotació de les aigües subterrànies, en destaquem els derivats de la subsidència del terreny. S'han detectat certs indicis entorn al desenvolupament d'aquest fenomen i han estat acotades les zones amb una susceptibilitat més elevada a aquest procés.
- Pel que fa a recursos derivats de les roques industrials, la delimitació cartogràfica s'ofereix al Mapa 5.- Roques Industrials. En aquest document es distingeixen diverses categories d'àrids i de roques de construcció en base a la seva qualitat natural. De l'anàlisi territorial efectuada pot afirmar-se que mentre els recursos de roques de construcció són escassos, la resta mostra una notable potencialitat.
- Com a exemple dels conflictes d'usos que es generen a l'entorn de la utilització d'aquest recurs, hem fet una anàlisi valorativa dels diferents escenaris en que es troben les extraccions d'àrids en medis fluvials. Ha estat establert un marc de gestió, fonamentat en uns criteris tècnics de referència, per fer compatibles les extraccions mineres i la conservació i explotació dels recursos hídrics.
- Pel que fa als georecursos litorals considerats en aquest estudi, els penya-segats i les platges, la recerca realitzada s'ha orientat a l'estudi de factors que actuen com a limitadors o condicionants d'ús.
- La problemàtica de la inestabilitat dels talussos al litoral porta inherent un risc potencialment alt. L'estudi d'aquest fenomen en els camins de ronda litoral revelen que les zones conflictives s'emmarquen en un context mordinàmic de penya-segats en retrocés actiu. Atesa la naturalesa granítica de la majoria dels materials aflorants, l'alliberament de fragments de roca es realitza, fonamentalment, a favor dels plans de fracturació. Els moviments resultants presenten mecanismes típics de caiguda per col·lapse i de caiguda per despreniment.
- L'obertura de les fractures de les roques és atribuïble a diferents factors. El mecanisme més habitual és la penetració i creixement d'arrels d'arbres al llarg d'aquestes discontinuïtats. S'ha pogut constatar al camp que la majoria de caigudes recents i imminents es deuen a aquest efecte. En alguns casos, ha estat la caiguda de l'arbre la que ha arrencat i arrossegat blocs de roca de dimensions considerables.

- La possible pèrdua de qualitat natural de la sorra de la platja degut al progressiu increment d'elements antròpics constitueixi un element de risc, i sense dubte, minimitza el potencial geoturístic de la regió. Estimem que en diverses valls els dipòsits antròpics (residus inerts i abocaments d'excavacions de terres) ocupen una superfície total de l'ordre d'un 60-70% de l'àrea ocupada per la vall.
- L'estudi de detall de la riera de Tossa revela que els actuals episodis de transport incorporen material antròpics. L'anàlisi granulomètrica de les fraccions superiors a 2 mm dels sediments de la riera indica que els abocaments de restes d'obres (residus inerts) arriben a percentatges lleugerament superiors al 8%. La similitud, en quan a la distribució de fusos granulomètrics, que presenten els sediments de la platja amb els dels trams mitjans-baixos de la riera corrobora les relacions genètiques existents. En general, el grau d'antropització de la sorra de la platja es pot qualificar com a baixa, presentant des de mostres sense cap element al·lòcton fins a mostres amb un 20,76%. Tot i això en general no s'arriba a tenir més d'un 0.5%.

Un cop tractades i valorades el conjunt de dades obtingudes en aquesta tesi, és a dir, partint dels coneixements adquirits, es deriven futures línies d'actuació que permetran discernir hipòtesis o bé resoldre nous problemes plantejats. S'opina que les visions sistèmiques i les metodologies integradores, com són els Sistemes d'Informació Geogràfica constitueixen la base de futures recerques en aquesta àmbit.

La gran similitud existent entre un considerable nombre de conques hidrogràfiques de la Costa Brava, tant pel que fa a aspectes naturals com antròpics, fa possible que les conclusions que es deriven d'aquest estudi siguin fàcilment extrapolables en el mencionat context territorial. Creiem, finalment, que a través d'aquesta tesi doctoral el camí per aprofundir en el coneixement geoambiental de la Costa Brava resta obert.

14.- BIBLIOGRAFIA

14.- BIBLIOGRAFIA

ABRAHAMS, A.D. (1984). *Channel networks: A geomorphological perspective*. Water Resour. Res.: 20, 161-168 pp.

ACA-UdG (2001). *Projecte d'aplicació de criteris tècnics de referència que han de delimitar i condicionar les expectatives d'extraccions d'àrids en l'àmbit hidrogeològic del riu Ter. Estudi del tram comprès entre la presa de Colomers i el congost de Sant Julià de Ramis*. Projecte de col·laboració de l'ACA amb l'Àrea de Geodinàmica Externa de la UdG. Inèdit.

ACA-UdG (2002). *Projecte d'aplicació de criteris tècnics de referència que han de delimitar i condicionar les expectatives d'extraccions d'àrids en l'àmbit hidrogeològic del riu Ter. Estudi del tram comprès entre la presa del Pasteral i el congost de Sant Julià de Ramis*. Projecte de col·laboració de l'ACA amb l'Àrea de Geodinàmica Externa de la UdG. Inèdit.

ACA (2002 b): *Estudi d'actualització de l'avaluació de recursos hídrics de les conques internes de Catalunya*. Document de síntesi. Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya, 38 pp.

ACA-UB (Agència Catalana de l'Aigua i Universitat de Barcelona) (2002). *Model de gestió del sistema hidrogeològic de naturalesa granítica del Montseny-Guilleries*. Informe Final, 460 pp.

ACA (2004). *Aigües subterrànies. Consulta interactiva*. Àrea d'Inspecció i Control. <<http://www.gencat.net/aca>> (desembre 2004).

ACEBILLO, J. & FOLCH, R. (dirs) (2000). *Atlas ambiental de l'àrea de Barcelona: balanç de recursos i problemes*. Barcelona. Ariel-Barcelona Regional.

AGILAR RUIZ, J (2003). *Información acerca del suelo. Cursos on line y monografías* <<http://edafologia.ugr.es/index.htm>> (gener de 2004).

AGUEDA, J.A.; CENCRERO, A.; ELÍZAGA, E.; PUIG DE FÁBREGAS, C. & MARTÍN VIVALDI, J.A. (1984). *Panorama actual de la Geología Ambiental*. Actes del I Congreso Español de Geología, vol. V: 99-129 pp.

ALAN E. MUSSET, M; AFTAB KHAN (2000). *Looking into the earth. An introduction to geological geophysics*. USA. Cambridge University Press. 470 pp.

ALBERT, J.F. & COROMINAS, J. (1980). *Estudio geotérmico de la depresión de la Selva*. ITME-Compañía General de Sondeos. Inèdit.

ALBRITTON, D.L. et al. (2003). *Canvi climàtic 2001: III informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC)*. Col·l. Documents, 13. Generalitat de Catalunya. 69 pp.

ALCALÁ-GARCÍA, FJ; MIRÓ, J. & MARTÍN-MARTÍN, M. (2003). *Actualización geológica del delta del Llobregat (Barcelona, España). Implicaciones geológicas e hidrogeológicas*. A: Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. Ed. IGME: 45-52 pp.

APARICIO MIJARES, F.J. (1987). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Noriega Editores. Cuernavaca (Mèxic). 303 pp.

ARC (2005). Web de l'Agència de Residus de Catalunya. <<http://www.arc-cat.net/home.asp>> (gener 2005)

ARCHE, A. et al. (1989). *Sedimentología* (vol I). CSIC. Madrid. 541 pp.

ARMAYOR CACHERO, J.L.; MURILLO DÍAZ, J.M; RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, L. (1996). *Recarga artificial en el acuífero de Jávea mediante aprovechamiento de los excedentes hídricos procedentes del río Jalón-Gorgos (Alicante)*. <<http://www.ITGE.es>> (juny 2004).

ARNAUD-FASSETA, G.; COSSART, E. & FORT, M. (2004). *Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, Southern French Alps)*. *Geomorphology*, In Press, Accepted 4 March 2004. 27 pp.

ARRANZ, D.; HIMI, M.; CASAS, A., et al. (2004). *Evolución de la intrusión salina en el delta de la Tordera utilizando FDEM*. A: Liesa, C.L.; Pocoví, A.; et al. (eds.) *Geotemas*. VI Congreso Geológico de España. Zaragoza, 6(4): 141-143 pp.

ARTHUR, J.D. & POLLOCK, W.H. (1998) *Use of ArcView GIS for Geologic Surface Modeling. Preliminary Results from Subsurface Mapping in Southwest Florida*. US Geological Survey Open-File Report 98-487. <<http://www.pubs.usgs.gov/of/of98-487/arthur.html>> (juny de 2003)

ASENSIO AMOR, I. (1973). *Comportamiento y evolución de materiales graníticos en cuencas fluviales y diferentes climas. Estudio morfodinámico*. CSIC. Madrid.

ASTIER, J.L (1975). *Geofísica aplicada a la hidrogeología*. Madrid. Paraninfo. 344 pp.

ASTM (1988). *Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometers*. En: Annual book of ASTM standards. Vol. 04.08. 402-407pp.

AYALA CARCEDO, F.J. (coord.) (1986). *Estudio geológico para la previsión de riesgos por inundaciones en el País Vasco (Alava y Vizcaya) y el condado de Treviño. E.1/100,000*. ITGME. Madrid. 71 pp. + anexes.

AYALA CARCEDO, F.J.; DURAN VALSERO, J.J. & PEINADO PARRA, T. (coord.) (1987) *Riesgos Geológicos*. IGME. Madrid. 333 pp.

AYALA CARCEDO, F.J & ELIZAGA MUÑOZ, E. (coord.) (1987). *Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España*. IGME. Madrid. 68 pp.

AYALA CARCEDO, F.J & OLCINA, J. (coord.) (2002). *Riesgos naturales*. Ariel. Barcelona. 1512 pp.

BACH, J. (1990). *L'ambient hidrogeològic de la plana litoral de l'Alt Empordà (NE de Catalunya)*. Tesi doctoral. UAB. 464 pp.

BARADAD, O. (2004). *Els recursos hídrics en una zona litoral: el cas de la plana de l'Alt Empordà*. UAB. Tesina-DEA. Inèdit. 123 pp + annexes.

BARBAZA, Y. (1966). *Le paysage humain de la Costa Brava*. Paris, Ed. Armand Colin.

BARRAGÁN, J.M. (2003). *Medio ambiente y desarrollo en áreas litorales: introducción a la planificación y gestión integradas*. Universidad de Cádiz. Servicio de Publicaciones. 306 pp.

BASTES, R.L. & JACKSON, J.A. (1980). *Glossary of Geology* (2a Ed.) American Geological Institute, Virginia.

BATLLE, A.; BACH, J. & MURILLO, J.M. (1994). *Implicaciones ambientales de la contaminación de las aguas subterráneas en el Parque Natural de los "Aiguamolls" del Empordà (Girona)*. A: Rebollo, R.F. (ed.) Análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas: ponencias y comunicaciones. Congreso de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Granada. 2: 265-282 pp.

BELL, J. & BRYANT, J. (2002). *Modelling Soil Erosion Risk with the Integration of the Universal Soil Loss Equation within a GIS for Watonwan County, Minnesota*. Univ de Guelph. Canadá. <http://www.uoguelph.ca/geography/research/geog4480_w2002/index.htm> (febrer de 2004).

BENNET, M. & DOYLE, P (1997). *Environmental Geology: geology and the human environment*. John Wiley & Sons, 501 pp.

BERG, R.C. (2003). *Three-dimensional Geological Mapping for Groundwater Protection and Environmental Assessment*. En Innovative Applications of GIS into Geological Cartography. 24-26 November 2003. Kazimierz Dolny, Poland. <<http://kqp.wnoz.us.edu.pl/ARW/index.html>> (abril de 2004).

BETZ, F. (ed) (1975). *Environmental Geology*. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg, Penn, 390 pp.

BOBROWSKY, P.T. (ed) (2002). *Geoenvironmental mapping: methods, theory, and practice*. A.A. Balkema Publishers cop. 725 pp.

BOSQUE SENDRA, J. (1992) *Sistema de Información Geográfica*. Madrid, Ediciones Rialp. 451 pp.

- BOTÉ i FRECH, R. (1996). *Condicionament de la carretera GI-681 Llagostera-Tossa de Mar del PK 7+500 al PK 16+400*. Projecte Constructiu, Vol 1. Ingeniería del Trazado, S.L. Barcelona. Inèdit.
- BOWLES, J.E. (1992). *Engineering properties of soils and their measurement*. McGraw-Hill, Inc. 4a ed. 241 pp.
- BURROUGH, P.A. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford. Oxford University press. 194 pp.
- BUXÓ PAGESPETIT, P. (1996). *La Crescuda del riu Tenes del 10 d'octubre de 1994 : reconstrucció de l'avinguda i dinàmica sedimentària*. Tesina-UPC. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Barcelona. 83 pp. Inèdit.
- CASALE, R; MARGOTTINI, C (editors) (1999). *Floods and Landslides: integrated risk assessment*. Col·l. Environmental Science. Springer cop. Berlin. 373 pp.
- CASSO, J. (2002). *Marc jurídic i competencial en matèria d'ordenació territorial del litoral a Catalunya*. A: ARAGONÈS, E. (ed) (2002). *Mediterranean Symposium on Protected marine and coastal Areas*. Actes. 6-10 març de 2002. DMA. Barcelona. 373-380 pp.
- CATALÁN LAFUENTE, J.G. (pres. org) (1969). *Documentos de investigación hidrológica. Comunicaciones presentadas al III Coloquio de Investigaciones sobre el Agua*. CSIC. Sevilla.
- CENDRERO, A. (1980). Bases doctrinales y metodológicas. *I Reunión Nacional de Geología ambiental y Ordenación del Territorio*. Vol. de Ponencias. Santander: 1-62 pp.
- CENSA (1999). *Redacció de l'avantprojecte d'endegament del tram final del riu Ridaura. T.M. de Catell – Platja d'Aro. (Baix Empordà)*. Ajuntament de Castell-Platja d'Aro i Junta d'Aigües.
- CENTENO, J.; FRAILE, M.J.; OTERO, M.A. y PIVIDAL, A.J. (1994). *Geomorfología Práctica. Ejercicios de Fotointerpretación y Planificación geo-ambiental*. Rueda, Madrid, 136 pp.
- CEOTMA (1984). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*. Serie Manuales. 3a i 2a ed. MOPU. 572 pp.
- CHOW, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill, London. 680 pp.

CHOW, V. T. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana. Santafé de Bogotá. 584 pp.

CHUVIECO, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Editorial Rialp. 3a ed., Madrid, 568 pp.

COATES, D.R. (1981). *Environmental Geology*. Wiley & Sons, New York, 701 pp.

Comunicacions (1969). *Documentos de investigación hidrológica*. Centro de Estudios, Investigación y aplicaciones del Agua. Sevilla. 172 pp.

COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. (1990). *Geomorphology in environmental management*. Oxford University Press, Oxford, 615 pp.

COROMINAS, J. & LOPEZ, J.A. (1988). *Interferencias y analogías entre contaminación por abonos y por intrusión marina en acuíferos costeros del litoral catalán*. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros. Almuñécar. Granada. 1-15 pp.

COROMINAS, J. (1982). *Els factors geològics com ajuda a la planificació territorial i gestió del medi ambient al Vallès Occidental*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. Inèdita.

CORRALES, I.; ROSELL, J.; SÁNCHEZ, L.M.; VERA, J.A.; VILAS, L. (1977). *Estratigrafía*. Ed. Rueda. Madrid. 718 pp.

COSTA, J. (1988). *Rheologic, Geomorphic and Sedimentologic differentiation of water flloods, hyperconcentrated flows and debris flows*. 113-122 pp, A: Baker, V.R.; Kochel, R.C. & Patton, P.C. (eds). Flood Geomorphology. John Wiley & Sons.

CROUCH, R.J. (1990). *Erosion processes and rates for gullies in granitic soils. Bathurst, New South Wales, Australia*. John Wiley & Sons, Ltd. Earth Surface Processes and Landforms 15, 169-173 pp.

CULSHAW, M.G.; BELL, F.G.; CRIPPS, J.C. & O'HARA, M. (eds) (1987). *Planning and engineering geology*. Londres. Geological Society. 641 pp.

CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R. (1976). *Hidrología Subterránea*. Volum I i II. Barcelona. Ediciones Omega, S.A. 1157 pp.

DAPPORTO, S.; RINALDI, M. & CASAGLI, N. (2001). *Failure mechanisms and pore water pressure conditions: analysis of a riverbank along the Arno River (Central Italy)*. Ed. Elsevier Engineering Geology: 61; 221-242 pp.

DAPPORTO, S.; RINALDI, M.; CASAGLI, N. & VANNOCCI, P. (2003). *Mechanisms of riverbank failure along the Arno River, Central Italy*. Ed. John Wiley & Sons. Ltd. Earth Surf. Process. Landforms: 28, 1303 – 1323 pp.

DARP & DPTOP (1983). *Pla d'obres i correccions a fer a la xarxa hidrològica de Catalunya. Obres de defensa i correcció i proposta de previsió d'avingudes*. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

DAWSON, C.B; et al. (2002). *Integrated geophysical characterization of the Winthrop Landfill southern flow path, Winthrop, Maine*. A: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. Las Vegas, Nevada. 10-14 de Febrer. 22 pp.

DAY, M.J. & GOUDIE, A.S. (1977). *Field assesment of rock hardness using the Schmidt Test Hammer*. British Geomorphological Research Group. Technical Bulletin: 18, 19-29 pp.

DCB (2004). Debat Costa Brava. Congrès: Un futur sostenible. 5 i 19 de març i 2 i 16 d'abril. Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.

DÍAZ DE TERÁN, J.R. (1985). *Tipos y metodologías de cartografías geoambientales o geocientíficas. Geología Ambiental*. Serie de Ingeniería Geoambiental del ITGE, Madrid, 239-257 pp.

DÍAZ MUÑOZ, M.A. et al. (2000). *Las inundaciones en España en los últimos veinte años. Una perspectiva geográfica*. Dpto. Geografía Univ. Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid). 253 pp.

DMA (2005). Bases disponibles de la cartografia en format MiraMon del Departament de Medi Ambient i Habitatge. <<http://mediambient.gencat.net/cat/inici.jsp>> (febrer 2005).

DOBRIN, M.B.(1961). *Introducción a la prospección geofísica*. Omega. Barcelona. 483 pp.

DOLZ, J. & SÁNCHEZ, M. (2001). *Estudio hidrológico e hidráulico de la riera de Tossa y de su encauzamiento en Tossa de Mar*. Barcelona. UPC. Inèdit.

DOMENECH, J.; BATISTA, E. & FAYAS, J.A. (1979). *Evolución y problemática de la explotación del embalse subterráneo del Ridaura (Gerona)*. II Simposio Nacional de Hidrogeología. Pamplona. 21-40 pp.

DPTOP & DMA (1992). *Pla Hidrològic de les conques internes de Catalunya*. 134 pp. <<http://mediambient.gencat.net/aca/>>(desembre 2004).

DPTOP (2004). *Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner*. Barcelona, Generalitat de Catalunya, Dept. Política Territorial i Obres Públiques. <<http://www.gencat.net/ptop/plans/pcostaner.htm>>(desembre 2004).

DURÁN VALSERO, J.J, et al. (1985). *Geología y prevención de daños por inundaciones*. IGME. Madrid. 421 pp.

EASTERBROOK, D.J. y KOVANEN, D.J. (1998). *Interpretation of Landforms from Topographic Maps and Air Photographs: a Laboratory Manual*. Prentice Hall, 193 pp.

EHRlich, P.R. (ed) (1977). *Ecoscience: population, resources, environment*. Freeman, San Francisco, 1051 pp.

ELÍZAGA MUÑOZ, E i LENDINEZ GONZALEZ, A. (1982). *Dinámica fluvial de la plana de Levante (Provincia de Castellón y Valencia)*. 193-245 pp. en AYALA CARCEDO, F.J. (1986).

ERICSON, K. (2004). *Geomorphological surfaces of different age and origin in granite landscapes: an evaluation of the Schmidt hammer test*. John Wiley & Sons, Ltd. Earth Surface Processes and Landforms 29, 495-509 pp.

ETOH, T.; MUROTA, A. & NACANISHI, M. (1986). *Symposium on Flood Frequency and Risk Analysis*. Louisiana.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2000). *Introducción a la fotointerpretación*. Arial, Barcelona, 253 pp.

FERRE, E. & SENCIALES, JM. (1990). *Notas sobre la erosión hídrica en laderas de los montes de Málaga*. A: GUTIÉRREZ, M., et al. (eds) (1990). Iª Reunión Nacional de Geomorfología (1990). Teruel. 561-571 pp.

FERRER POLO, F (1993). *Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas*. CEDEX-Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. 76 pp.

FERRER, J. (1992). *Análisis estadístico de caudales de avenida*. Monografías, 26. CEDEX-Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. 42 pp.

FLAWN, P.T., FISHER, W.L. & BROWN, L.F. (1970): *Environmental geology and the coast, rationale for land-use planning*. J.Geol. Educ. 18 (2), 85-86 pp.

FONT, M.; GOMÀ, F. & ROMANS, J. (1982). *Estudi sobre els àrids de les pedreres de les comarques gironines destinats principalment a la fabricació de morter i formigó*. Laboratori d'Assaigs del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes tècnics de Girona. 85 pp.

FONT, J. & MUÑOZ, R. (2003). *Actualización hidrogeológica de los acuíferos aluviales de Tossa de Mar y Lloret de Mar (La Selva –Girona)*. XXXVII Curso Internacional de Hidrología Subterránea. FCIHS. 48 pp. Inèdit.

FONTSERÈ, E. (1950). *La Tramuntana empordanesa i el mestral del golf de Sant Jordi*. Institució Patxot de Catalunya. Genèva. 83 pp.

FRANCÉS, E. (1991). *Proyecto docente e investigador*. Universitat de Cantabria. Inèdit.

FRANSEN, P.J.B.; PHILLIPS, C.J. & FAHEY, B.D. (2001) *Forest road erosion in New Zealand: overview*. John Wiley & Sons, Ltd. Earth Surface Processes and Landforms 26, 165-174 pp.

GABALDON, V. (1984). *Ciclo de Seminarios de Sedimentología*. IGME. Madrid. 194 pp.

GALLOWAY, D.; JONES, D.R. & INGEBRITSEN, S.E. (ed) (1999). *Land Subsidence in the United States*. U.S. Geological Survey. Circular 1182. <<http://water.usgs.gov/pubs/circ/circ1182/>> (gener 2005).

GARDNER, L.W. (1939). *An areal plan of mapping subsurface structure by refraction shooting*. Geophysics, vol. 4. 247-259 pp.

GEIS NIELSEN, C. (2002). *Contribució a l'estudi geoambiental de les inundacions a la Costa Brava. El cas de la riera de Tossa*. UdG. Tesina-DEA. Inèdit. 148 pp + annexes.

GEIS NIELSEN, C. & ALMANZA ANGLADA, X. (2003). *Aportació al coneixement i a la gestió ambiental dels recursos geològics en medis fluviotorrencials. Aplicació pràctica al tram mitjà del riu Ter (sector de la cubeta de Celrà) i a la riera de Tossa de Mar*. Premi Beca Patronat Francesc Eiximenis d'Investigació en Ciències Naturals (convocatòria 2002). Inèdit. 343 pp + annexes.

GELABERT, B., et al. (2004). *Structurally controlled drainage basin development in the south of Menorca (Western Mediterranean, Spain)*. Geomorphology, In Press, Corrected Proof, Available online 13 September 2004. 1-17 pp.

GEODINÀMICA - UdG (2004). *Estudi hidrogeològic de l'aqüífer al·luvial del riu Ter en el sector corresponent al seu marge esquerre situat en els T.M. de Sant Jordi Desvalls i Colomers (Gironès, Baix Empordà)*. Informe tècnic. Inèdit. 17 pp + cartografia.

GEONICS Ltd. (1995). *EM31-MK2. Operating Manual, Data Logger operating instructions & Computer program manual DAT31-MK2*. Ontario. Canadà.

GEOSERVEI, S.L. (2001). *Estudi sobre els criteris tècnics de referència que han de delimitar i condicionar les expectatives d'extraccions d'àrids en l'àmbit del delta dels rius Fluvià i Muga*. Inèdit.

GEOTECNIA (1999). *Ensayos de campo y de laboratorio*. Madrid. AENOR.

GONZÁLEZ de VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO, L. & OTEO, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Ed. Prentice Hall, 715 pp.

GRACIA, F.J.; GUTIÉRREZ, F. & GUTIÉRREZ, M. (2003). *The Jiloca karst polje-tectonic graben (Iberian Range, NE Spain)*. *Geomorphology* 52: 215-231 pp.

GRAVELIUS, H. (1914). *Flusskunde*. Goschensche Verlagshan dlug Berlin.

GRUP D'HIDROGEOLOGIA. UPC (2000). *Funcionamiento hidrogeológico de medios de baja permeabilidad (granitos)*. A: ENRESA. Publicaciones técnicas 10/2000. IV Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Gestión de Residuos Radiactivos. Pósters Técnicos. Nº 44.

GRUSZOWSKI, K.E.; FOSTER, I.D.L.; LEES, J.A. & CHARLESWORTH, S.M. (2003). *Sediment sources and transport pathways i a rural catchment, Herefordshire, UK*. *Hydrological Processes*, 17, 2665-2681. Wiley InterScience <<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/home>> (4 de març de 2004)

GUTIÉRREZ ELORZA, M. (2001). *Geomorfología Climática*. Ed. Omega. Sabadell. 642 pp.

GUTIÉRREZ ELORZA, M. et al. (1995). *Erosión hídrica en terrenos arcillosos y yesíferos de la depresión del Ebro*. Projecte LUCDEME. ICONA-Univ. Zaragoza. Kronos. Zaragoza. 389 pp.

GUTIÉRREZ PUEBLA, J. & GOULD, M. (1994). *Sig: Sistemas de Información Geográfica*. Editorial Síntesis. Madrid. 251 pp.

- GUTIÉRREZ, J.L. & SAMPAYO, A. (1981). *Cartografía y Fotografía Aérea*. CEOTMA, Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Madrid, 348 pp.
- HACKETT, J.E. (1967). *Geology and physical planning*. En: Water, geology and the future. Indiana University, Water Resources Center, 83-89 pp.
- HARVEY, A.M. (1997). *The role of alluvial fans in arid zone fluvial systems*. A: GUTIÉRREZ ELORZA, M. (2001). *Geomorfología Climática*. Ed. Omega. Sabadell. 295-322 pp.
- HELM, D.C. (1975). *One-dimensional simulation of aquifer system compaction near Pixley, Calif., part 1. Constant parameters*. Water Resources Research, v. 11: 465-478 pp.
- HERAS, R. (1976). *Estudio Estadístico Precipitaciones Cuenca Pirineo Oriental*. DGOH.
- HORTON, R.E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. American Bulletin, 56: 275-370 pp.
- HUDSON, N.W. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. FAO. Col-I. Boletín de suelos de la FAO ; 68. 147pp.
- HUTCHINSON, P.J. & BARTA, L.S. (2000). *Geophysical applications to solid waste analysis*. A: ZANDI, I; MERSKY, R.L & SHIEH, W.K. (eds) (2000) *Proceedings of the Sixteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management*. Philadelphia. 68-78 pp.
- ICC (2004). *Mapa geològic de Catalunya 1:25.000. Calella de Palafrugell*.
- ICC-DPTOP (2000). *Mapa geotècnic de Barcelona. E/1:25.000. Versió CR-ROM*.
- ICONA (1982). *Paisajes erosivos en el sureste español. Ensayo de la metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación*. M.A.P Proyecto LUCDEME. Monografía ICONA, 26. Madrid.
- IGME (1983a). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 335, Palafrugell*.
- IGME (1983b). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 365, Blanes*.
- IGME (1983c). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 366, Sant Feliu de Guíxols*.

IGME (2005). *Las aguas subterráneas en España. Un recurso natural del subsuelo*. <http://aguas.igme.es/igme/educacion_ambiental/libros.htm> (gener de 2005)

IGME-COPOT (2001). *Estudio geotécnico del subsuelo del área metropolitana de Murcia. Análisis de la subsidencia del nivel freático. Modelos Geotécnicos del terreno y diagnóstico del problema*. Informe inédito.

Inventari d'espais d'interès geològic a Catalunya (2001). Departament de Medi Ambient. Servei de Planificació i Gestió de l'Entorn Natural Direcció General de Boscos i Biodiversitat <<http://www.gencat.net/mediamb/pn/2geotops.htm>> (juliol de 2004).

IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T. & CHACÓN, J. (1997). *Aplicación de un Sistema de Información Geográfica al análisis del medio físico en el sector de Rute (Córdoba)*. A: FUMARAL, P. & SANCHO, C. (eds). *Cuaternario y Geomorfología*. Geoforma. Madrid. 11(1-2). 99-112 pp.

IUGS-COGEENVIRONMENT (2002). International Union of Geological Sciences. Commission on Geological Sciences for Environmental Planning. <<http://www.iugs.org>> (juny de 2004)

JARDÍ, M. et al. (1996). *Impacto de la pistas forestales en medios frágiles mediterráneos. El caso del turó de Burriach (Maresme-Barcelona-España)*. A: Cadernos. Laboratorio Xeoloxico de Laxe, 21. IV Reunión de Geomorfología. 103-121 pp.

JIMÉNEZ, M. (1999). *Geomorfología fluvial en la cabecera del río Nalón (Cordillera Cantábrica, Noroeste de España)*. Universidad de Oviedo. Inèdit. 12 pp.

JORDANA, R. & DALMASES, C. (2002). *Un Sistema d'Informació Geogràfica per a l'estudi i la gestió del litoral de Catalunya*. A: ARAGONÈS, E. (ed) (2002). Mediterranean Symposium on Protected marine and coastal Areas. Actes. 6-10 març de 2002. DMA. Barcelona. 373-380 pp.

JULANDER, R.P. & JACKSON, W. (1983). *Drop former and double ring infiltrometers. A comparison*. Proceedings of the National Conference on Advances in Infiltration; ASAE., 249-253 pp.

JUNTA D'AIGÜES. VERGÉS i FERNÁNDEZ, R (coord.) (1994). *Recomanacions sobre mètodes d'estimació d'avingudes màximes*. Junta d'Aigües. Barcelona. 200 pp.

- KAY, R. & ALDER, J. (1999). *Coastal planning and management*. E&FN Spon, Londres. 375 pp.
- KELLER, E.A. (1992). *Environmental geology*. Macmillan. New York. 562 pp.
- KELLER, E.A. & PINTER, N. (1999): *Active tectonics. Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice-Hall, Inc. 338 pp.
- KNEPPER, D. (2000). *Natural Aggregate Resources*. U.S. Geological Survey <<http://rockyweb.cr.usgs.gov/frontrange/natagg.html>> (maig de 2004)
- LAÍN HUERTA, L. (1999). *Los Sistemas de Información Geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente*. ITGE. Madrid. 227 pp.
- LAMBE, T.W. & WHITMAN, R.V. (1984). *Mecánica de Suelos*. Ed. Limusa. Cuarta edició. 852 pp.
- LARSSON.(1977). *Aguas subterráneas en rocas duras*. Ed. Unesco. Paris. 298 pp.
- LE PERA, E. & SORRISO-VALVO, M. (2000). *Weathering and morphogenesis in a mediterranean climate, Calabria, Italy*. *Geomorphology*, 34: 251-270 pp.
- LLEBOT, J.E. et al (2002). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya: Resum de conclusions*. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Generalitat de Catalunya. <<http://www.iecat.net/canviclimatic>> (2 de març de 2004).
- LLEDÓ, D. & ROQUÉ, C. (2005). *El medi natural de Palafrugell*. *Quadern de Palafrugell*, 14: 232 pp.
- LLOPIS LLEDÓ, N. (1953). *Mapa Geològic de España. E/1:50.000. Explicación Hoja 366. Sant Feliu de Guíxols (Girona)*. 78 pp.
- LINARES, R. (1995). *Geología ambiental de la conca de Tremp*. Tesis doctoral inèdita. Unitat de Geodinàmica Externa i Hidrologia. UAB.
- LINARES, R; PALLÍ, L; BRUSI, D. i ROQUÉ, C. (1999). *Aplicació de tècniques geofísiques electromagnètiques a la localització de zones afectades per abocaments incontrolats de residus*. en *Scientia Gerundensis*. Vol. 24. Universitat de Girona.
- LINARES, R.; PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (2000a). *Recursos geològics*. *Cartografia temàtica de les terres gironines*: 15. Diputació de Girona i UdG.
- LINARES, R.; ROQUÉ, C.; PALLÍ, L. & BRUSI, D. (2000b). *Lectura ambiental de la cartografia geològica*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(3): 247-260 pp.

LINARES, R; BRUSI, D.; PALLÍ, L.; ROQUÉ, C.; ALMANZA, X.; CEBRIÀ, A.; GEIS, C.; ZAMORANO, M.; SOLER, D.; VEHÍ, M. & CLAPÉS, S. (2002). *Métodos de reconocimiento del subsuelo*. Enseñanza de la Ciencias de la Tierra. Vol. 10 (1): 61-72 pp.

LINARES, R; PALLÍ, L; GEIS, C; ALMANZA, X & ROQUÉ, C. (2003). *Investigación geofísica de los paleovalles pleistocenos del NE de Cataluña. El ejemplo de la riera de Tossa (Costa Brava Meridional)*. XI Reunión Nacional de Cuaternario - 2003. Oviedo (España).

LÓPEZ ALONSO, R. (2001). *Propuesta de modificación del método racional*. En CIMBRA; Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. Set-Oct 2001. Ed. Colegio de Ing. Técn. de Obras Públicas. Madrid. 342, 24-28 pp.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F; et al. (1988). *Geometría de cuencas fluviales: las redes de drenaje del Alto Guadalentín. Proyecto LUCDEME IV. Monografías, 50*. ICONA

LÓPEZ JIMENO, C. (ed) et al (1998). *Manual de áridos. Prospección, explotación y aplicaciones*. E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid. Madrid. 3a edició. 607 pp.

LUO, W. (1998). *Hypsometric analysis with a geographic information system*. Computers and Geosciences 24 (8), 815-821 pp.

MACDONALD, A.M.; DAVIES, J. & Ó DOCHARTAIGH, B.É. (2002). *Simple methods for assessing groundwater resources in low permeability areas of Africa*. British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/168N. 71pp.

MACNEILL, J.D. (1980). *Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers*. Technical note TN-6. Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada.

MALOLESZY, Z (2003). *Multidimensional geological mapping*. En: Innovative Applications of GIS into Geological Cartography. 24-26 November 2003. Kazimierz Dolny, Poland. <<http://kqp.wnoz.us.edu.pl/ARW/index.html>> (abril de 2004)

MARCÉN SANCHO, C. et al. (1996). *Revista del Cuaternario y Geomorfología*. Geoforma. Logroño.

MARCER, A.; PONS, X. & VICENS, J. (2000). *El projecte Vulcà. Un Sistema d'Informació Geogràfica integrat a la gestió del Parc natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa dins Conèixer per Conservar*. Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural. Nota: En premsa.

MARQUÉS, M.A. & MORA, E. (1992). *The influence of aspect on runoff and soil loss in a Mediterranean burnt forest (Spain)*. A: Catena, vol.19(3-4). Elsevier Science. 333-344 pp.

MARTÍ, C. (2001). *La transformació del paisatge litoral del centre de la Costa Brava en els darrers 50 anys. Palamós, Calonge i Castell-Platja d'Aro, 1956-2001*. Memòria de Recerca inèdita. Universitat de Girona.

MARTÍN VIDE, J & OLCINA, J (1996). *Tiempos y climas mundiales. Climatología a través de mapas del tiempo e imágenes de satélite*. Oikos-Tau. Vilassar de Mar. 308 pp.

MARTÍNEZ FRIAS, J. (2003). *Renanet* <<http://tierra.rediris.es/merge/jmfrias.html>> (gener de 2004).

MAS, J.; BACH, J.; VIÑALS, E., et al. (1999). *Salinization processes in a coastal leaky aquifer system (Alt Empordà, NE Spain)*. A: Physics and chemistry of the earth. Part B: hydrology, oceans and atmosphere. Hydrology and the Earth's Crust. Coastal Aquifer Dynamics and Groundwater Recharge. Oxford : Pergamon, 24(4): 337-341pp.

MATEU BELLÉS, J.F. (1982). *El Norte del País Valenciano. Geomorfología litoral y prelitoral*. Tesis doctoral. Universitat de València. 286 pp.

MEADOWS, D. (ed) (1972). *Los límites del crecimiento: primer informe al Club de Roma*. Fondo de Cultura Económica, Mèxic, 253 pp.

MEGAHAN, W.F. (1983). *Effects of clearcutting and wildfire on the hydrologic function of steep granitic slopes in Idaho*. John Wiley & Sons, Ltd. Water Resources Research 19, 811-819 pp.

MEGAHAN, W.F; WILSON, M. & MONSEN, S.B. (2001). *Sediment production from granitic cutslopes on forest roads in Idaho, USA*. John Wiley & Sons, Ltd. Earth Surface Processes and Landforms 26, 153-163 pp.

MELTON, M.A. (1957). *An analysis of the relation among elements of climate, surface properties and geomorphology*. Tech. Rep. No. 11. Dept. Of Geology, Columbia University, New York.

MILLER, R.P. (1965). *Engineering classification and index properties for intact rock*. PhD. Thesis Univ. of Illinois.

MILLER, V.C. (1953). *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area*. Office Naval Research Project NR 389-042; Tech. Rep., 3. Columbia University.

MONGKOLSAWAT, C.; et al. (1994). *Soil erosion mapping with Universal Soil Loss equation and GIS*. Kho Kaen Univ. Tailàndia. <<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1994/ts3/ts3001.shtml>> (febrer de 2004).

MONTALBÁN COMAS, F; et al (2003). *Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local: guia tècnica. (Documents tècnics; 1)*. Dept. Medi Ambient. Agència Catalana de l'Aigua. 91 pp.

MONTANER, J.; SOLÀ, J.; MAS, J.; TEIXIDOR, N. & BOIXADERA, J. (1996). *Diagnóstico hidrogeológico sintético de los acuíferos aluviales cuaternarios del Baix Ter y Baix Fluvià*. A: Las aguas subterráneas en las cuencas del Ebro, Júcar e Internas de Catalunya y su papel en la Planificación Hidrológica. Lleida. 429-435 pp.

MORISAWA, M. (1985). *Rivers form and process*. Logman. Londres. 222 pp.

MORTON, R. (2002). *Coastal geoindicators of environmental change*. Springer-Verlag. Environmental Geology. Vol.42 (7), 711 - 724 pp.

MULAS J.; ARAGÓN, R.; MARTÍNEZ, M.; LAMBÁN, J.; GARCÍA-ARÓSTEGUI, J.L.; FERNÁNDEZ GRILLO, A.; HORNERO, J.; RODRÍGUEZ, J. & RODRÍGUEZ, J.M. (2003). *Geotechnical and hydrogeological analysis of land subsidence in Murcia (Spain)*. A: Proc. 1a International Conference on Groundwater in Geological Engineering. Bled (Ljubljana-Slovenia). Petric, M.; Pezdic, J.; Trcek, B.; Veselic, M. (ed) *RMZ. Materials and Geoenvironment. Groundwater in Geological Engineering*; Vol. 50 (1), 249-252 pp.

MUÑOZ, P.; ROMERO, J.A.; RODRIGUEZ, I.; et al. (1989). *Metodología de investigación de Rocas Ornamentales: Granitos*. A: IGME. Boletín Geológico y Minero. Vol. 100-3. 433-453 pp.

NIÑEROLA, S. & DOMÉNECH, J. (1969). *Ejemplos de embalses subterráneos con capacidad reducida. Abastecimientos a Lloret de Mar i Tossa de Mar*. A: CATALÁN (1969).

NOGUÉ FONT, J. (2004). *La Transformació del Territori i del Paisatge de la Costa Brava (1956-2003). Situació Actual i Propostes d'Actuació*. Ponència al *Debat Costa Brava: un futur sostenible*. 49 pp.

- NUELL TURON, H. (2002). *Evolució dels usos del sòl a la Costa Brava 1957-1993*. Tesina Inèdita. II Premi de la Societat Catalana d'Ordenació del Territori. 135 pp.
- OGAWA, S; SAITO, G; et al (1997). *Estimation of soil erosion using USLE and Landsat TM in Pakistan*. National Institute of Agro-environment Sciences. Japó. <<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ps3/ps3015.shtml>> (febrer de 2004).
- OLMO ALARCÓN, M et al. (1999). *Actualidad de la técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología*. ITGE. Granada.
- OLSON, S.A. (2000). *Application of a sediment-transport model to evaluate the effect of streambed-management practices in flood levels and streambed elevations at selected sites in Vermon*. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-55. 92 pp.
- ORELLANA, E. (1972). *Prospección geoeléctrica en corriente continua*. Ed. Paraninfo. Madrid. 553 pp.
- ORTIZ, J.O. (2002). *Material docent d'Edafologia*. <<http://www.creaf.uab.es>> (gener de 2004).
- PALLÍ, L. (1966). *La evolución del Ridaura*. Ancora, 966:13-14 pp.
- PALLÍ, L. (1978). *Mapa geológico de Sant Feliu de Guíxols*. Ed. Unitat de Geologia de l'Estudi General de Girona.
- PALLÍ, L. (1980). *Mapa geológico de Castillo de Aro - Playa de Aro*. Ed. Dept. Geologia del Col·legi Universitari de Girona.
- PALLÍ, L. (1985). *Mapa geològic de Santa Cristina d'Aro*. Ed. Dept. Geologia del Col·legi Universitari de Girona de la UAB.
- PALLÍ, L. & BRUSI, D. (1987). *Mapa geològic de Palamós*. Ed. Dept. Geologia del Col·legi Universitari de Girona de la UAB.
- PALLÍ, L. & BRUSI, D. (eds) (1992). *El medi natural a les terres gironines: 11 itineraris per la Catalunya Nord-Oriental*. Ed. Diputació de Girona i Universitat de Girona. 226 pp.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1990). *Mapa geològic de Palafrugell*. Ed. Unitat de Geologia de l'Estudi General de Girona.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1992 a). *Mapa geològic de Tossa de Mar*. Ed. Unitat de Geologia de l'Estudi General de Girona.

- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1992 b). *Mapa geològic de Mont-ras*. Ed. Unitat de Geologia de la UdG.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1992 c). *Mapa geològic de Calonge*. Ed. Unitat de Geologia de la UdG.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1993). *Mapa morfològic de Tossa de Mar*. Ed. Unitat de Geologia de la UdG.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1995). *Cartografia geoambiental de la conca del riu Ridaura (Baix Empordà, Girona)*. Col·l. Dialogant amb les Pedres, 3. Unitat de Geologia. UdG. Girona. 52 pp.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1996). *Mapa morfològic de Sant Feliu de Guíxols*. Ed. Àrea de Geodinàmica Externa de la UdG.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1996 b). *Los Domos granítics de la cuenca del Ridaura (Girona)*. IV Reunión de Geomorfología. 45-58 pp.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1997). *Característiques geomorfològiques de la Pedralta (Baix Empordà, Girona)*. Estudis sobre el Baix Empordà ; vol. 16. 5-42 pp.
- PALLÍ, L. & ROQUÉ, C. (1998). *Itinerari Geològic de l'Ardenya*. Col·l. Dialogant amb les Pedres, 6. Àrea de Geodinàmica. UdG. Girona. 57 pp.
- PALLÍ, L.; ROQUÉ, C. i LINARES, R. (2003). *Mapa geològic de Lloret de Mar*. Ed. Àrea de Geodinàmica Externa de la UdG.
- PALLÍ, L.; TRILLA, J., i ESTALRICH, J. (1985) *Mapa morfològic de la conca del Ridaura*. Ed. Col·legi Universitari de Girona.
- PARETA, J. (1999). *El país del vent. Introducció a la variabilitat climàtica de l'Empordà*. El clima local.
- PATTON, P.C. & BAKER, V.R. (1976). *Morphometry and floods in small drainage basins to diverse hydrogeomorphic controls*. Water Resour. Res., 12: 941-952 pp.
- PEDRAZA, J. (1987). *Métodos y técnica en Geología Ambiental. III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, T. IV (Síntesis) Valencia, 99-107 pp.
- PREM, V. SHARMA. (1997). *Environmental and engineering geophysics*. UK. Cambridge University Press. 473 pp.

REPO (1969). *Estudio de los recursos hidráulicos totales del Pirineo Oriental. Zona Norte. N-I Abastecimiento de agua para la Costa Brava y alto Maresme. Anejos de hidrología subterránea*. Ministerio Obras Públicas. Dir. Gral. Obras Hidráulicas.

REPO (1972). *Estudio de los recursos hidráulicos totales del Pirineo Oriental*. Comisaria de Aguas del Pirineo Oriental i Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona. 3 zonas, 12 vols + 3 vols.

RICO, M. & BENITO, G. (2002). *Estimación de caudales de crecida en pequeñas cuencas de montaña: revisión metodológica y aplicación a la cuenca de Montardit (Pirineos Centrales, España)*. Revista Cuaternario y Geomorfología. 16(1-4), 127-138 pp.

RIGO, A. & GENESCÀ, G. (2000). *Tesis i treballs. Aspectes formals*. Ed. Eumo. Barcelona. 1a. Edició. Lengua i text 4. 171 pp.

RIVAS, V.; REMONDO, J.; GONZÁLEZ, A. & CENDRERO, A. (2002). *El papel de las actividades humanas en los procesos superficiales: el ejemplo de la cuenca del Besaya (Cantabria, España)*. A: SERRANO, E. et al (eds). Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, montaña y dinámica territorial. Dpto. Geografía-UVA. Valladolid, 131-140 pp.

RODAS, M.; PALLÍ, L.; BARRENECHEA, J.F.; BUSQUETS, O. & ALONSO, J. (1992). *Clay minerals associated with Pleistocene – Pliocene basaltic flows in Massanet de la Selva (Girona) Spain*. Mediterranean Clay Meeting' 92. 1: 118-119 pp.

RODGERS, K.P.; CORDEIRO, N.V. & PÉREZ, H. (1978). *Environmental quality and river basin development: a model for integrated analysis and planning*. Secretaria General de la Organització dels Estats Americans (OEA). Washington, D.C. Projecte FP/0404-75-01-PNUMA. Edició electrònica <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea69s/begin.htm> (setembre de 2004)

RODRÍGUEZ JURADO, J.; et al. (2000). *Establecimiento de un modelo geológico para el estudio de la subsidencia por rebajamiento del nivel freático*. A: CAÑAVÉRAS, J.C.; COLOMBO, F. & GARCÍA DEL CURA, M.A. (eds). Geotemas. V Congreso Geológico de España. Alacant. 1(3):155-158 pp.

ROQUÉ, C. (1993). *Litomorfolgia dels massissos de les Gavarres i de Begur*. Tesis Doctoral. Inèdita.

ROQUÉ, C. & PALLÍ, L. (1991). *Modelat de Massís de Begur*. Estudis del Baix Empordà: 10. 44 pp.

ROQUÉ, C. & PALLÍ, L. (1994 a). *Geologia del massís de les Gavarres*. Estudis del Baix Empordà: 13; 5-98 pp

ROQUÉ, C. & PALLÍ, L. (1994 b). *Las Formas graníticas de los macizos de las Gavarres y de Begur (Girona)*. Geomorfología en España. Logroño : Sociedad Española de Geomorfología, 85-90 pp.

ROQUÉ, C & PALLÍ, L. (1996). *Los domos graníticos de la cuenca del Ridaura (Girona)*. Cadernos Laboratorio Xeológico de Laxe, 21: 45-58 pp.

ROQUÉ, C i PALLÍ, L. (1998). *Geologia de l'Ardenya i formes granítiques associades*. Estudis del Baix Empordà, 17: 5-42 pp.

ROQUÉ, C., PALLÍ, L. & LINARES, R. (2001). *Recerca de nous recursos miners*. Àrea de Geodinàmica Externa. UdG. Projecte encarregat pel Departament d'Indústria, Comerç i Turisme. Programa: Minería. Inèdit.

ROQUÉ, C. & GEIS, C. (2002). *Costa Brava Meridional*. En: Pallí, L; Roqué, C. & Brusi, D. (eds). Geología de Girona. 9 itinerarios de campo. 103-114 pp.

ROS, F.X. (1997). *Model hidrològic del riu Onyar*. Tesi doctoral, UAB. Inèdit.

ROSET PAGÈS, D., SAURÍ PUJOL, D., RIBAS PALOM, A. (1999). *Las obras hidráulicas en los sistema fluviales de la Costa Brava: Preferencias locales y limitaciones de un modelo convencional de adaptación al riesgo de inundación*. Investigaciones geográficas, 22. Barcelona. 79-93 pp.

SABIRON, B.; SAUER, C. et al (1998). *Atlas Comarcal de Catalunya; 10. Baix Empordà*. Eds. Diputació de Girona i ICC. Barcelona. 207 pp.

SALA, M (2003). *Floods triggered by natural conditions and by human activities in a mediterranean coastal environment*. Geografiska Annaler. 85 A (3-4): 301-312 pp.

SALA, M.; BATALLA, R.; MARTÍN, E.; PERNAS, J. & ÚBEDA, X. (1995). *Estudis hidrològics a la conca del Ridaura*. Estudis del Baix Empordà: 14: 283-291 pp.

SALA, J. & SALA, L. (2003). *Estudi de l'evolució dels recursos d'aigua de la conca del Ridaura i qualitat ecològica del riu*. Consorci de la Costa Brava. Informe tècnic. Inèdit. 17 pp.

SÁNCHEZ, M (1990). *Caracterización morfométrica de la cuenca del rio Ebron (Prov. De Teruel y Rincón de Ademuz)* A: GUTIÉRREZ, M; PEÑA, J.L & LOZANO, M. (eds) (1990). *I Reunión Nacional de Geomorfología*. Teruel. 509-520 pp.

SANCHO, C; BENITO, G. & GUTIERREZ, M. (1991). *Agujas de erosión y perfiladores microtopográficos*. Cuadernos técnicos de la SEG, 2. Geoforma. 28 pp.

SANGER, E.A. & GLEN, J (2003). *Density and Magnetic Susceptibility values fo rocks in the Talkeetna mountains and adjacent region, south-central Alaska*. US Geological Survey Open-File Report 03-268. <<http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of03-268/>> (setembre de 2004)

SANROQUE, P.; RUBIO, J.L. & SÁNCHEZ, J. (1982). *Evaluación de la erosión hídrica de los suelos*. Univ. València. En ALBAREDA, J.M. (1982). *Anales de Edafología y Agrobiología*. CSIC. Madrid. 855-875 pp.

SANTACANA QUINTAS, N. (2001). *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat*. Tesis doctoral-UPC. Barcelona. 270 pp. Inèdita.

SARGATAL i VICENS, J. (2004). *Mobilitat i infraestructures: dèficit de connectors ecològics i risc de pèrdua irreversible de diversitat paisatgística i biològica*. Ponència al *Debat Costa Brava: un futur sostenible*. 26 pp.

SATKUNAS, J.; NYAMBE, I y SIMPSON, C. (2001). *Geoindicadors. A technique that can strengthen environmental monitoring in Southern and Eastern Africa. A report from the International Geoindicators Course held June, 2001 in Lusaka under the auspices of COGEOENVIRONMENT* <<http://www.lgt.lt/geoin/doc/geoindicators>> (abril de 2004)

SAURÍ ROSET, D et al. (1997). *Les Inundacions*. Diputació de Barcelona. Barcelona. 173 pp.

SCHUMM, S.A. (1956). *Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey*. Bull. Geol. Soc. Amer., 67: 597-646 pp.

SCHUMM, S.A.; HARVEY, M.D. & WATSON, C.C. (1984). *Incised Channels: Morphology, Dynamics and Control*. Water Resources Publication, Littleton, CO, 111-159 pp.

SELINUS, O. (ed) (2002). *Medical Geology. Earth Science in Support of Public Health Protection*. Academic Press, En prensa.

SEVE MARTIN, A.J. (1998). *Estimación de caudales máximos de avenidas a partir de marcas de inundación en los márgenes del río*. Tesina-UPC. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Barcelona. 173 pp. Inèdit.

SGDGOH (Servicio Geológico Dir. Gral. Obras Hidráulicas) (1983). *Posibilidades de reutilización de aguas residuales depuradas. Embalse subterráneo del Ridaura (Gerona)*. Informe hidrogeológico 06/83. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

SIMON, A. (1989). *A model of channel response in distributed alluvial channels*. Earth Surface Processes and Landforms, 14 (1): 11-26 pp.

SMITH, M.R. & COLLIS, L. (1993). *Áridos. Áridos naturales y de machaqueo para la construcción*. Londres. Colegio Oficial de Geólogos de España. 435 pp.

SOLER SABARÍS, L. & LLOPIS LLADÓ, N. (1939). *Terminación septentrional de la cordillera Costero Catalana*. Asoc. Est. Geol. Medit. Occid., 6 (1): 87 pp.

SOLER TEMPRANO, X. i BAYÉS BRUÑOL, C. (2001). *Caracterització pluviomètrica de les comarques gironines. Base instrumental per a la gestió dels recursos hídrics*. Premi Beca Patronat Francesc Eiximenis d'Investigació en Ciències Naturals (convocatòria 2000). Inèdit.

SORT, X.; VALL, E.; BASCOMPTE, F.; OLIVERAS, J. & TARRASÓN, J.C. (2000). *Recursos minerals de Catalunya*. Barcelona, Departament d'Indústria Comerç i Turisme. 175 pp.

SRIKHAJON, M., SOMARANG, A., et al. (1984). *Application of the Universal Soil Loss Equation for Thailand. The 5th ASEAN Soil Conference*. Bangkok 10-23 June.

STONE, R.P i HILBORN, D. (2000). *Universal Soil Loss Equation (USLE)*. Fact-sheet 00-001. Ministry of Agriculture and Food. Ontario. <<http://www.gov.on.ca>> (febrer de 2004).

STRAHLER, A.N. (1952). *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. Geol. Soc. American Bulletin, 63: 1117-1142. A: EVANS, J.A. (ed) (2004). *Geomorphology. Critical concepts in Geography*. Vol. II. 62-96 pp.

STRAHLER, A.N. (1981 i 1988). *Geografía Física*. Ed. Omega. Barcelona. 767 pp.

TÉMEZ PELÁEZ, J.R. (1982). *Generalización y mejora del método racional*. En *Ingeniería Civil 82*. CEDEX. 51-56 pp.

TERZAGHI, K. (1925). *Principles of soil mechanics, IV. Settlement and consolidation of clay*. Engineering News-Record, 95(3), p. 874–878 pp.

TERZAGHI, K. & PECK, R.B. (1976). *Mecánica de suelos en Ingeniería Práctica*. Segunda edició. Ed. El Ateneo. 722 pp.

TRABAUD, L. (2002). *Post-fire vegetation recovery and dynamics in the Mediterranean area*. 39-55pp. A: Pardini, G. & Pintó, J. (eds). *Fire, landscape and biodiversity: An appraisal of the effects and effectiveness*. Lectures from the third International Summer School on the Environment. Universitat de Girona. DIVERSITAS; 29.

TRICART, J. (1960). *Initiation aux travaux pratiques de géographie : commentaires de cartes*. Sedes, Paris. 235 pp.

TRIJUEQUE FONALLERAS, P. (1999). *Els rius de Palamós. L'Aubi la fera terrible*. Guspines: 5; 51 pp.

TRILLA, J.; PALLÍ, LL.; ZARROCA, M.; BACH, J. & ESTALRICH, J. (1980). *Estudi Hidrogeològic de la Conca del Ridaura*. Departament de Geodinàmica Externa i Hidrogeologia. UAB. Estudi inèdit.

UNEP (1995). *Guidelines for integrated management of coastal and marine areas. With special reference to the Mediterranean Basin*. Split, UNEP, Regional Seas Reports and Studies: 161. 80 pp.

USACE (1990). *Vicksburg District systems approach to watershed analysis for demonstration erosion control project, Appendix A*. Demonstration Erosion Control Project Design Memorandum N. 54, Vicksburg District, Vicksburg, Mississippi. <http://www.usda.gov/stream_restoration> (gener 2005)

USDA (1998). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*. Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). 1a Revisió: agost 2001. <http://www.usda.gov/stream_restoration> (gener, 2005)

VARNES, D.J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Natural Hazards, 3. UNESCO. París. 63 pp.

VÁZQUEZ, E. & TORAL, T. (1985). *Canteras y yacimientos de materiales para la construcción. 3er Coloquio sobre Ingeniería Geológica. Libro de ponencias*. Universitat Politècnica de Barcelona. Barcelona.

VÁZQUEZ, N.J. (2002). *Cálculo de la Subsistencia Unidimensional debida a los descensos del nivel piezométrico. Aplicación al Casco Urbano de Murcia y a los efectos sobre sus edificios*. Tesi Doctoral. Universidad de Sevilla. <<http://www.minas.upm.es/inicio/FGS/trabajos/02d01.htm>> (gener 2005).

VERGÉS FERNÁNDEZ, R. (2003). *Les infraestructures de transport*. Ponència al *Debat Costa Brava: un futur sostenible*. 21 pp.

VILANOVA, E. (2001). *Dinàmica del sistema hidrogeològic del massís de les Gavarres i àrees adjacents*. Tesina inèdita. UAB.

VILANOVA, E. (2004). *Anàlisi dels sistemes de flux a l'àrea Gavarres-Selva-Baix Empordà. Proposta de model hidrodinàmic regional*. Tesi doctoral, UAB. Inèdit. 336pp. <<http://www.tdx.cesca.es>> (desembre de 2004)

VILAS ROCA, M. (2000). *Métodos geofísicos aplicados a la investigación hidrológica en pequeñas cuencas experimentales*. Tesi doctoral, UB. Barcelona. Inèdit.

WAINWRIGHT, J. & THORNES, J.B. (2004). *Environmental issues in the Mediterranean. Processes and perspectives from the past and present*. Routledge. Londres. 479pp.

WALTHAM, A.C. (1994). *Foundations of engineering geology*. Blackie academic & Professional. Oxford. 325 pp.

WATANASAK, M. (1978). *A Preliminary study on the Evaluation of soil Erosion Study on the Evaluation of soil Erosion Status using USLE and Landsat Imagery Techniques in Chonburi and Rayong Provinces*. Tesi doctoral. Univ. de Mahidol. (En MONGKOLSAWAT, C., et al. (1994)).

WEMPLE, B.C.; JONES, J.A. & GRANT, G.E. (1996). *Channel network extension by logging roads in two basins, western Cascades, Oregon*. Water Resources Bulletin 32: 1195-1207 pp.

WEMPLE, B.C; SWANSON, F.J. & JONES, J.A. (2001). *Forest roads and geomorphic process interactions, Cascade Range, Oregon*. John Wiley & Sons, Ltd. Earth Surface Processes and Landforms 26, 191-204 pp.

WISCHMEIR, W.H. & SMITH, D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation planing*. USDA Agric. Handbook No. 537. (En MONGKOLSAWAT, C.; et al. (1994)).

WYNKOOP, S.E. (1999). *Low-Impact Development Design Strategies. An Integrated Design Approach*. Dept. Environmental Resources. Programs and Planning Division. Maryland. <http://www.nahbrc.org/docs/mainnav/landuse/4040_pgldstrategies.pdf> (gener de 2004).

YANG, W. (2000). *Cost Effective Targeting of Land Retirement Programs to Improve Water Quality*. Tesi doctoral, Dept d'Agricultura i Consum. Univ. d'Illinois. (En Bell, 2002).